

Dokumentation

Audio Level Gaug

Diplomarbeit (Herbst 2020)

Dipl. Techniker HF Elektrotechnik

Ausgeführt durch Lukas von Burg

Im Auftrag von TEKÖ Bern

In Zusammenarbeit mit ANNAX AG

1 Management Summary

Die Firma ANNAX AG entwickelt Informationssysteme für den öffentlichen Verkehr. Diese werden vor dem Einbau gründlich getestet um eventuelle Fehlfunktionen beim Zusammenspiel der verschiedenen hardware Komponenten sowie der dazugehörigen Software zu finden und zu beheben. Das Prüfen einer solchen Anlage ist sehr zeitaufwändig und könnte grösstenteils automatisiert werden. Mit dem „Audio Level Gaug“ soll, durch die Möglichkeiten der Automatisierung aber auch in der manuellen Bedienung durch verhindern des Übersprechens der Kanäle, zukünftig Zeit eingespart werden.

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Diplomarbeit (Herbst 2020), als Abschluss der Ausbildung zum Dipl. Techniker HF Elektrotechnik an der TEKO Bern, durchgeführt. Das Thema „Audio Level Gaug“ wurde durch die Firma ANNAX AG definiert.

Nach der Projekteinrichtung konnte das Projekt geplant werden. Jedoch enthielt es unbekannte Faktoren, da das Projekt nicht in der ANNAX AG ausgeführt werden kann und die Labor Räumlichkeiten nur mit Absprache zur Verfügung standen. Dies erforderte einen erhöhten Aufwand für die Organisation sowie das flexible Arbeiten. Der Zeitplan konnte daher auch nur bedingt eingehalten werden.

Das Labor konnte für den Aufbau des Prototyps nicht mehr benutzt werden und die Bestellung des Materials für den Prototyp verzögerte sich stark da es in der ANNAX AG nicht in Auftrag gegeben wurde. Diese Probleme wurden unter Punkt „3.8 Risikoanalyse“ bereits berücksichtigt und die prognostizierte Zeitverzögerung war spürbar und führte dazu, dass Punkte in der Zeitplanung gestrichen werden mussten. Daher konnten keine Tests auf der Testanlage in der ANNAX AG durchgeführt werden. Die Bedingungen wurden jedoch nachgebildet um den Prototyp möglichst realitätsgetreu zu testen.

Trotz den aufgetretenen Probleme konnte ein Prototyp erarbeitet werden, welcher die Anforderungen erfüllt und sich gut für die zukünftige Automatisierung eignet. Durch die gewählten Komponenten, werden genügend Ressourcen zur Verfügung gestellt und somit ein „Audio Level Gaug“ welcher seine Aufgaben problemlos meistern kann.

Das Projekt ist soweit abgeschlossen, damit es reibungslos an die ANNAX AG übergeben werden kann.

3 Inhaltsverzeichnis

1 Management Summary	2
3 Inhaltsverzeichnis	3
3 Projekteinrichtung	4
3.1 Vorstudie	4
3.1.1 Auslöser	4
3.1.2 Anstoss	4
3.1.3 Idee	4
3.1.4 Informationssammlung	4
3.1.5 IST Situation	5
3.1.6 SOLL Situation	5
3.7 Organisation	6
3.7.1 Termine	6
3.7.2 Grobe Zeitplanung	6
3.8 Risikoanalyse	7
4 Planung	8
4.1 Projektorganisation	8
4.1.1 Vorgehensmodell	8
4.1.2 Zeitplan	9
4.1.3 Organigramm	11
4.2 Anforderungen	12
4.2.1 Anforderungen der ANNAX AG	12
4.3 Zielformulierung	13
4.3.1 Generelle Ziele	13
4.3.2 Muss- & Kann-Ziele	13
4.4 Finanzieller Rahmen	14
5 Durchführung	15
5.1 Vorhandenes Testsystem	15
5.1.1 Übersicht	15
5.1.2 Analyse des bestehenden Systems	16
5.2 Zukünftiges Testsystem	19
5.2.1 Mögliche Systemvarianten	19
5.2.2 Mögliche Schaltungsvarianten	23
5.3 Hardware	29
5.3.1 Microcontroller	29
5.3.2 Prototyp	34
5.4 Software	39
5.4.1 Testsoftware	39
6 Abschluss	41
6.1 Testergebnisse	41
6.2 Rückblick	42
6.2.1 Kontrolle Zielerreichung	42
6.2.2 Lessons learned	43
6.2.3 Schlusswort	44
7 Verzeichnisse	45
7.1 Abbildungsverzeichnis	45
7.2 Quellenverzeichnis	46
8 Eigenständigkeitserklärung	48

3 Projekt Einrichtung

3.1 Vorstudie

3.1.1 Auslöser

Der Auslöser für meine Diplomarbeit, ist der Abschluss des Studiengangs zum Diplomierten Techniker HF Elektrotechnik an der Schule TEKÖ in Bern.

3.1.2 Anstoss

Durch das Beenden meines Anstellungsverhältnisses bei der COMET AG konnte ich mein ursprünglich geplantes firmeninternes Projekt nicht durchführen und musste kurzerhand ein neues Projekt finden. Bei der Suche nach einem geeigneten Projekt, wurde ich beim Arbeitgeber (ANNAX AG) eines Kollegen fündig. Dabei handelt es sich um ein Analysesystem für Audiosignale.

3.1.3 Idee

Die Firma ANNAX AG entwickelt Infotainment (zusammengesetzter Begriff aus Information und Entertainment)¹ Lösungen für öffentliche Verkehrsmittel. Dafür testen sie mit allen Komponenten, welche der Kunde einbauen möchten, im kleinen Rahmen das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten. Dabei werden Displays und Lautsprecher verwendet, welche entsprechend dem vom Kunden gewünschte Informationen wiedergeben sollten.

Die Lautsprecher verfügen in der Testanlage zusätzlich über eine Pegelanzeige, welche aktuell wegen Überschneiden der einzelnen Kanäle nicht praktikabel ist. Der neue Audio Level Gauge soll dieses Problem beheben und zusätzlich gerüstet sein für die kommende Automation des Tests.

3.1.4 Informationssammlung

Die aktuell vorhandene Schaltung dient als Vorlage. Dadurch kann das Gehäuse, sowie die ersten Überlegungen übernommen werden.

¹ Aufgerufen am 18.09.2020 - <https://annax.de/index.php/de/loesungen/infotainment>

3.1.5 IST Situation

Der „Audio Level Gaug“ ermöglicht es, ein- und ausgeschaltete Lautsprecher optisch dar zu stellen, mithilfe einer Pegelanzeige. Da die akustische Erkennung, bei mehreren Lautsprecher auf kleinem Raum, nicht gut festgestellt werden kann. Durch übersprechen der einzelnen Audiokanäle ist die aktuelle Pegelanzeige jedoch nicht zuverlässig und nur notdürftig eine Hilfe für die Tests.

Aktuell werden die akustischen Signale der einzelnen Lautsprecher mit fühlen der Membrane überprüft in Kombination mit hören und der bedingt funktionierenden Pegelanzeige. Das System kann auf diese Weise getestet werden, bedingt jedoch einen geduldigen Mitarbeiter.

3.1.6 SOLL Situation

Bei der überarbeitete Version des „Audio Level Gaug“ dürfen die einzelnen Kanäle nicht übersprechen. Die optische Ausgabe des Audio Signals wird nach wie vor über eine Anzeige an der Vorderseite beim Testgerät dargestellt. Das akustische Signal kann nach wie vor über ein Potentiometer eingestellt werden. Diese Einstellung ist lediglich da, um andere Mitarbeiter zu schonen und soll die optische Pegelanzeige nicht beeinflussen. Somit kann mit dem neuen „Audio Level Gaug“ auch lautlos getestet werden. Bislang mussten die Lautsprecher eingeschaltet sein, da die Pegelanzeige nicht zuverlässig funktionierte. Das System soll beliebig erweiterbar sein da die Anzahl der Kanäle variiert. Mit einem zusätzlichen Microcontroller soll das akustische Signal aufbereitet werden und über eine Schnittstelle an einen PC weiter gegeben werden. Diese Option soll den neuen „Audio Level Gaug“ rüsten für die kommende Automatisierung des Tests.

3.7 Organisation

3.7.1 Termine

Die folgenden Termine sind ein zu halten da es sich sonst auf die Note auswirken kann.

Datum / Uhrzeit	Art des Termins
25.05.2020 / 17:00Uhr	Themeneingabe
18.09.2020	Start der Diplomarbeit
02.11.2020 / 17:00Uhr	Abgabe der Diplomarbeit
13./14.11.2020	Präsentationen

Abbildung 3.7.1-1 - Terminplan

Den Termin für die Themeneingabe konnte ich leider wegen firmeninternen Problemen und meiner Kündigung in diesem Zeitraum, nicht einhalten. Die Suche nach einem geeigneten Thema in einer anderen Firma verzögerte sich durch leere Versprechen. Daher konnte ich das Thema erst am 26.06.2020 einreichen.

3.7.2 Grobe Zeitplanung

Dieser Zeitplan enthält in einer groben Übersicht die wichtigsten Arbeiten und deren zeitlichen Ausführung.

Kalenderwoche	38	39	40	41	42	43	44	45
Start der Diplomarbeit	X							
Planung	X							
Informationen sammeln	X	X						
Entwickeln		X	X		X	X		
Material bestellen			X			X		
Aufbauen / Modifizieren				X		X		
Testen				X	X	X	X	
Dokumentieren	X	X	X	X	X	X	X	
Abgabe der Diplomarbeit								X

Abbildung 3.7.2-2 - Grobzeitplan

3.8 Risikoanalyse

Nummer	Ursache	Nummer	Ursache
1	Erkrankung / Unfall	4	Berufliche Überlastung
2	Probleme mit der ANNAX AG	5	Datenverlust
3	Private Probleme	6	Organisatorische Probleme

Abbildung 3.8-1 - Risiken der Diplomarbeit

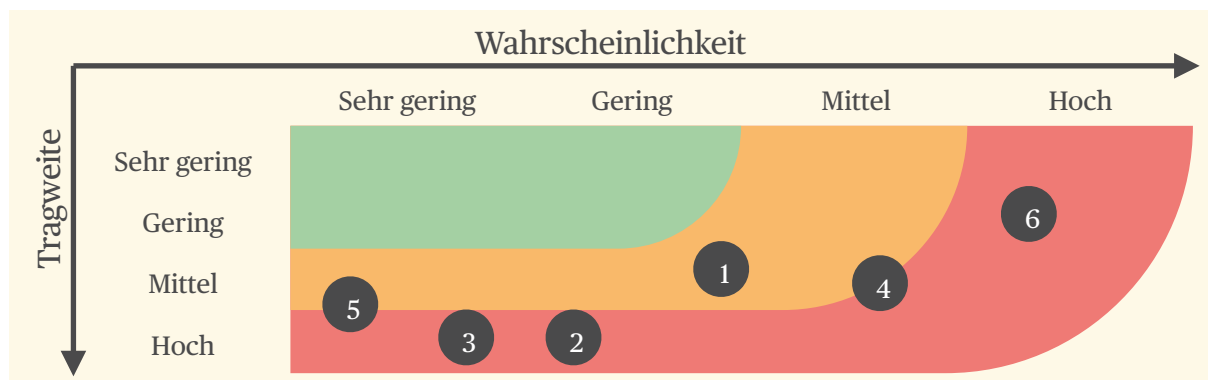


Abbildung 3.8-2 - Risikoanalyse im Überblick

Nr.	Mögliche Ursache	Wahrscheinlichkeit				Auswirkung	Tragweite				Warnungen	Massnahmen
		SG	G	M	H		SG	G	M	H		
1	COVID-19 / Grippewelle		X			Zeitverzögerung			X		Symptome	Kann-Ziele kürzen
2	Keine Unterstützung / Fehlende Informationen		X			Aufwändige Ausführung der Diplomarbeit / Zeitverzögerung				X	Persönlicher Kontakt	Kontakt mit dem Chef, Schulleitung
3	Todesfall / Krankheit in der Familie	X				Fehlende Motivation / Zeitverzögerung				X	keine	Kontakt mit der Schulleitung
4	Wichtige Aufträge			X		Zeitverzögerung			X		Kommunikation mit Kunden	Auftrag verschieben
5	HW defekt / ungenügende Absicherung	X				Datenverlust / Zeitverzögerung			X		Fehlermeldungen	iCloud Backup / häufiges versionieren
6	Fehlender Zutritt zur Firma oder dem Labor				X	Mehraufwand / Zeitverzögerung		X			Persönlicher Kontakt	Kontakt mit dem Chef, Schulleitung

Abbildung 3.8-3 - Risikoanalyse aufgeschlüsselt

4 Planung

4.1 Projektorganisation

4.1.1 Vorgehensmodell

Es wurde entschieden, die Produktentwicklung mit einem Phasenmodell zu realisieren. Nachfolgend die einzelnen Phasen mit den dazugehörigen Meilensteinen:

Phase	Beschreibung	Meilenstein
1	Initiierung	Projektgenehmigung
2	Projekteinrichtung	Abschluss Projektkonstruierung
3	Planung	Planungsfreigabe
4	Durchführung	Funktionierender Prototyp
5	Abschluss	Fertige Diplomarbeit

Abbildung 4.1.1-1 - Projektphase und deren Meilensteine



Abbildung 4.1.1-2 - Paralleles Phasenmodell

Vorteile

Das parallele Phasenmodell ermöglicht das parallele Arbeiten. Während Phasen noch nicht zu 100% abgeschlossen sind, kann bereits mit dem nächsten Schritt begonnen werden. Gut geeignet, für eine ambitionierte Entwicklung um in kurzer Zeit ans Ziel zu gelangen.

Nachteile

Durch die Überschneidung der einzelnen Phasen besteht die Gefahr, dass eher unwichtige Dinge vergessen gehen oder gewisse Schritte zu früh eingeleitet werden und es zu Komplikationen kommt.

4.1.2 Zeitplan

	September															Oktober									
Aufgabe	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Initiierung (bereits abgeschlossen)																									
Projekteinrichtung																									
Vorstudie																									
Planung																									
Projektorganisation																									
Anforderungen definieren																									
Zielformulierung																									
Durchführung																									
Vorhandener Audio Level Gaug analysieren																									
Probleme definieren																									
Prototyp entwickeln																									
Prototyp aufbauen / modifizieren																									
Prototyp testen (auf Funktionalität)																									
Abschluss																									
Prototyp auf der Testanlage testen																									
Langzeittest																									
Reserve																									
Arbeitsjournal																									
Dokumentation																									
Präsentation																									

Abbildung 4.1.2-1 - Zeitplan Teil 1

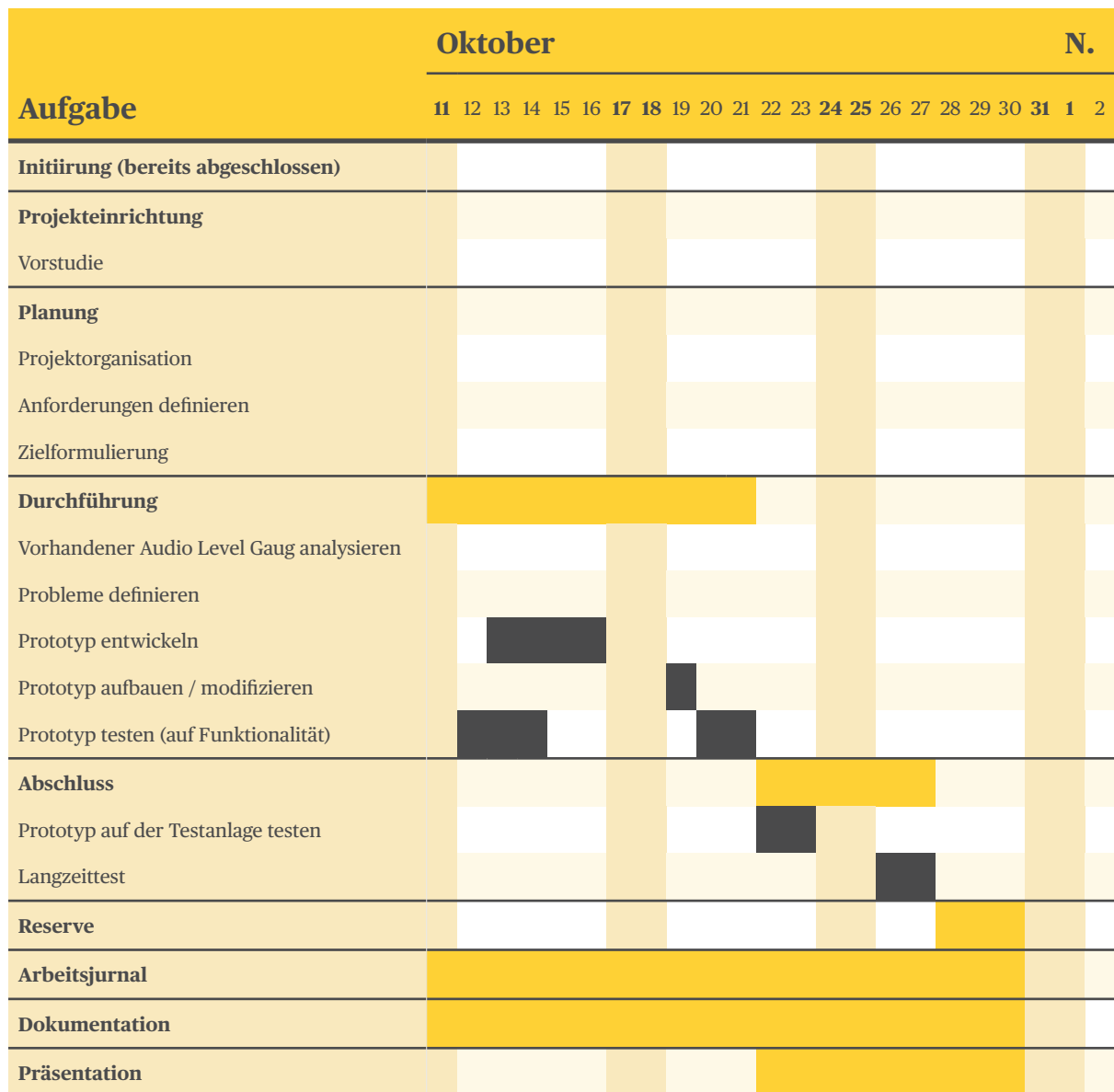


Abbildung 4.1.2-2 - Zeitplan Teil 2

Soll-, Ist-Zeitplan ist im Arbeitsjournal enthalten und dokumentiert.

4.1.3 Organigramm

Dieses Projekt umfasst nur wenige Teilnehmer. Daher fällt die Struktur sehr schmal aus. In der oberen Hierarchie die TEKO Bern und Herrn A. Latif welche für den Anstoss der Diplomarbeit sowie deren Projektgenehmigung zuständig sind. Mein Diplomlehrer J. Schenker ist als Experte in dem Themenbereich meiner Diplomarbeit als Unterstützung zur Durchführung da. Jedoch ist L. Von Burg als Projektleiter und Diplomand der alleinige Ausführer der Diplomarbeit. Als Kontaktperson bei der ANNAX AG wurde ihm C. Ocaña als Ansprechperson zugeteilt. Da in der ANNAX AG die Räumlichkeiten und Arbeitsplätze beschränkt sind, wird L. Von Burg die Prototypen Entwicklung im privaten Labor von A. Kistler durchführen.

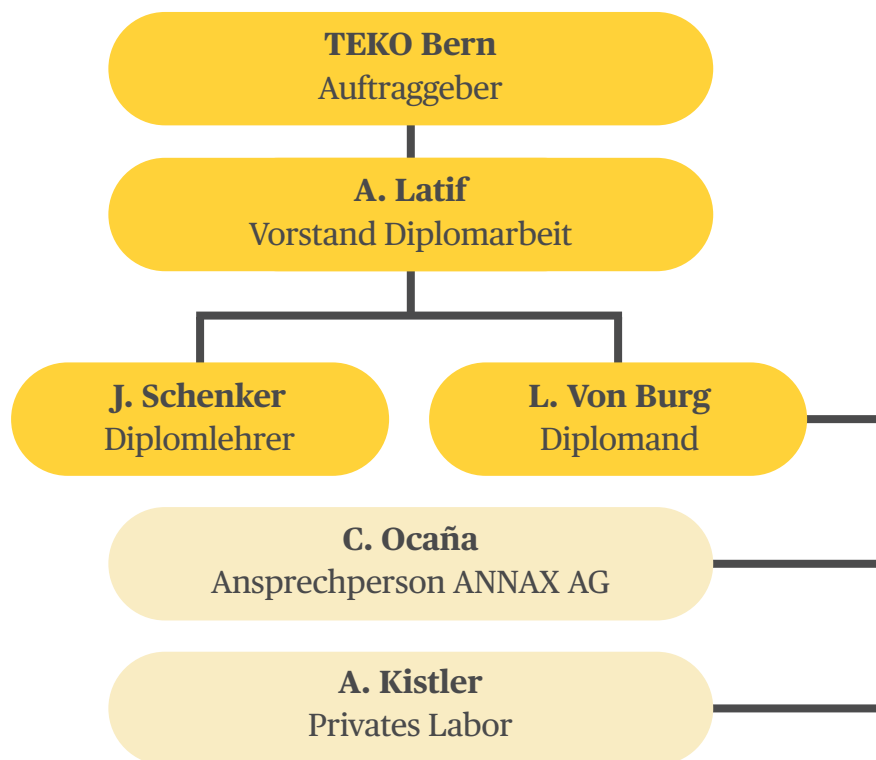


Abbildung 4.1.3-1 - Organigramm

4.2 Anforderungen

4.2.1 Anforderungen der ANNAX AG

Die ANNAX AG hat ihre Anforderungen in zwei Kategorien unterteilt. Die Muss-Anforderungen, welche zwingend erreicht werden sollten und die Kann-Anforderungen, welche optional sind. Diese dienen der Fortführung des Projekts nach der Diplomarbeit.

Muss-Anforderungen

- ◆ Kostengünstiges Messverfahren
- ◆ 4 unabhängige Audiokanäle (kein übersprechen)
- ◆ Optische Pegelanzeige
- ◆ Regler für die akustische Ausgabe
- ◆ Bauen eines Prototyps
- ◆ Elektrische Tests des Prototyps
- ◆ Vollständige Dokumentation
- ◆ Nutzwertanalyse der einzelnen Komponenten
- ◆ Technische Grundlagen für Fast Fourier Transformation Auswertung
- ◆ Vorverarbeitung der Signale direkt auf dem zu entwickelnden Gerät

Kann-Anforderungen

- ◆ Audiosignal digitalisieren
- ◆ Fast Fourier Transformation Auswertung
- ◆ Kommunikation mit einem PC
- ◆ Entwerfen des PCB Layouts

Anforderung der Fast Fourier Transformation Auswertung

- ◆ 4x FFT alle 5 - 10ms Auswerten
- ◆ 1s Kurvenform abspeichern
- ◆ Frequenzbereich: 100Hz - 8kHz

Datenablage

Die erarbeiteten Daten der Diplomarbeit werden auf dem SharePoint der Firma ANNAX AG, unter folgendem Verzeichnis abgelegt:

Dokumente ▸ Diplomarbeiten ▸ Lukas von Burg - Audio Level Gaug

4.3 Zielformulierung

4.3.1 Generelle Ziele

Die Anforderungen der ANNAX AG (siehe Kapitel 4.2.1) sind an zu streben. Die Soll-Situation (siehe Kapitel 3.6) dient dafür als Orientierung.

4.3.2 Muss- & Kann-Ziele

Diese Ziele leiten sich aus den Anforderungen der ANNAX AG ab. Zusätzlich sind auch die Anforderung der Schule TEKO Bern berücksichtigt.

Muss-Ziele

- ◆ Auswahl günstiger Komponenten
- ◆ Isolierte Audiokanäle um ein übersprechen zu vermeiden
- ◆ Optische Anzeige soll gut ablesbar sein
- ◆ Der Regler des akustischen Signals soll einstellbar sein im Bereich von 0% - 100%
- ◆ Manuelle Bedienung ohne externe Geräte möglich
- ◆ Elektrisch funktionierender Prototyp
- ◆ Lösung evaluieren für die Aufbereitung des Audiosignals
- ◆ Vollständige Dokumentation damit das Projekt nach Abschluss der Diplomarbeit, reibungslos an die ANNAX AG übergeben werden kann.

Kann-Ziele

- ◆ Der Prototyp wird für die vorhandne Frontplatte designed
- ◆ Digitalisieren des Audiosignal
- ◆ Audiosignal mit Fast Fourier Transformation aufbereiten
- ◆ Kommunikation mit einem PC
- ◆ Entwerfen des PCB Layouts

4.4 Finanzieller Rahmen

Der finanzielle Rahmen für diese Diplomarbeit wurde auf 500.- CHF gesetzt. Da eine kostengünstige Variante angestrebt wird, konnte dieser finanzielle Rahmen gut eingehalten werden.

Liferant	Teilenummer	Anzahl	Beschreibung	Kosten
Digikey	296-43960-5-ND	7	IC AMP CLASS AB MONO 1W 8DIP	CHF 7.42
Digikey	296-1395-5-ND	2	IC OPAMP GP 2 CIRCUIT 8DIP	CHF 0.72
Digikey	PPC10.OZCT-ND	10	RES 10 OHM 0.6W 1% AXIAL	CHF 2.02
Digikey	BC3764CT-ND	40	RES 36 OHM 0.6W 1% AXIAL	CHF 8.08
Digikey	BC3794CT-ND	5	RES 47K OHM 0.6W 1% AXIAL	CHF 1.30
Digikey	BC100KZCT-ND	5	RES 100K OHM 0.6W 1% AXIAL	CHF 1.30
Digikey	987-1649-ND	10	POT 10K OHM 1/20W PLASTIC LINEAR	CHF 11.40
Digikey	BC5192-ND	10	CAP CER 0.05UF 500V Z5U RADIAL	CHF 7.56
Digikey	BC1101CT-ND	10	CAP CER 0.1UF 50V X7R RADIAL	CHF 1.36
Digikey	1276-1043-1-ND	10	CAP CER 0.1UF 25V X5R 0402	CHF 0.10
Digikey	493-10464-1-ND	20	CAP ALUM 0.22UF 20% 50V RADIAL	CHF 3.30
Digikey	1276-1119-1-ND	5	CAP CER 10UF 6.3V X5R 0603	CHF 0.50
Digikey	399-18269-1-ND	5	CAP ALUM 10UF 20% 63V THRUHOLE	CHF 0.80
Digikey	493-1609-ND	10	CAP ALUM 220UF 20% 50V RADIAL	CHF 4.50
Digikey	TVA1312-E3-ND	1	CAP ALUM 250UF 50V AXIAL	CHF 3.37
Digikey	1568-1231-ND	2	TEENSY 3.2 K20 EVAL BRD	CHF 39.82
Digikey	1568-DEV-15421-ND	3	TEENSY AUDIO ADAPTOR BOARD	CHF 45.21
Digikey	A32703-40-ND	7	CONN HEADER VERT 40POS 2.54MM	CHF 25.27
Digikey	SAM1125-32-ND	2	CONN RCPT 32POS 0.1 TIN PCB	CHF 6.48
Digikey	ED7636-36-ND	5	CONN RCPT 36POS 0.1 GOLD PCB	CHF 24.30
Digikey	W25Q128JVSQCT-ND	2	IC FLASH 128M SPI 133MHZ 8SOIC	CHF 2.64
Digikey	754-1176-5-ND	5	LED BAR GRAPH 10SEG 627NM RED	CHF 13.95
TOTAL				CHF 211.40

Abbildung 4.4-1 - Kostenliste

5 Durchführung

5.1 Vorhandenes Testsystem

5.1.1 Übersicht



Abbildung 5.1.1-1 - Audio Testanlage

Auf der Abbildung links ist ein Testsystem mit 12 audio Ausgängen, wie es heute eingesetzt wird, zu sehen. Oben die 12 LED-Balken welche den Pegel des Audiosignals anzeigen. Gleich darunter je ein Potentiometer, womit die Lautstärke, jedoch nicht die Pegelanzeige eingestellt werden kann. Und noch die 12 Lautsprecher für die akustische Wiedergabe. Dieses Testsystem wird verwendet, um die Verschiedenen Lautsprecher in einem öffentlichen Verkehrsmittel zu simulieren. Damit kann z.B. kontrolliert werden, ob bei einer Durchsage in einem bestimmten Wagen, diese auch im richtigen Wagen wiedergegeben wird und nur in diesem Wagen.

Die Pegelanzeige ist eine Hilfeleistung für den Tester. Da akustisch schwer zu definieren ist welche Lautsprecher etwas wiedergeben, dient die Anzeige einer optischen Darstellung des Signals und somit eine einfachere Art zu erkennen, welcher Kanal eingeschaltet ist.

Problematik

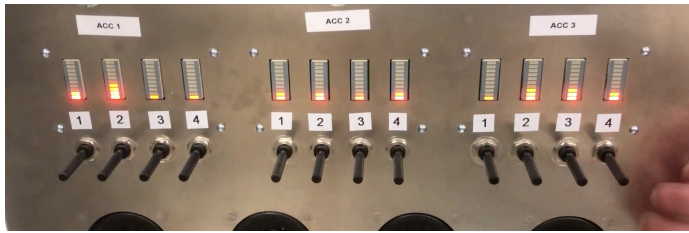


Abbildung 5.1.1-2 - Übersprechen der Kanäle durch klopfen auf die Frontplatte

Die Pegelanzeige funktioniert in der Praxis nur bedingt. Die einzelnen Kanäle übersprechen und machen somit ein zuverlässiges ablesen unmöglich. Bereits beim klopfen auf die Frontplatte, schlagen die Pegel aus ohne das ein Signal ausgegeben wird.

5.1.2 Analyse des bestehenden Systems

Als einzelner Kanal funktioniert die Schaltung einwandfrei und der Pegel wird wie gewünscht auf dem LED-Balken visualisiert. Jedoch beim verwenden mehrerer Kanäle, deren Lautsprecher gemeinsam auf einer Frontplatte montiert sind, übersprechen die Kanäle. Dies ist mechanischer Natur und könnte auch gelöst werden, indem man die Lautsprecher mechanisch isoliert montiert.

Da jedoch die Absicht besteht diesen zeitaufwändigen Test zu automatisieren ist die mechanische Korrektur für dieses System eine Lösung, jedoch muss die Schaltung wegen den fehlenden Funktionen, welche für die Automatisierung notwendig sind, sowieso überarbeitet werden.

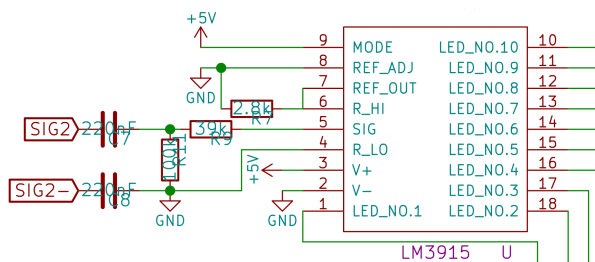


Abbildung 5.1.1-3 - Schemaausschnitt LED-Balken Ansteuerung

Das Signal des Verstärkers liegt an SIG2 und SIG2- an. Der LM3915 wandelt die anliegende Spannung um und steuert die entsprechenden LEDs des LED-Balken an (LED_NO.1 - LED_NO.10). Wenn der Lautsprecher mechanisch bewegt wird, erzeugt er eine Spannung, welche vom LM3915 ebenso interpretiert. Somit schlagen, beim verwenden eines Kanals, alle Kanäle aus.

Laborversuche

Um das Verständnis der aktuellen Schaltung zu vertiefen, damit gewonnene Erkenntnisse in die Neuentwicklung einfließen können und Probleme vermieden werden, wurde die aktuelle Schaltung im Labor in Betrieb genommen. Der Fokus lag auf dem Eliminieren des Rückspiegels.

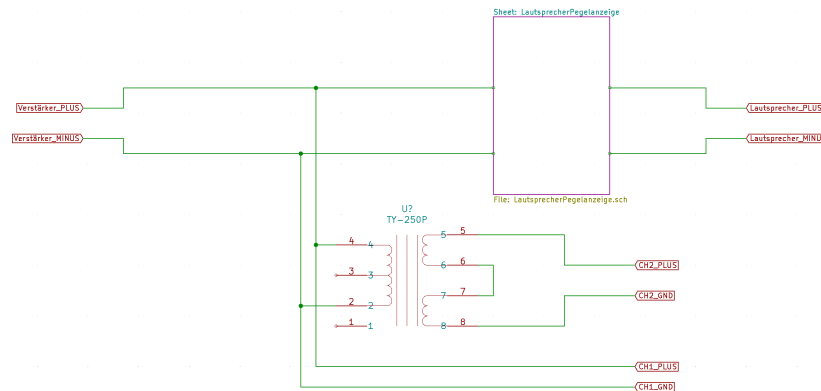


Abbildung 5.1.1-4 - Schema Testaufbau 1

Wie im Schema abgebildet wurde das Signal direkt am Ausgang des Verstärkers gemessen (CH1) wie auch nach dem Trafo (CH2). Das Ziel war es, mit dem Trafo die Rückkopplung zu verhindern. Jedoch wird auch das rückgekoppelte Signal über den Trafo an den Messkanal CH2 geleitet. Nachfolgend eine Messung des rückgekoppelten Signals. Dafür wurde die Membrane des Lautsprechers mechanisch bewegt.

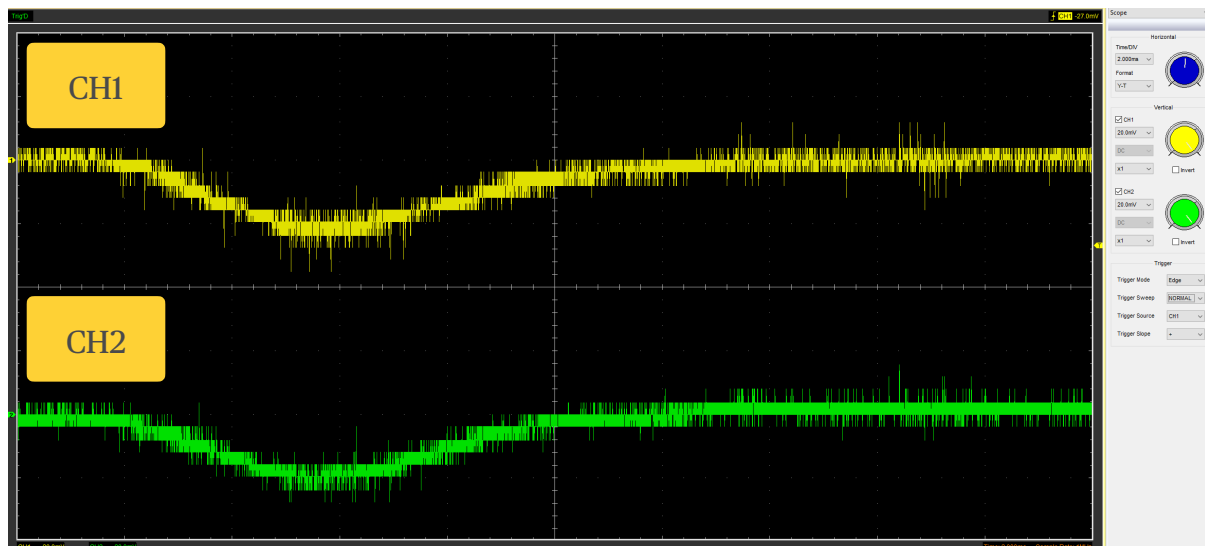


Abbildung 5.1.1-5 - Rückgekoppeltes Signal

Um einen Grundstein für die zukünftige Schaltung zu legen wurden die Pegelanzeige der aktuellen Schaltung analysiert. Dabei wurde bei gleichbleibender Frequenz (440Hz) der Signalpegel erhöht und gemessen bei welcher Anzeige welcher Signalpegel angelegt ist. Gemessen wurde kurz bevor die nächste LED zu leuchten begann.

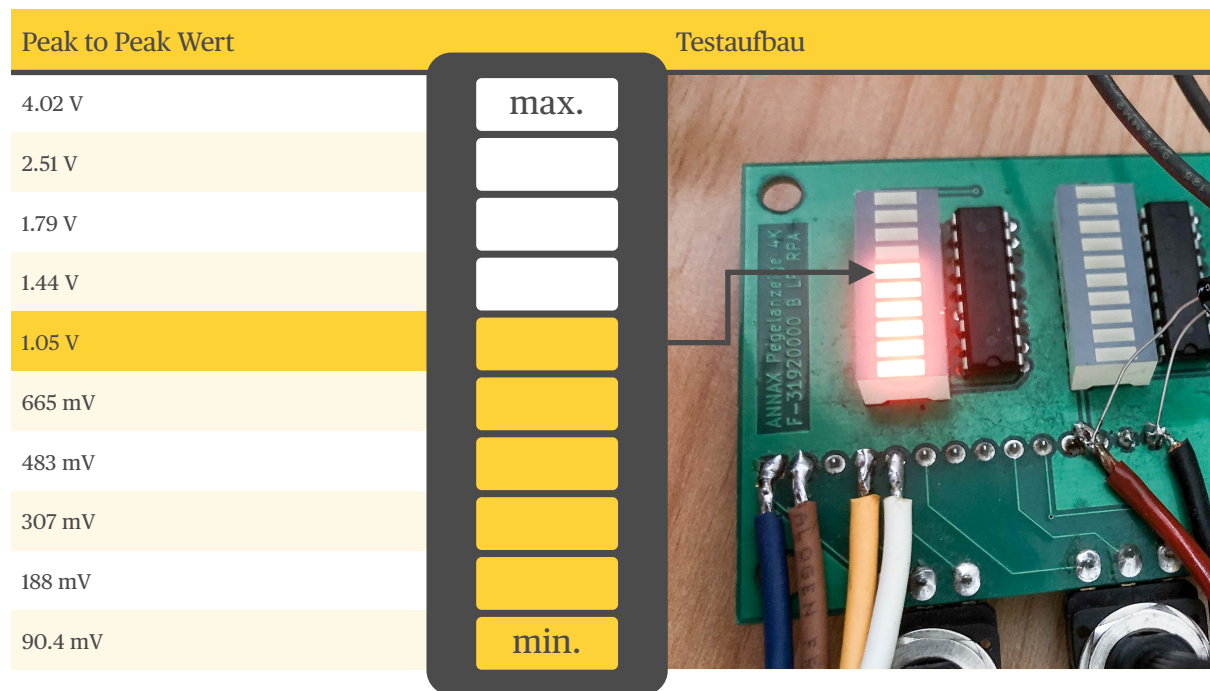


Abbildung 5.1.1-6 - Auswertung Pegelanzeige

Erkenntnisse

Die mechanische Verbindung der Lautsprecher über die Frontplatte verursacht die Rückkopplung. Das Rückgekoppelte Signal geht zurück bis zum Verstärker. Somit kann auf der Verbindung „Verstärker -> Lautsprecher“ das Signal nicht gemessen werden ohne das rückgekoppelte Signal auch zu messen.

Nachfolgen eine mögliche Signalverarbeitung. Dabei wird das Signal zuerst digitalisiert und verarbeitet. „Zeitgleich“ wird das Signal wieder zurückgewandelt und über eine Verstärkerschaltung an den Lautsprecher übergeben. Dabei werden die rückgekoppelten Signale die Messung nicht verfälschen, da die Signal nur bis zu der zweiten Verstärkerschaltung vordringen können.



Abbildung 5.1.1-7 - Mögliche Signalverarbeitung

5.2 Zukünftiges Testsystem

5.2.1 Mögliche Systemvarianten

Das zukünftige Testsystem sollte kostengünstig sein und zugleich Modular, damit es in der Anzahl der Audiokanäle nicht zu sehr eingeschränkt ist.

Systemvariante 1

Grundsätzliche Idee dieser Systemvariante: Die Entwicklung auf einen Kanal zu beschränken.

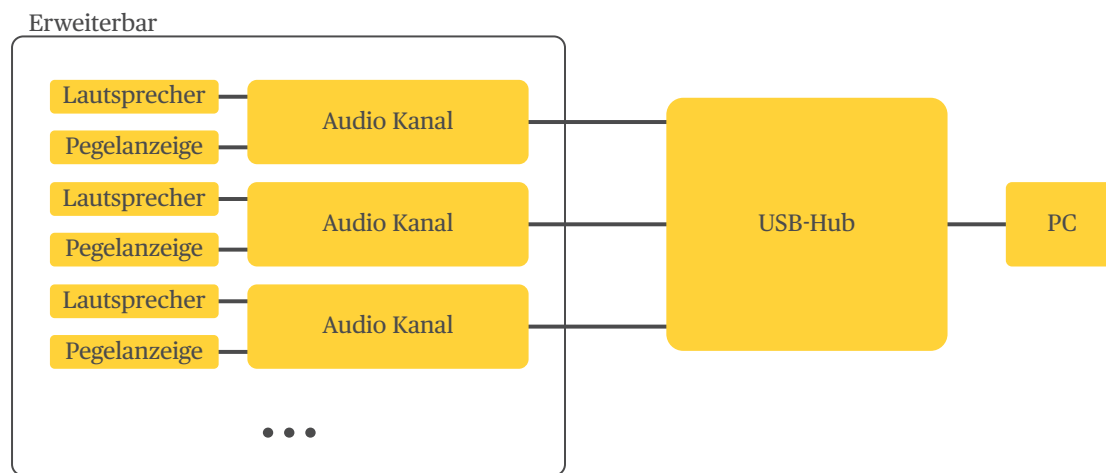


Abbildung 5.2.1-1 - Grobe Übersicht Systemvariante 1

Vorteile

Mit dieser Systemvariante ist jeder Kanal unabhängig und selbständig. Dies ermöglicht eine einfachere Entwicklung des Prototyps. Durch den abgeschlossenen und selbständigen Kanal, kann die Anzahl der Kanäle beliebig erweitert werden (Einschränkung durch den USB-Hub).

Nachteile

Die Kosten für das Testsystem können so nur bedingt reduziert werden, da jeder Kanal einen Microcontroller mit allen dazugehörigen Komponenten braucht. Änderungen des Codes müsste auf jedem einzelnen Kanal implementiert werden. Viele Kabel wegen der USB Hub Lösung.

Systemvariante 2

Grundsätzliche Idee dieser Systemvariante: Die einzelnen Kanäle möglichst kostengünstig zu halten. Die Anzeige sowie akustische Wiedergabe würde auf den einzelnen Kanälen wegfallen. Dies würde dann ein zentraler Microcontroller übernehmen, welcher die einzelnen Kanäle koordiniert, Resultate anzeigt, die akustische Wiedergabe steuert und die aufbereiteten Daten an einen PC weitergibt.

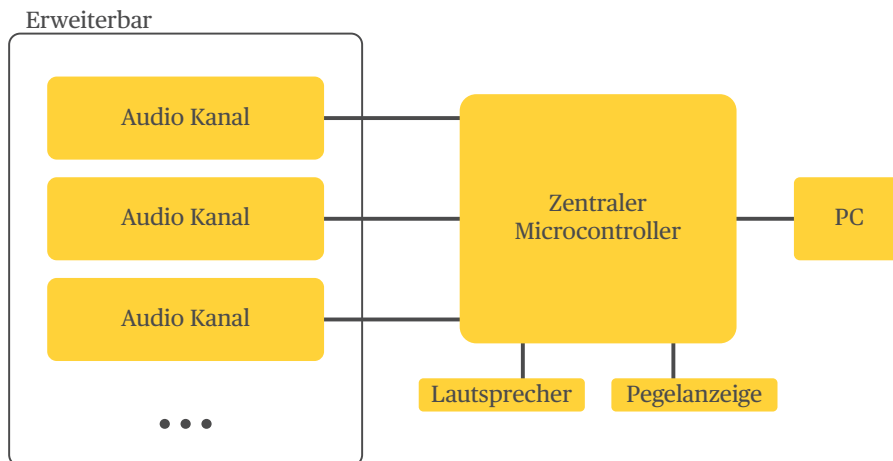


Abbildung 5.2.1-2 - Grobe Übersicht Systemvariante 2

Vorteile

Die einzelnen Kanäle fokussieren sich lediglich auf die Verarbeitung des Audiosignals und die Kommunikation mit dem zentralen Microcontroller. Die einzelnen Kanäle sind durch die minimalen Anforderungen kostengünstig. Dadurch steht mehr Budget für den Zentralrechner zur Verfügung. Ein grosses Touch Display mit allen Informationen drauf wäre daher realisierbar. Flexibles verwenden durch ein Touch Displays. Es bräuchte nicht mehr für jeden Kanal einen Lautsprecher. Änderungen des Codes betreffend Verarbeitung der Informationen müsste nur auf dem Zentralrechner implementiert werden.

Nachteile

Grosser Entwicklungsaufwand, da die Ausgabe auf einem Touch Display aufwändiger ist als z.B. auf einem LED Balken. Durch die variierende Anzahl der Kanäle müsste der Zentralrechner dies flexibel koordinieren.

Systemvariante 3

Grundsätzliche Idee dieser Systemvariante: Ein Modul mit 4 Kanälen. Somit könnte die Anzeige sowie die akustische Wiedergabe pro 4 Kanäle realisiert werden.

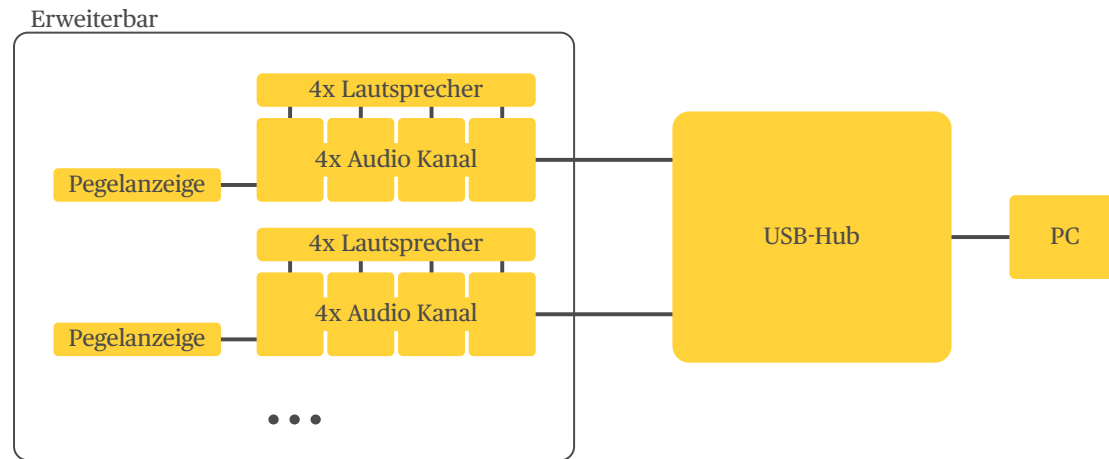


Abbildung 5.2.1-3 - Grobe Übersicht Systemvariante 3

Vorteile

Durch das zusammenfassen der Kanäle können Kosten, bezüglich Anzeige, eingespart werden. Das Zusammenfassen, ermöglicht es die Ressourcen des Microcontroller besser zu nutzen. Weniger Kabel durch die USB Hub Verbindung als bei Systemvariante 1. Tiefere Kosten durch das zusammenfassen von 4 Kanälen. Mit dieser Systemvariante sind 4 Kanäle unabhängig und selbständig. Dies ermöglicht eine einfachere Entwicklung des Prototyps.

Nachteile

Die Anzahl der Kanäle ist nicht frei wählbar und beschränkt sich auf die vierer Gruppierung.

Nutzwertanalyse Systemvarianten

1 = Bewertung / 2 = Teilnutzwert / Bewertungsbereich = 1-5							
Kriterien	Gewichtungs-faktor	Systemvariante 1		Systemvariante 2		Systemvariante 3	
		1	2	1	2	1	2
Preis	0.1	2	0.2	4	0.4	5	0.5
Entwicklungsaufwand	0.1	5	0.5	2	0.2	4	0.4
Flexibilität (spätere Änderungen)	0.2	2	0.4	5	1	4	0.8
Frontplattenanpassung	0.1	5	0.5	2	0.2	3	0.3
Einfachheit	0.1	5	0.5	2	0.2	4	0.4
Variable Anzahl Kanäle	0.1	4	0.4	5	0.5	2	0.2
Wahrscheinlichkeit eines fertigen Prototyps innerhalb der Diplomarbeit	0.3	5	1.5	2	0.6	4	1.2
Gesamtnutzwert		4		3.1		3.8	
Rangliste		1.		3.		2.	

Abbildung 5.2.1-4 - Nutzwertanalyse Systemvarianten

Die Nutzwertanalyse ergab, dass sich die Systemvariante 1 am besten eignet für dieses Projekt. Systemvariante 2 trumpft mit guten Möglichkeiten ist jedoch sehr umfangreich und daher für dieses Projekt zu aufwändig. Systemvariante 3 konnte sich wegen des grösseren Entwicklungsaufwand nicht behaupten.

Anpassung Systemvariante 1

Durch später gewonnene Erkenntnisse wurde die Systemvariante 1 noch überarbeitet. Siehe dafür unter Punkt „5.2.2 Mögliche Schaltungsvarianten“ im Abschnitt „Anpassung Systemvariante 1“ die Anpassungen.

5.2.2 Mögliche Schaltungsvarianten

Die Problematik, mit dem Übersprechen wie in Punkt 5.2.1 beschrieben, könnte gelöst werden indem der Ausgang auf den Lautsprecher nicht mit dem Messeingang verbunden ist. Nachfolgend 2 mögliche Schaltungsvarianten, welche getestet werden und danach evaluiert wird, welche Schaltung sich für dieses Projekt besser eignet.

Schaltungsvariante 1

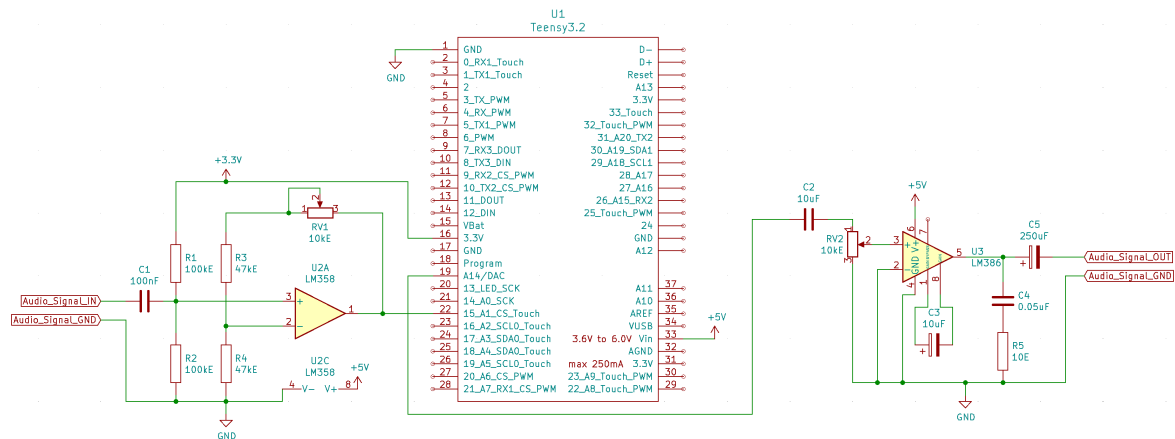
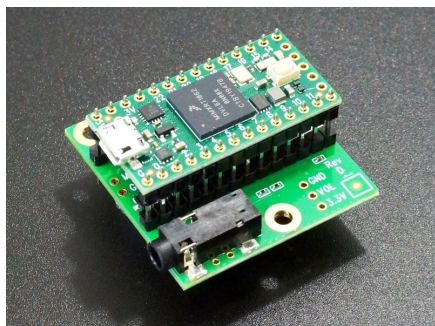


Abbildung 5.2.2-1 - Schema Testaufbau 2 (Version 1)

Mit einem „Simple Audio Frequency Meter“² soll zunächst das Audiosignal aufgenommen werden. „Zeitgleich“ soll das aufgenommene Audio Signal vom Microcontroller wieder abgespielt werden und mit dem „Simple Audio Player“³ verstärkt und auf einem Lautsprecher wiedergegeben werden.

Schaltungsvariante 2



Diese Schaltungsvariante ist ähnlich zu Schaltungsvariante 1 wobei hierfür das „Teensy Audio Adapter Board“ verwendet wird.

Abbildung 5.2.2-2 - Aufbau Testaufbau 3⁴

² Aufgerufen am 29.09.2020 - <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SimpleAudioFrequencyMeter>

³ Aufgerufen am 29.09.2020 - <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SimpleAudioPlayer>

⁴ Aufgerufen am 29.09.2020 - <https://protosupplies.com/product/teensy-4-x-audio-adapter/>

Erkenntnisse

Die zwei Schaltungsvarianten wurden ausgiebig getestet. Schaltungsvariante 1 ist wie im oben abgebildeten Schema nur bedingt praktikabel. Durch die notwendigen Berechnungen reicht die Wiedergabegeschwindigkeit über den DAC nicht aus um das gewünschte Signal von bis zu 10kHz wiederzugeben. Durch das Berechnen eines FFTs und die Kommunikation mit einem PC (Simuliert mit einem Delay), ist die Sample-Rate zu klein und das Ausgangssignal wird ab ca. 3kHz unbrauchbar. Daher wurde eine alternative Schaltung verwendet, welche das Signal direkt an den Ausgang weiter gibt.

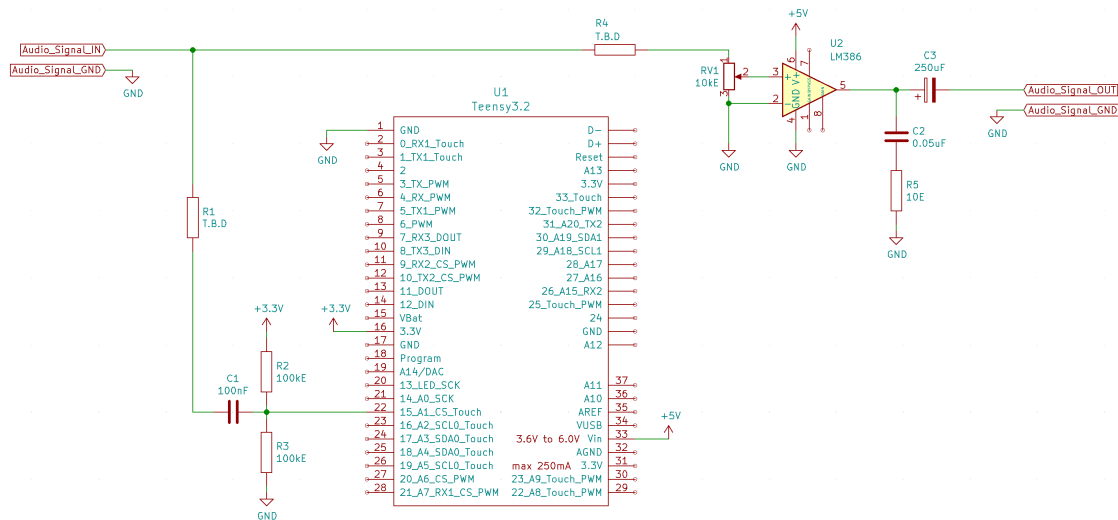


Abbildung 5.2.2-3 - Schema Testaufbau 2 (Version 2)

Die Schaltungsvariante 2 mit dem „Audio Adapter Board“ konnte dank der integrierten Audio Verarbeitung, das Audiosignal aufnehmen, ein FFT berechnen und danach das Audiosignal wieder abspielen. Jedoch brauchte es zusätzlich einen Verstärker wie in Schaltungsvariante 1.

Schaltungsvariante 1 ist durch die minimale Anzahl von Bauteilen sehr kostengünstig jedoch verfügt sie nicht über eine Leistungsstarke Ergänzung um das Audiosignal zu analysieren. Schaltungsvariante 2 ist durch das „Audio Adapter Board“ auf maximal 2 Kanäle beschränkt im Vergleich könnte Schaltungsvariante 1 erweitert werden auf bis zu 20 Kanäle (dies ist mit dem aktuellen Wissenstand eine Schätzung). Mit 20 Kanälen würde pro Kanal 0.25ms Rechenzeit zur Verfügung stehen um für alle Kanäle alle 5ms ein aufbereitetes FFT zur Verfügung zu stellen. Dies erfordert jedoch einen minimalen und optimalen Code und würde keinen Spielraum für Erweiterung offen lassen. Bisher wurden 4 Kanäle gruppiert auf einer Platine verarbeitet. Dies wäre mit Schaltungsvariante 1 und nur einem Teensy 3.2 gut realisierbar.

Vorteile Schaltungsvariante 1

Kostengünstig durch minimalen Schaltungsaufwand.

Nachteile Schaltungsvariante 1

Keine Hardwareunterstützung für die Verarbeitung des Audiosignals.
Aufwändigere Programmierung.

Vorteile Schaltungsvariante 2

Gute Hardwareunterstützung für die Verarbeitung des Audiosignals. Entlastung des Microcontroller durch ausgelagerte Verarbeitung. Einfache Programmierung durch grosse Auswahl an bereitgestellten Bibliotheken.

Nachteile Schaltungsvariante 2

Höhere Kosten im Vergleich zu Schaltungsvariante 1.

Anpassung Systemvariante 1

Unter Punkt „5.2.1 Mögliche Systemvarianten“ wurden drei Varianten für das System erarbeitet. Nach den Erkenntnissen unter Punkt „5.2.2 Mögliche Schaltungsvarianten“ ist die favorisierte Systemvariante 1 bedingt praktikabel, da sich durch zusammenführen von mehreren Kanälen erheblich Kosten einsparen lassen.

Die Nutzwertanalyse unter Punkt „5.2.1 Mögliche Systemvarianten“ ergab ebenfalls für Systemvariante 3 eine sehr gute Wertung. Deshalb werden die positiven Eigenschaften der Systemvariante 3 in die Systemvariante 1 einfließen um so eine neue Systemvariante zu erarbeiten, bei der die Kosten erheblich niedriger sind.

Systemvariante 1.1

Grundsätzliche Idee dieser Systemvariante: Ähnlich wie Systemvariante 1 mit dem einzigen unterschied, dass die Verarbeitung der Audiosignale zusammengefasst wird.

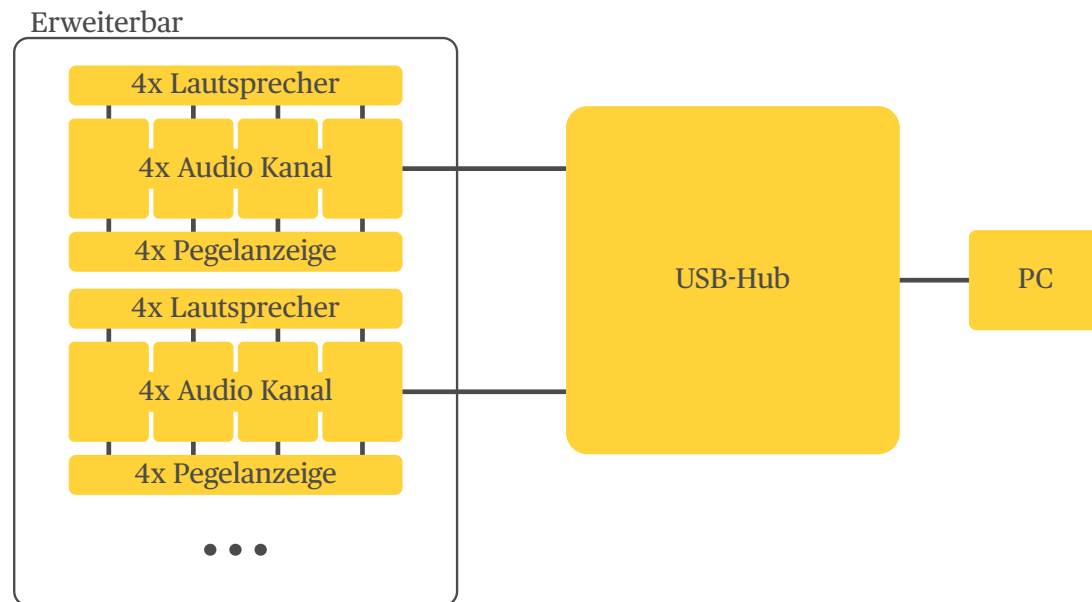


Abbildung 5.2.2-4 - Grobe Übersicht Systemvariante 1.1

Vorteile

Kosten sind noch niedriger. Kleinerer USB-Hub notwendig da immer 4 Kanäle zusammengefasst sind.

Nachteile

Keine beliebige Anzahl von Kanälen (in Anbetracht der niedrigeren Kosten jedoch nur ein kleiner Nachteil).

Kosten für 4 Kanäle

Kosten für Platine, Verbindungsstecker, Anzeige sowie Lautsprecher werden hier nicht berücksichtigt, da sich diese Kosten bei diesen zwei Varianten nicht unterscheiden.

Schaltungsvariante 1

Liferant	Teilenummer	Anzahl	Beschreibung	Kosten
Digi-Key	296-43960-5-ND	4	IC AMP CLASS AB MONO 1W 8DIP	CHF 4.24
Digi-Key	PPC10.OZCT-ND	4	Widerstand 10E	CHF 0.81
Digi-Key	BC100KZCT-ND	8	Widerstand 100kE	CHF 2.08
Digi-Key	T.B.D	8	Widerstand T.B.D	CHF 2.08
Digi-Key	987-1649-ND	4	Potentiometer 10kE	CHF 4.56
Digi-Key	493-1609-ND	4	CAP ALUM 220UF 20% 50V RADIAL	CHF 1.80
Digi-Key	BC110ICT-ND	4	CAP CER 0.1UF 50V X7R RADIAL	CHF 0.54
Digi-Key	BC5192-ND	4	CAP CER 0.05UF 500V Z5U RADIAL	CHF 3.02
Digi-Key	1568-1231-ND	1	TEENSY 3.2 K20 EVAL BRD	CHF 19.91
TOTAL				CHF 39.04

Abbildung 5.2.2-5 - Kostenübersicht Schaltungsvariante 1

Schaltungsvariante 2

Liferant	Teilenummer	Anzahl	Beschreibung	Kosten
Digi-Key	296-43960-5-ND	4	IC AMP CLASS AB MONO 1W 8DIP	CHF 4.24
Digi-Key	PPC10.OZCT-ND	4	Widerstand 10E	CHF 0.81
Digi-Key	987-1649-ND	4	Potentiometer 10kE	CHF 4.56
Digi-Key	493-1609-ND	4	CAP ALUM 220UF 20% 50V RADIAL	CHF 1.80
Digi-Key	BC5192-ND	4	CAP CER 0.05UF 500V Z5U RADIAL	CHF 3.02
Digi-Key	1568-1231-ND	1	TEENSY 3.2 K20 EVAL BRD	CHF 19.91
Digi-Key	1568-DEV-15421-ND	2	TEENSY AUDIO ADAPTOR BOARD	CHF 30.14
Digi-Key	A32703-40-ND	2	CONN HEADER VERT 40POS 2.54MM	CHF 7.22
TOTAL				CHF 71.70

Abbildung 5.2.2-6 - Kostenübersicht Schaltungsvariante 2

Nutzwertanalyse Schaltungsvarianten

1 = Bewertung / 2 = Teilnutzwert / Bewertungsbereich = 1-5					
Kriterien	Gewichtungs- faktor	Schaltungsvariante 1		Schaltungsvariante 2	
		1	2	1	2
Preis	0.3	5	1.5	2	0.6
Entwicklungsaufwand	0.1	4	0.4	5	0.5
Programmieraufwand	0.2	2	0.4	5	1
Flexibilität (spätere Änderungen)	0.1	4	0.4	5	0.5
Zusätzliche Funktionen	0.1	2	0.2	5	0.5
Wahrscheinlichkeit eines fertigen Prototyps innerhalb der Diplomarbeit	0.2	5	1	5	1
Gesamtnutzwert		3.9		4.1	
Rangliste		2.		1.	

Abbildung 5.2.2-7 - Nutzwertanalyse Schaltungsvarianten

Die Kosten beider Schaltungsvarianten sind niedrig. Der Gewichtungsfaktor wurde beim „Preis“ trotzdem hoch gewählt, da eine Kostengünstige Schaltungsvariante gewünscht ist. Trotzdem fällt die Auswahl auf die etwas teurere Schaltungsvariante 2. Diese hat durch den auf dem „Audio Adapter Board“ integrierten SGTL5000 (Ultra-Low-Power Audio Codec) einen erheblichen Vorteil bezüglich geringerem Programmieraufwand und mehr Rechenkapazität. Dabei ist auch zu beachten, dass die Schaltungsvariante 2 für 4 Kanäle mit zwei „Audio Adapter Board“ ausgestattet ist und somit das Teensy 3.2 stark entlastet wird. Dadurch können spätere Erweiterungen problemlos integriert werden.

5.3 Hardware

5.3.1 Microcontroller

Für die Fast Fourier Transformation Berechnung, eignet sich für dieses Projekt ein Microcontroller am besten.

Vorteile

Ein kostengünstiges Messverfahren. Alternativ zum Microcontroller gibt es Geräte welche zwar Signale auswerten können, jedoch meist für dieses Projekt zu umfangreiche Funktionen bieten und sich daher auch in einem deutlich höheren Preissegment befinden.

Bei der Wahl eines Microcontroller sind spätere Optimierungen ohne grossen Aufwand möglich. Dazu können zusätzliche Funktionen, wie Anzeige des Audio Pegels oder der Kommunikation mit dem PC, ausgeführt werden.

Nachteile

Zusatzaufwand für die Programmierung der Fast Fourier Transformation Berechnung.

Übersicht

Informationen über die Geschwindigkeit, der einzelnen Microcontroller beim berechnen einer Fast Fourier Transformation, wurden aus einem bestehenden Studie entnommen, welches genau diese Thematik behandelt.⁵ Der Fokus dieser Studie lag auf einer Anzahl der Abtastwerten von 128. Somit kann für dieses Projekt mit einem Frequenzbereich von 100Hz - 8kHz eine Frequenzauflösung von 62.5Hz wie folgt berechnet werden:⁶

$$df = \frac{fs}{BL} = \frac{8000Hz}{128} = 62.5Hz$$

df = Frequenzauflösung, fs = Abtastrate, BL = Abtastwert (Samples)

Bei dieser Berechnung geht hervor, dass die Anzahl der Abtastwerte auch für dieses Projekt gut geeignet sind.

Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass ein Datentyp „int16“ (Zahlenbereich von -32'768 - 32'767)⁷ für dieses Projekt und FFT-Berechnung ausreichen sollte.

⁵ Aufgerufen am 21.09.2020 - <http://openaudio.blogspot.com/2016/09/benchmarking-fft-speed.html>

⁶ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://www.nti-audio.com/de/service/wissen/fast-fourier-transformation-fft>

⁷ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://docs.microsoft.com/en-us/cpp/cpp/data-type-ranges?view=vs-2019>

Die niedrigste Rechengeschwindigkeit mit 639 Berechneten FFTs pro Sekunde weist das Arduino M0 auf. Dies ergibt eine Berechnung alle 1.6ms. Ist somit aber immer noch in den Anforderungen der ANNAX AG mit einer Berechnung alle 5-10ms.

Des Signal soll in einer Länge von 1s gespeichert werden. Da die maximale Frequenz 8kHz ist und mindesten 2 Samples pro Periode gebraucht werden (Nyquist Theorem) sieht die Berechnung wie folgt aus:

$$8000\text{Hz} \times 2 = 16000\text{S/s}$$

Der Datentyp int16 hat eine Datengröße von 2 Bytes⁸. Die notwendige Speichergröße alleine für das abspeichern der 1s langen Kurvenform wird wie folgt berechnet:

$$16000\text{S/s} \times 2\text{Byte} = 32000\text{Byte} = 32\text{KB}$$

Daraus resultiert, dass sogar das Maple mit dem kleinsten Speicher von 128KB noch ausreichend Reserven hat.

Arduino M0

Preis	37.95 CHF (embedded-tools.ch)
Arbeitsspannung	3.3 V
Flash Speicher	256 KB
SRAM	32 KB
Taktfrequenz	48 MHz
Analog I/O Pins	6 (12 bit Auflösung)
Digital I/O Pins	14
CMSIS	Nein
FFTs pro Sekunde	639
Abtastrate FFT+IFFT mit 50% Überlappung	20'447 Hz

Abbildung 5.3.1-1 - Spezifikation Arduino M0⁹

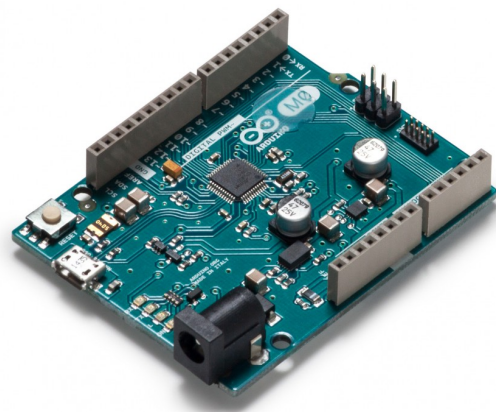


Abbildung 5.3.1-2 - Arduino M0¹⁰

⁸ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://docs.microsoft.com/en-us/cpp/cpp/data-type-ranges?view=vs-2019>

⁹ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://store.arduino.cc/arduino-m0>

¹⁰ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://store.arduino.cc/arduino-m0>

Maple

Preis	20.75 CHF (digikey.ch)
Arbeitsspannung	3.3 V
Flash Speicher	128 KB
SRAM	20 KB
Taktfrequenz	72 MHz
Analog I/O Pins	15 (12 bit Auflösung)
Digital I/O Pins	43
CMSIS	Nein
FFTs pro Sekunde	1'644
Abtastrate FFT+IFFT mit 50% Überlappung	52'597 Hz

Abbildung 5.3.1-3 - Spezifikation Maple¹¹

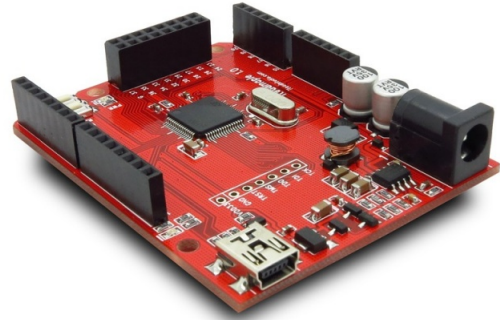


Abbildung 5.3.1-4 - Maple¹²

Teensy 3.2 (DEV-13736)

Preis	19.90 CHF (digikey.ch)
Arbeitsspannung	3.3 V (Eingang 5V tolerant)
Flash Speicher	256 KB
SRAM	64 KB
Taktfrequenz	72 MHz / 96 MHz (übertaktet)
Analog I/O Pins	21 (2 Wandler 16 bit Auflösung)
Digital I/O Pins	34
CMSIS	Ja
FFTs pro Sekunde	1'922 / 7'156 (CMSIS)
Abtastrate FFT+IFFT mit 50% Überlappung	61'491 Hz / 228'997 Hz (CMSIS)

Abbildung 5.3.1-5 - Spezifikation Teensy 3.2¹³

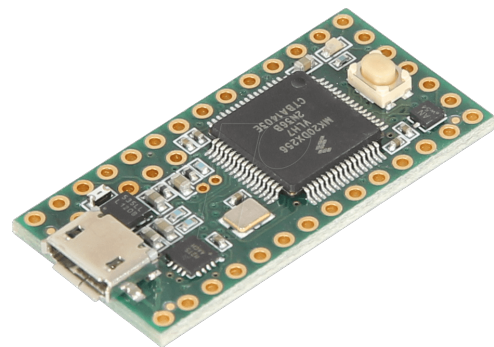


Abbildung 5.3.1-6 - Teensy 3.2¹⁴

¹¹ Aufgerufen am 22.09.2020 - <http://docs.leaflabs.com/static.leaflabs.com/pub/leaflabs/maple-docs/latest/hardware/maple.html>

¹² Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://www.itead.cc/wiki/iteadmaple>

¹³ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://www.reichelt.de/de/de/teensy-3-2-usb-teensy-3-2-p161540.html?r=1>

¹⁴ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://www.reichelt.de/de/de/teensy-3-2-usb-teensy-3-2-p161540.html?r=1>

FRDM-K66F

Preis	58.00 CHF (digikey.ch)
Arbeitsspannung	3.3V (Eingang 5-9V tolerant)
Flash Speicher	2 MB
SRAM	256 KB
Taktfrequenz	180 MHz
Analog I/O Pins	29 (2 Wandler 16 bit Auflösung)
Digital I/O Pins	54
CMSIS	Ja
FFTs pro Sekunde	2'865 / 14'286 (CMSIS)
Abtastrate FFT+IFFT mit 50% Überlappung	91'691 Hz / 457'143 Hz (CMSIS)

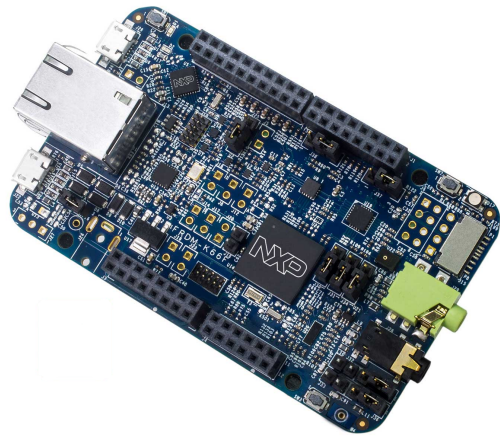


Abbildung 5.3.1-7 - Spezifikation FRDM-K66F¹⁵

Abbildung 5.3.1-8 - FRDM-K66F¹⁶

Nutzwertanalyse Microcontroller

1 = Bewertung / 2 = Teilnutzwert / Bewertungsbereich = 1-5									
Kriterien	Gewichtungs- faktor	Arduino M0		Maple		Teensy 3.2		FRDM-K66F	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Preis	0.15	4	0.6	5	0.75	5	0.75	2	0.3
Flash Speicher	0.1	2	0.2	1	0.1	2	0.2	5	0.5
SRAM	0.1	2	0.2	2	0.2	3	0.3	5	0.5
Taktfrequenz	0.1	2	0.2	3	0.3	3	0.3	5	0.5
FFTs pro Sekunde	0.2	1	0.2	2	0.4	4	0.8	5	1
Grösse	0.1	3	0.3	3	0.3	5	0.5	3	0.3
Umfang der Funktionen	0.05	2	0.1	3	0.15	3	0.15	5	0.25
Aufwand für die Inbetriebnahme mit der Arduino IDE	0.2	5	1	3	0.6	4	0.8	2	0.4
Gesamtnutzwert		2.8		2.8		3.8		3.75	
Rangliste		3.		3.		1.		2.	

Abbildung 5.3.1-9 - Nutzwertanalyse Microcontroller

¹⁵ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://os.mbed.com/platforms/FRDM-K66F/>

¹⁶ Aufgerufen am 22.09.2020 - <https://www.nxp.com/design/development-boards/freedom-development-boards/mcu-boards/freedom-development-platform-for-kinetis-k66-k65-and-k26-mcus:FRDM-K66F>

Aus dieser Nutzwertanalyse geht hervor, dass das Teensy 3.2 und FRDM-K66F einen deutlich höheren Gesamtnutzwert haben und dem Arduino M0 und Maple vorgezogen werden. Das Teensy ist nur knapp die erste Wahl.



Die Recherchen dieser Nutzwertanalyse ergab jedoch, dass für das Teensy zusätzlich ein Audio Board entwickelt wurde, welches in diesem Projekt viele Vorteile bringen könnte. Da die dafür vorgefertigten Bibliotheken eine FFT Auswertung eines Audiosignals ermöglicht.¹⁷ Das Ganze wird zusätzlich mit dem sogenannten „Audio System Design Tool“ mit einer grafische C-Programmierung unterstützt.¹⁸

Abbildung 5.3.1-10 - Teensy Audio Adaptor Board¹⁹

¹⁷ Aufgerufen am 24.09.2020 - https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Audio.html

¹⁸ Aufgerufen am 24.09.2020 - <https://www.pjrc.com/teensy/gui/?info=AudioInputI2S>

¹⁹ Aufgerufen am 24.09.2020 - <https://www.exp-tech.de/module/audio/5679/teensy-audio-adaptor-board-for-teensy-3.0-3.6>

5.3.2 Prototyp

Durch Recherchen und Versuchen wurde ein für dieses Projekt optimales Konzept erarbeitet. Grosse Teile der Schaltung wurden bereits im Vorfeld aufgebaut und erprobt. Folgend eine Zusammenfassung der einzelnen Nutzwertanalysen und deren Ergebnisse.

Nutzwertanalyse	Ergebniss	Kapitel
Systemvariante	Systemvariante 1.1	5.2.1 Mögliche Systemvarianten (Siehe auch: 5.2.2 Mögliche Schaltungsvarianten)
Schaltungsvariante	Schaltungsvariante 2	5.2.2 Mögliche Schaltungsvarianten
Microcontroller	Teensy 3.2	5.3.1 Microcontroller

Abbildung 5.3.2-1 - Zusammenfassung Ergebnisse Nutzwertanalysen

Blockschaltbild

Dieses Blockschaltbild orientiert sich an der Systemvariante 1.1 und ist lediglich detaillierter dargestellt. Für mehr Informationen siehe Kapitel „5.2.1 Mögliche Systemvarianten“ und „5.2.2 Mögliche Schaltungsvarianten“

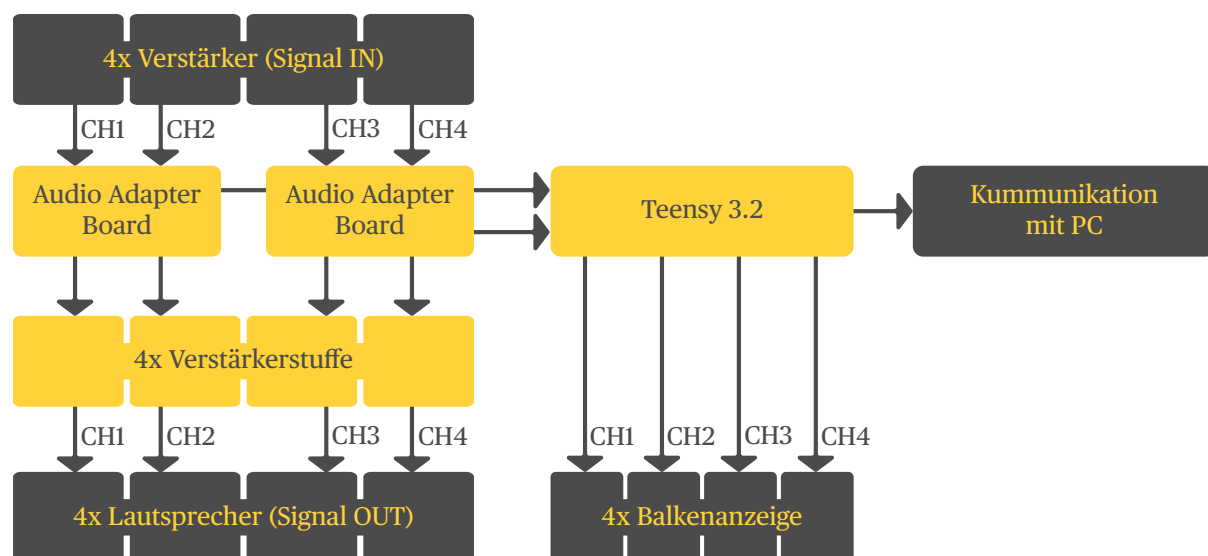


Abbildung 5.3.2-2 - Blockschemata Prototyp

Aufbau (Steckplatine)

Für den Aufbau des Prototyp wurde eine Steckplatine verwendet. Dadurch sind eventuelle Anpassungen effizient realisierbar. Durch aufbauen und testen einzelner Schaltungsteile im Vorfeld, gab es bei aufbauen des Prototyps kaum unerwartete Überraschungen. Nachfolgende Dimensionierungen wurden bewusst erst beim aufgebauten Prototyp vorgenommen.

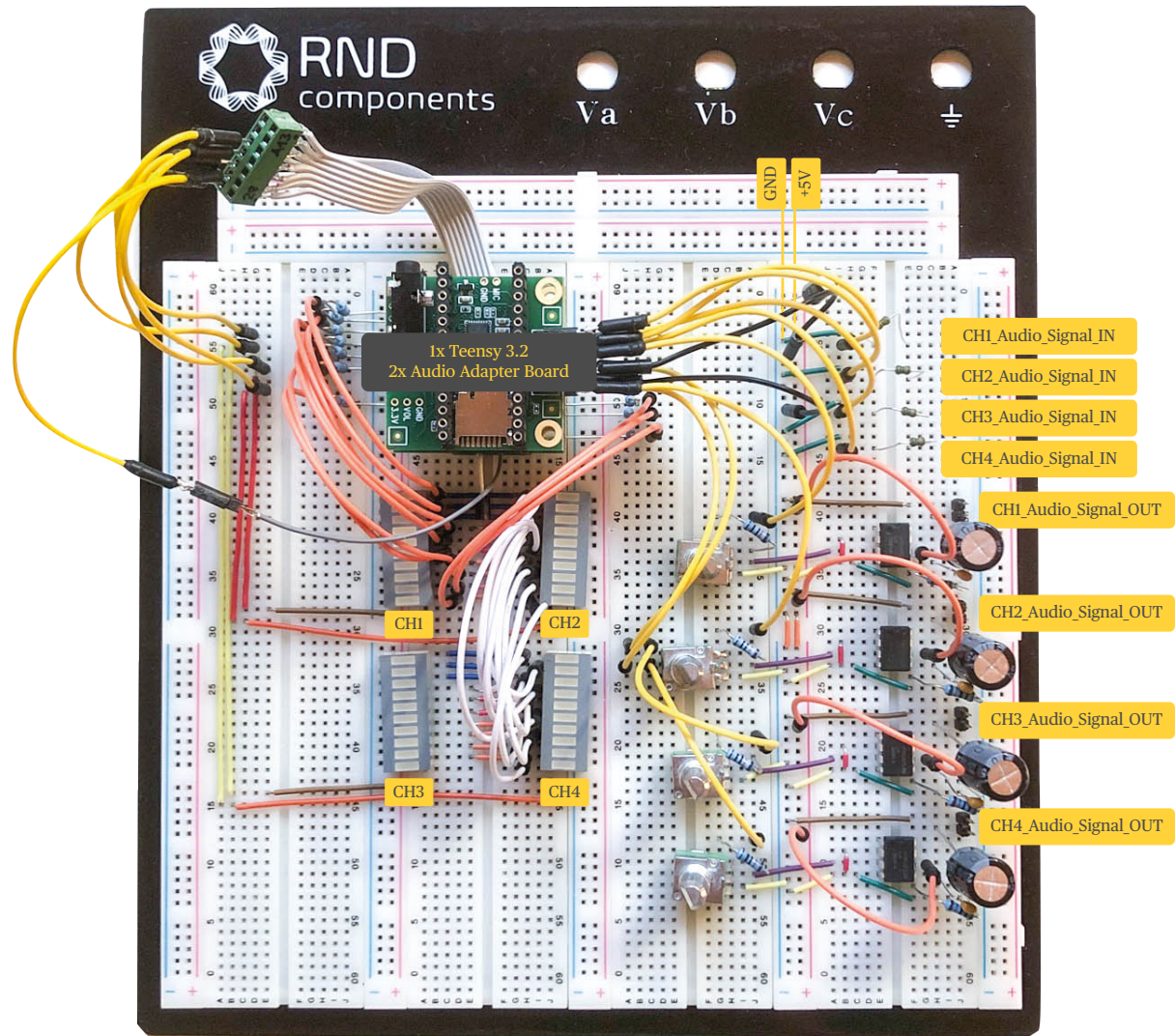


Abbildung 5.3.2-3 - Aufbau Prototyp (Breadboard)

Pegelanpassung Eingang „Audio Adapter Board“

Der Audio Eingang am „Audio Adapter Board“ hat folgende Spezifikation, welche nicht ausreicht um das Eingangssignal verlustfrei zu messen. Da bei Tests mit dem alten System eine maximale Eingangsspannung von 4.02Vpp gemessen wurde (siehe Kapitel: 5.1.2 Analyse des bestehenden Systems).

Characteristic	Min	Typ	Max	Unit
LINEIN Input Level (3.3 V VDDA)	-	-	2.83	Vpp

Abbildung 5.3.2-3 - Spezifikation SGTL5000 (Audio Adapter Board)²⁰

Die Evaluierung des passenden Widerstands wurde durch versuchene ermittelt. Dabei wurde das maximale Eingangssignal wie in den Tests (siehe Kapitel: 5.1.2 Analyse des bestehenden Systems) nachgebildet. Bei der Wahl der Widerstandsgrösse wurde versucht den gleichen Wert zu wählen, wie bei der Pegelanpassung Eingang Verstärker um die Bauteile Vielfalt zu minimieren. Als optimal und gängige Grösse wurde ein 100k Ω (E24) Widerstand gewählt.

Pegelanpassung Eingang Verstärker

Der Verstärker mit dem LM386 wird mit den vorhandenen 5V versorgt und mit der Konfiguration hat er einen Verstärkungsfaktor von Gain=20.²¹ Daher muss auch hier eine Pegelanpassung vorgenommen werden. Dies wurde auch wie bei der Pegelanzeige für den Eingang des „Audio Adapter Board“ experimentell ermittelt und soll den selben Widerstandswert haben. 100k Ω eignete sich sehr gut um eine möglichst hohe Verstärkung zu erzielen.

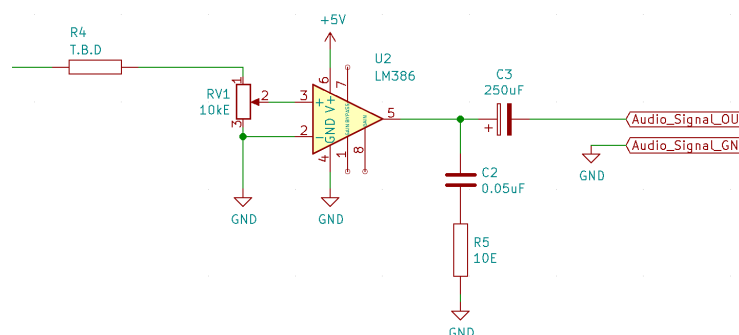


Abbildung 5.3.2-4 - Verstärkerschaltung mit dem zu definierenden Widerstand R4

²⁰ Aufgerufen am 24.10.2020 - <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/SGTL5000.pdf>

²¹ Aufgerufen am 24.10.2020 - <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>

Unerwartete Anpassungen

Bei der Planung der Matrixansteuerung der Pegelanzeige wurde dem Aufnahmestrom der LEDs zu wenig Beachtung geschenkt. Dies führte zu Fehleinschätzungen und nachträglichen Anpassungen.

Das Teensy 3.2 hat lediglich einen maximalen Ausgangsstrom pro Pin von 10mA.²² Eine LED der Pegelanzeige braucht nach Datenblatt 30mA.²³ Beim Aufbau des Prototyps wurde dies nicht berücksichtigt. Das Ergebnis war jedoch in Ordnung. Die LEDs leuchten stark genug um die Anzeige auch bei direkter Sonneneinstrahlung problemlos zu lesen. Daher wurden dafür keine Massnahmen getroffen.

Das grössere Problem war jedoch bei den Pins, welche die Pegelanzeige selektieren und somit die Kathoden aller 10 LEDs auf Ground schliessen und somit theoretisch einen Strom von 300mA schalten müssten. Da die Versorgung der einzelnen LEDs nur mit 10mA realisiert ist sind es 100mA aber auch dieser Strom ist zu hoch. Daher wurde das Schema um vier Transistorschaltungen ergänzt.

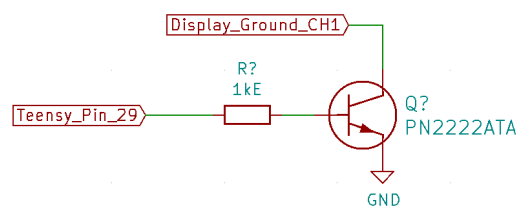


Abbildung 5.3.2-5 - Transistorschaltung Pegelanzeige

²² Aufgerufen am 29.10.2020 - <https://www.pjrc.com/teensy/techspecs.html>

²³ Aufgerufen am 29.10.2020 - <https://www.kingbrightusa.com/images/catalog/SPEC/DC10EWA.pdf>

Schema

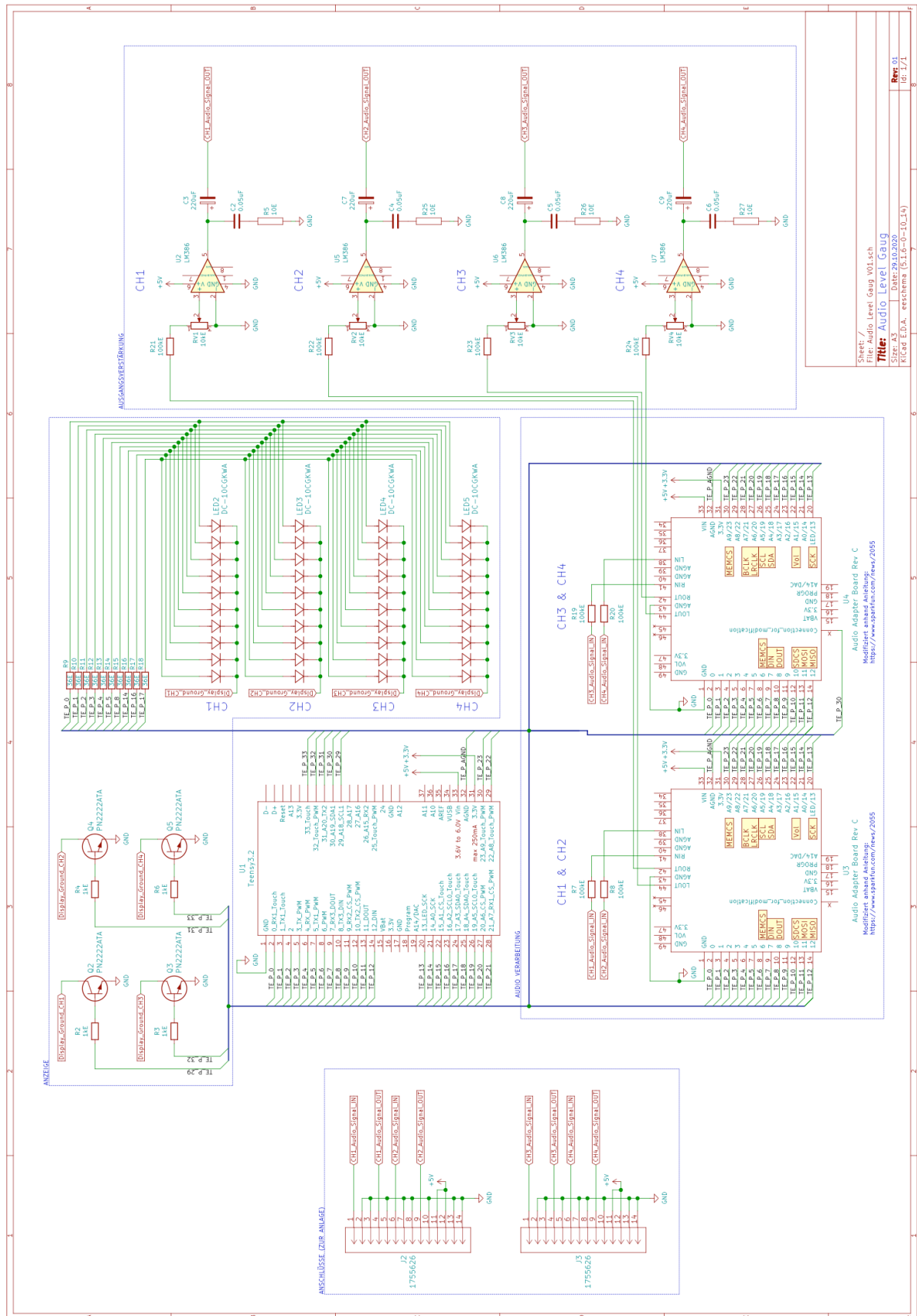
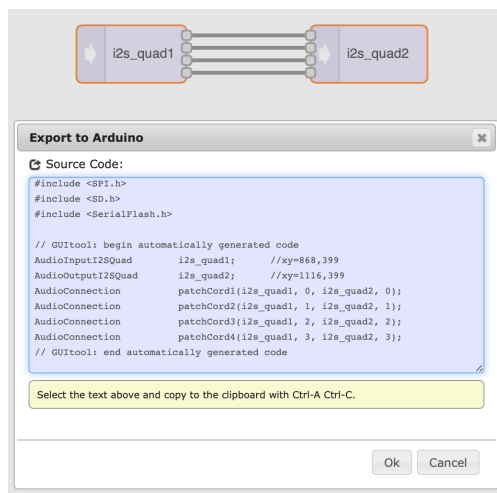


Abbildung 5.3.2-6 - Schema Prototyp

5.4 Software

5.4.1 Testsoftware

Die Testsoftware dient lediglich der elektrischen Prüfung der Schaltung und kann auch nur als solches verwendet werden. Für die Programmierung der Testsoftware wurde auf die vorhandenen Beispiele bezogen, welche mit dem dem Add-On „Teensyduino“ für die Arduino IDE mitgeliefert werden.²⁴ Die Inbetriebnahme des „Audio Adapter Board“ wurde vom Hersteller gut beschrieben.²⁵ Zusätzlich wird die Programmierung mit dem „Audio Adapter Board“ zusätzlich mit einem visuellen Programmierwerkzeug unterstützt.²⁶



Mit dem „Audio System Design Tool“ kann wie im abgebildeten Beispiel die Verbindungen der Audio Eingänge und Ausgänge visuell gemacht werden. Den Code welche diese Verbindungen mit Hilfe der Bibliotheken macht, kann dann exportiert werden und in der Arduino IDE eingefügt werden.

Dieses Tool vereinfacht das Programmieren mit dem „Audio Adapter Board“ erheblich.

Abbildung 5.4.1-1 - Beispiel „Audio System Design Tool“

Anforderungen an die Testsoftware

Die Testsoftware soll alle elektrischen Komponente testen. Aufgeteilt in folgende Elemente:

- Kommunikation über USB mit einem PC
- Pegelanzeige der einzelnen Kanäle
- Verarbeitung des Audiosignals
- Ausgabe des Audiosignals

²⁴ Aufgerufen am 29.10.2020 - https://www.pjrc.com/teensy/td_download.html

²⁵ Aufgerufen am 29.10.2020 - https://www.pjrc.com/store/audio_tutorial_kit.html

²⁶ Aufgerufen am 29.10.2020 - <https://www.pjrc.com/teensy/gui/?info=AudioInputI2S>

Kommunikation über USB mit einem PC

Die Software sendet nach jedem gemessenen Pegel dessen Wert an den PC.

```
Serial.print("Audiolevel CH1 = "); Serial.println(peak_level[0]);
```

Abbildung 5.4.1-2 - Code: Kommunikation über USB mit einem PC

Pegelanzeige der einzelnen Kanäle

Die vier Pegelanzeigen werden im Matrixverfahren angesteuert und somit nacheinander ein- und wieder ausgeschaltet. Dies wurde mit folgender Funktion für die einzelnen Kanäle realisiert.

```
void show_pegel (uint8_t chanel) {  
    for (int x=1; x<11; x++) {  
        if (x <= peak_level[chanel]) {  
            digitalWrite(DISPLAY_PINS_ANODE[x-1], HIGH);  
        } else {  
            digitalWrite(DISPLAY_PINS_ANODE[x-1], LOW);  
        }  
    }  
    digitalWrite(DISPLAY_PINS_KATHODE[chanel], LOW);  
    delay(1);  
    digitalWrite(DISPLAY_PINS_KATHODE[chanel], HIGH);  
}
```

Abbildung 5.4.1-3 - Code: Pegelanzeige der einzelnen Kanäle

Verarbeitung des Audiosignals

Dies wurde mit dem Analysieren der Audiopegel realisiert.

```
if (CHANEL_1.available()) {  
    peak_level[0] = CHANEL_1.read() * 11.0;  
}
```

Abbildung 5.4.1-4 - Code: Verarbeitung des Audiosignals

Ausgabe des Audiosignals

Die Ausgabe des Audiosignals, wurde wie unter Punkt „ 5.4.1 Testsoftware“ im Beispiel des „Audio System Design Tool“, programmiert und wird hauptsächlich durch die bereitgestellten Bibliotheken ausgeführt.

6 Abschluss

6.1 Testergebnisse

Der Test wurde mit einem Verstärker realisiert, welcher die erforderlichen 4Vpp liefert. Die Quelle für das 440Hz Sinus Signal wurde mit dem „Online Tone Generator“ realisiert.²⁷ Die Testsoftware ermöglicht es die Hardware zu testen. Die Kanäle wurden einzeln getestet und zum Schluss noch mit einem Stereosignal (2 Kanäle) gleichzeitig mit dem einen Kanal des Verstärkers. Die Quelle des Stereosignals konnte jedoch die erforderlichen 4Vpp nicht liefern und diente lediglich dem Test der parallelen Kanalführung.

Test	Auswertung
Kanal 1	Pass
Audio wird vom Eingang auf den Ausgang weitergeleitet	Pass
Ausgangslautstärke von 0% - 100% einstellbar	Pass
Pegelmessung möglich	Pass
Pegelanzeige (alle LED werden richtig angesteuert)	Pass
Kanal 2	Pass
Audio wird vom Eingang auf den Ausgang weitergeleitet	Pass
Ausgangslautstärke von 0% - 100% einstellbar	Pass
Pegelmessung möglich	Pass
Pegelanzeige (alle LED werden richtig angesteuert)	Pass
Kanal 3	Pass
Audio wird vom Eingang auf den Ausgang weitergeleitet	Pass
Ausgangslautstärke von 0% - 100% einstellbar	Pass
Pegelmessung möglich	Pass
Pegelanzeige (alle LED werden richtig angesteuert)	Pass

Abbildung 6.1-1 - Testergebnisse Teil 1

²⁷ Aufgerufen am 31.10.2020 - <https://www.szynalski.com/tone-generator/>

Test	Auswertung
Kanal 4	Pass
Audio wird vom Eingang auf den Ausgang weitergeleitet	Pass
Ausgangslautstärke von 0% - 100% einstellbar	Pass
Pegelmessung möglich	Pass
Pegelanzeige (alle LED werden richtig angesteuert)	Pass
Kommunikation mit dem PC	Pass
Übersprechen (klopfen auf den Lautsprecher)	Pass
Parallele Verarbeitung von Audiosignalen	Pass

Abbildung 6.1-2 - Testergebnisse Teil 2

6.2 Rückblick

6.2.1 Kontrolle Zielerreichung

Die Muss-Ziele konnten vollständig erreicht werden. Zusätzlich konnten zwei kleinere Kann-Ziele erreicht werden.

Muss-Ziele

- ◆ **Auswahl günstiger Komponenten**
Auf diesen Punkt wurde stark geachtet und konnte durch laufende Optimierungen gut erreicht werden.
- ◆ **Isolierte Audiokanäle um ein übersprechen zu vermeiden**
Dieser Punkt war notwendig, um ein praktikables Produkt zu entwickeln und wurde daher auch stark gewichtet und mit diversen Überlegungen erarbeitet.
- ◆ **Optische Anzeige soll gut ablesbar sein**
Dies konnte mit einer LED-Anzeige gewährleistet werden.
- ◆ **Der Regler des akustischen Signals soll einstellbar sein im Bereich von 0% - 100%**
Wurde mit dem regeln des Ausgangsverstärkers realisiert.
- ◆ **Manuelle Bedienung ohne externe Geräte möglich**
Die Funktion für die manuelle Bedienung weicht nicht vom Vorgängermodell ab.
- ◆ **Elektrisch funktionierender Prototyp**
Wurde mit einer Testsoftware getestet.
- ◆ **Lösung evaluieren für die Aufbereitung des Audiosignals**
Dies wurde mit zwei Varianten getestet und entschieden für die Schaltungsvariante 2.
- ◆ **Vollständige Dokumentation damit das Projekt nach Abschluss der Diplomarbeit, reibungslos an die ANNAX AG übergeben werden kann.**
Dies wurde unter anderem mit dem Teilen der Dokumente via Firmeninternes SharePoint unterstützt.

Kann-Ziele

- ◆ **Der Prototyp wird für die vorhandne Frontplatte designed**
Durch die Wahl der 10-Segment Balkenanzeige, welche auch beim Vorgängermodell verwendet wurden braucht es keine zukünftigen Anpassungen der Frontplatte.
- ◆ **Digitalisieren des Audiosignal**
Dies konnte aus zeitlichen Gründen nicht realisiert werden.
- ◆ **Audiosignal mit Fast Fourier Transformation aufbereiten**
Wurde aus Testzwecken realisiert ist jedoch nicht anwendbar für den Prototyp und somit nicht erfüllt.
- ◆ **Kommunikation mit einem PC**
Die Kommunikation via USB wurde realisiert.
- ◆ **Entwerfen des PCB Layouts**
Dies konnte aus zeitlichen Gründen nicht realisiert werden.

6.2.2 Lessons learned

- Lösungsvarianten erarbeiten hilft im späteren Verlauf eines Projektes enorm. Dadurch kann rückwirkend verglichen werden, ob man noch auf dem optimalen Weg ist oder es sich lohnt eine andere Variante in betracht zu ziehen.
- Eine sauberes aufgleisen eines Projekts mit Zielen, Zeitplan, Anforderungen etc. Ermöglicht eine fokussierte Entwicklung da es keine Unbekannten gibt und effizient gearbeitet werden kann.
- Eine gute Analyse der zu verwendenden Hardware im Vorfeld, kann unbekannte Wege aufzeigen und hilft in der Entwicklung eines Prototyps mit Gewissheit zu entwickeln und nachträgliche Änderungen zu minimieren.
- Wen möglich das Schema für den Prototypen möglichst früh entwerfen um Zeitverluste bei der Materialbestellung zu minimieren.
- Erproben der einzelnen Schaltungsteile ermöglicht es das Verständnis zu vertiefen und beim Aufbau des Prototyps multiple Fehler zu vermeiden. Zusätzlich können durch das vertiefte Verständnis der Schaltung schnell Fehler lokalisiert werden und eventuelle Optimierungen gezielt vorgenommen werden.

6.2.3 Schlusswort

Durch die Ausführung der Diplomarbeit in einer für mich unbekannten Firma mit Gerätschaften, welche ich während der Diplomarbeit verstehen zu lernte und der eingeschränkten Zutrittsrechte in die ANNAX AG, war es ein holpriger Start. Auch während der Ausführung wurde nebst der Entwicklung viel abverlangt für die Organisation und Kommunikation. Jedoch konnte ich daraus auch viel praktisches Wissen aneignen und eine Projektentwicklung erleben welche sehr realitätsnah ist.

Ich war froh, dass das Thema der Diplomarbeit mich sehr interessierte und ich so auch in schwierigeren Situation immer wieder die Motivation fand und effizient arbeiten konnte. Gerne hätte ich mehr erreicht da mich die Softwareentwicklung viel Freude bereitet und dies jetzt der nächste Schritt gewesen wäre. Dies war jedoch zeitlich nicht möglich.

Abschliessend Danke ich allen die mich unterstützt haben und insbesondere A. Kistler der mir sein privates Labor zur verfügung gestellt hat.

7 Verzeichnisse

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.7.1-1	- Terminplan	6
Abbildung 3.7.2-2	- Grobzeitplan	6
Abbildung 3.8-1	- Risiken der Diplomarbeit	7
Abbildung 3.8-2	- Risikoanalyse im Überblick	7
Abbildung 3.8-3	- Risikoanalyse aufgeschlüsselt	7
Abbildung 4.1.1-1	- Projektphase und deren Meilensteine	8
Abbildung 4.1.1-2	- Paralleles Phasenmodell	8
Abbildung 4.1.2-1	- Zeitplan Teil 1	9
Abbildung 4.1.2-2	- Zeitplan Teil 2	10
Abbildung 4.1.3-1	- Organigramm	11
Abbildung 4.4-1	- Kostenliste	14
Abbildung 5.1.1-1	- AudioTestanlage	15
Abbildung 5.1.1-2	- Übersprechen der Kanäle durch klopfen auf die Frontplatte	16
Abbildung 5.1.1-3	- Schemaausschnitt LED-Balken Ansteuerung	16
Abbildung 5.1.1-4	- Schema Testaufbau 1	17
Abbildung 5.1.1-5	- Rückgekoppeltes Signal	17
Abbildung 5.1.1-6	- Auswertung Pegelanzeige	18
Abbildung 5.1.1-7	- Mögliche Signalverarbeitung	18
Abbildung 5.2.1-1	- Grobe Übersicht Systemvariante 1	19
Abbildung 5.2.1-2	- Grobe Übersicht Systemvariante 2	20
Abbildung 5.2.1-3	- Grobe Übersicht Systemvariante 3	21
Abbildung 5.2.1-4	- Nutzwertanalyse Systemvarianten	22
Abbildung 5.2.2-1	- Schema Testaufbau 2 (Version 1)	23
Abbildung 5.2.2-2	- Aufbau Testaufbau 3	23
Abbildung 5.2.2-3	- Schema Testaufbau 2 (Version 2)	24
Abbildung 5.2.2-4	- Grobe Übersicht Systemvariante 1.1	26
Abbildung 5.2.2-5	- Kostenübersicht Schaltungsvariante 1	27
Abbildung 5.2.2-6	- Kostenübersicht Schaltungsvariante 2	27
Abbildung 5.2.2-7	- Nutzwertanalyse Schaltungsvarianten	28
Abbildung 5.3.1-1	- Spezifikation ArduinoM0	30
Abbildung 5.3.1-2	- ArduinoM0	30
Abbildung 5.3.1-3	- Spezifikation Maple	31
Abbildung 5.3.1-4	- Maple	31
Abbildung 5.3.1-5	- Spezifikation Teensy3.2	31
Abbildung 5.3.1-6	- Teensy3.2	31
Abbildung 5.3.1-7	- Spezifikation FRDM-K66F	32
Abbildung 5.3.1-8	- FRDM-K66F	32
Abbildung 5.3.1-9	- Nutzwertanalyse Microcontroller	32
Abbildung 5.3.1-10	- Teensy Audio Adaptor Board	33
Abbildung 5.3.2-1	- Zusammenfassung Ergebnisse Nutzwertanalysen	34
Abbildung 5.3.2-2	- Blockschemata Prototyp	34

Abbildung 5.3.2-3	- Aufbau Prototyp (Breadboard)	35
Abbildung 5.3.2-3	- Spezifikation SGTL5000 (Audio Adapter Board)	36
Abbildung 5.3.2-4	- Verstärkerschaltung mit dem zu definierenden Widerstand R4	36
Abbildung 5.3.2-5	- Transistorschaltung Pegelanzeige	37
Abbildung 5.3.2-6	- Schema Prototyp	38
Abbildung 5.4.1-1	- Beispiel „Audio System Design Tool	39
Abbildung 5.4.1-2	- Code: Kommunikation über USB mit einem PC	40
Abbildung 5.4.1-3	- Code: Pegelanzeige der einzelnen Kanäle	40
Abbildung 5.4.1-4	- Code: Verarbeitung des Audiosignals	40
Abbildung 6.1-1	- Testergebnisse Teil 1	41
Abbildung 6.1-2	- Testergebnisse Teil 2	42

7.2 Quellenverzeichnis

Text

1	Aufgerufen am 18.09.2020	- https://annax.de/index.php/de/loesungen/infotainment	4
2	Aufgerufen am 29.09.2020	- https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SimpleAudioFrequencyMeter	23
3	Aufgerufen am 29.09.2020	- https://www.arduino.cc/en/Tutorial/SimpleAudioPlayer	23
4	Aufgerufen am 29.09.2020	- https://protosupplies.com/product/teensy-4-x-audio-adapter/	23
5	Aufgerufen am 21.09.2020	- http://openaudio.blogspot.com/2016/09/benchmarking-fft-speed.html	29
6	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://www.nti-audio.com/de/service/wissen/fast-fourier-transformation-fft	29
7	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://docs.microsoft.com/en-us/cpp/cpp/data-type-ranges?view=vs-2019	29
8	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://docs.microsoft.com/en-us/cpp/cpp/data-type-ranges?view=vs-2019	30
9	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://store.arduino.cc/arduino-m0	30
10	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://store.arduino.cc/arduino-m0	30
11	Aufgerufen am 22.09.2020	- http://docs.leaflabs.com/static.leaflabs.com/pub/leaflabs/maple-docs/latest/hardware/maple.html	31
12	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://www.itead.cc/wiki/Iteadmaple	31
13	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://www.reichelt.de/de/de/teensy-3-2-usb-teensy-3-2-p161540.html?r=1	31
14	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://www.reichelt.de/de/de/teensy-3-2-usb-teensy-3-2-p161540.html?r=1	31
15	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://os.mbed.com/platforms/FRDM-K66F/	32
16	Aufgerufen am 22.09.2020	- https://www.nxp.com/design/development-boards/freedom-development-boards/mcu-boards/freedom-development-platform-for-kinetis-k66-k65-and-k26-mcus:FRDM-K66F	32
17	Aufgerufen am 24.09.2020	- https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Audio.html	33
18	Aufgerufen am 24.09.2020	- https://www.pjrc.com/teensy/gui/?info=AudioInputI2S	33
19	Aufgerufen am 24.09.2020	- https://www.exp-tech.de/module/audio/5679/teensy-audio-adaptor-board-for-teensy-3.0-3.6	33
20	Aufgerufen am 24.10.2020	- https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/GTL5000.pdf	36
21	Aufgerufen am 24.10.2020	- https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf	36

22	Aufgerufen am 29.10.2020	- https://www.pjrc.com/teensy/techspecs.html	37
23	Aufgerufen am 29.10.2020	- https://www.kingbrightusa.com/images/catalog/SPEC/DC10EWA.pdf	37
24	Aufgerufen am 29.10.2020	- https://www.pjrc.com/teensy/td_download.html	39
25	Aufgerufen am 29.10.2020	- https://www.pjrc.com/store/audio_tutorial_kit.html	39
26	Aufgerufen am 29.10.2020	- https://www.pjrc.com/teensy/gui/?info=AudioInputI2S	39
27	Aufgerufen am 31.10.2020	- https://www.szynalski.com/tone-generator/	41

Programmcode

Quellen für den Code gibt es keine da die Informationen aus den Beispielprogrammen, welche mit dem dem Add-On „Teensyduino“ für die Arduino IDE mitgeliefert werden, bezogen. Dieses Add-On wurde unter folgendem Link heruntergeladen:

https://www.pjrc.com/teensy/td_download.html

8 Eigenständigkeitserklärung

Arbeiten, die nachweisbar in vollem Umfang oder in den wesentlichen Teilen unverändert oder ohne korrekte Quellenangabe übernommen wurden, gelten als vorfabriziert und werden nicht bewertet.

Ich bestätige, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und alle benutzten Quellen gekennzeichnet habe. Diese Arbeit wurde weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits einer Prüfungskommission vorgelegt.

Name, Vorname: von Burg, Lukas
Ort, Datum: 3076 Worb, 31. Oktober 2020

Unterschrift:



Testsoftware

Audio Level Gaug

Diplomarbeit (Herbst 2020)

Dipl. Techniker HF Elektrotechnik

Ausgeführt durch Lukas von Burg

Im Auftrag von TEKÖ Bern

In Zusammenarbeit mit ANNAX AG

```

////////// BIBLIOTHEKEN //////////
#include <Audio.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <SerialFlash.h>

////////// DEFFINITIONEN //////////
elapsedMillis          until_fft;
elapsedMillis          until_audio_level;

AudioInputI2SQuad       I2S_INPUT;
AudioOutputI2SQuad      I2S_OUTPUT;
AudioControlSGTL5000    sgtl5000_1;
AudioControlSGTL5000    sgtl5000_2;

// Eingang - Ausgang Schlaufen
AudioConnection         patchCord1 (I2S_INPUT, 0, I2S_OUTPUT, 0);
AudioConnection         patchCord2 (I2S_INPUT, 1, I2S_OUTPUT, 1);
AudioConnection         patchCord3 (I2S_INPUT, 2, I2S_OUTPUT, 2);
AudioConnection         patchCord4 (I2S_INPUT, 3, I2S_OUTPUT, 3);
const int MY_INPUT      = AUDIO_INPUT_LINEIN;

// FFT

// Audiopegel
uint8_t DISPLAY_PINS_ANODE[] = {17, 16, 14, 8, 5, 4, 3, 2, 1, 0};
uint8_t DISPLAY_PINS_KATHODE[] = {29, 31, 32, 33};
uint8_t peak_level[4];

AudioAnalyzePeak        CHANEL_1;
AudioAnalyzePeak        CHANEL_2;
AudioAnalyzePeak        CHANEL_3;
AudioAnalyzePeak        CHANEL_4;
AudioConnection         patchCord9  (I2S_INPUT,1,CHANEL_1,0);
AudioConnection         patchCord10 (I2S_INPUT,0,CHANEL_2,0);
AudioConnection         patchCord11 (I2S_INPUT,3,CHANEL_3,0);
AudioConnection         patchCord12 (I2S_INPUT,2,CHANEL_4,0);

////////// SETUP //////////
void setup() {
// Audio connections require memory to work.  For more
// detailed information, see the MemoryAndCpuUsage example
  AudioMemory(12);

// Enable the first audio shield, select input, and enable output
  sgtl5000_1.setAddress(LOW);
  sgtl5000_1.enable();

```

```

sgtl5000_1.inputSelect(MY_INPUT);
sgtl5000_1.volume(0.5);

// Enable the second audio shield, select input, and enable output
sgtl5000_2.setAddress(HIGH);
sgtl5000_2.enable();
sgtl5000_2.inputSelect(MY_INPUT);
sgtl5000_2.volume(0.5);

// FFT

// Audiopegel
for (int x=0; x<4; x++) {
    pinMode(DISPLAY_PINS_KATHODE[x], OUTPUT);
    digitalWrite(DISPLAY_PINS_KATHODE[x], HIGH);
}
for (int i=0; i<4; i++) {
    digitalWrite(DISPLAY_PINS_KATHODE[i], LOW);
    for (int x=0; x<10; x++) {
        pinMode(DISPLAY_PINS_ANODE[x], OUTPUT);
        digitalWrite(DISPLAY_PINS_ANODE[x], HIGH);
        delay(50);
    }
    for (int x=10; x>=0; x--) {
        digitalWrite(DISPLAY_PINS_ANODE[x], LOW);
        delay(50);
    }
    digitalWrite(DISPLAY_PINS_KATHODE[i], HIGH);
}
}

////////// HAUPTPROGRAM //////////
void loop() {
    show_pegel(0);
    show_pegel(1);
    show_pegel(2);
    show_pegel(3);

    if(until_audio_level > 20) {
        read_audio_pegel();
    }
}

void show_pegel (uint8_t chanel) {
    for (int x=1; x<11; x++) {
        if (x <= peak_level[chanel]) {
            digitalWrite(DISPLAY_PINS_ANODE[x-1], HIGH);
        } else {

```

```

        digitalWrite(DISPLAY_PINS_ANODE[x-1], LOW);
    }
}
digitalWrite(DISPLAY_PINS_KATHODE[chanel], LOW);
delay(1);
digitalWrite(DISPLAY_PINS_KATHODE[chanel], HIGH);
}

void read_audio_pegel ()
{
    if (CHANEL_1.available()) {
        until_audio_level = 0;
        peak_level[0] = CHANEL_1.read() * 11.0;
        Serial.print("Audiolevel CH1 = "); Serial.println(peak_level[0]);
    }
    if (CHANEL_2.available()) {
        until_audio_level = 0;
        peak_level[1] = CHANEL_2.read() * 11.0;
        Serial.print("Audiolevel CH2 = "); Serial.println(peak_level[1]);
    }
    if (CHANEL_3.available()) {
        until_audio_level = 0;
        peak_level[2] = CHANEL_3.read() * 11.0;
        Serial.print("Audiolevel CH3 = "); Serial.println(peak_level[2]);
    }
    if (CHANEL_4.available()) {
        until_audio_level = 0;
        peak_level[3] = CHANEL_4.read() * 11.0;
        Serial.print("Audiolevel CH4 = "); Serial.println(peak_level[3]);
    }
    Serial.println();
}
}

```

Arbeitsjournal

Audio Level Gaug

Diplomarbeit (Herbst 2020)

Dipl. Techniker HF Elektrotechnik

Ausgeführt durch Lukas von Burg

Im Auftrag von TEKÖ Bern

In Zusammenarbeit mit ANNAX AG

1 Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis	2
2 KW 38 (18.09 - 20.09.2020)	3
3 KW 39 (21.09 - 27.09.2020)	4
4 KW 40 (28.09 - 04.10.2020)	5
5 KW 41 (05.10 - 11.10.2020)	6
6 KW 42 (12.10 - 18.10.2020)	7
7 KW 43 (19.10 - 25.10.2020)	8
8 KW 44 (26.10 - 01.11.2020)	9
9 Zusammenfassung	10
9.1 Zeit	10
9.2 Zeitplan	10

2 KW 38 (18.09 - 20.09.2020)

FR - 18.09.2020 (Start der Diplomarbeit)

2h 2m

- Gespräch mit dem Experten an der TEKO
- Beginn mit der Dokumentation (Formatierungen, Layout, erste Abschnitte)
- Dokumentation 3 - 3.1.6

SO - 20.09.2020

7h 33m

- Dokumentation 3.7 - 4.1.2

Stunden gesamt: 9h 35m

3 KW 39 (21.09 - 27.09.2020)

MO - 21.09.2020

7h 18m

- Dokumentation 4.1.3 - 4.4
- Besprechung und Organisation in der ANNAX AG
 - Audio nie mehr als 10kHz
 - Nutzwertanalyse für Prototyp
 - mindestens FFT fähig / maximal PSK (DTMF (einzelne Frequenzen) optional)
 - Gratis Software für Schema etc. (KiCAD oder DesignSpark / Onlineshop: RS Online)
 - Schnittstelle wie USB (USB Hub möglich)
 - 4x FFT alle 5-10ms Auswerten
 - Is Kurvenform abspeichern
 - Frequenzbereich: 100Hz - 8kHz
 - Finanzieller Rahmen ca. 500.00CHF
 - Bestellungen am Montag senden (bestellt wird am DI oder MI) direkt mit A. Kistler organisieren
- Erste Iddensammlung über mögliche Lösungsansätze ein FFT zu machen

DI - 22.09.2020

9h 2m

- Nutzwertanalyse über die möglichen Microcontroller
- Wissen über FFT aneignen

MI - 23.09.2020

7h 25m

- Tests bezüglich übersprechen der Kanäle bei Andreas mit dem Vorhandenen System
 - Durch Kurzschließen der Erdung (Speisegerät und Verstärker) konnte das Rücksprechen unterdrückt werden.
 - Kurzschliessen des Grounds zwischen Speisegerät und Verstärker macht minus 5 oder mehr Striche auf der Pegelanzeige
 - Ausgangssignal des Verstärkers, wird nicht durch das anschliessen von Oszilloskop oder Spule beeinflusst. Jedoch aber die Pegelanzeige
 - Das Anschliessen der Sonde macht minus 3 Striche auf der Pegelanzeige
 - Spule hat keinen Einfluss auf die Pegelanzeige
 - Ohne Beeinflussung werden im aufgebauten Setup 5 Striche auf der Pegelanzeige angezeigt (Sollte keinen Strich anzeigen)
 - Speisegerät welches für die Messungen verwendet wurde hat undefinierte Probleme (keine genaueren Untersuchungen) hat jedoch im Vergleich mit einem anderen Speisegerät keinen Einfluss
 - Mit Batterie als Versorgungsspannung fällt der VRMS der gemessenen Signal etwas tiefer aus. Jedoch keine zu vermerkende Abweichung.

DO - 24.09.2020

5h 39m

- Organisatorisches bezüglich Labornutzung und weitere Meetings in der ANNAX AG
- Dokumentation 5.1 - 5.1.2 (Analyse vom 23.09.2020)
- Überlegungen über mögliche Systemtypen (Realisierungsvarianten)

FR - 25.09.2020

0h 0m

Wegen anderen Projekten konnte nicht an der Diplomarbeit gearbeitet werden

Stunden gesamt: 29h 24m

4 KW 40 (28.09 - 04.10.2020)

MO - 28.09.2020

8h 47m

- Schema des Messaufbaus erstellt
- Verschiedene Systemarten ausgearbeitet und Nutzwertanalyse
- Material für weitere Test bestellt

DI - 29.09.2020

5h 30m

- Dokumentation mit Testaufbau Problemlösung Übersprechen erweitert
- Schema Problemlösung Übersprechen erstellt
- Organisatorisches
- Bestellliste erweitert

MI - 30.09.2020

7h 19m

- Dokumentation Testversuch 1 abschliessen
- Fragen formulieren für Diplomlehrer

DO - 01.10.2020

0h 0m

Wegen anderen Projekten konnte nicht an der Diplomarbeit gearbeitet werden

FR - 02.10.2020

0h 0m

Wegen anderen Projekten konnte nicht an der Diplomarbeit gearbeitet werden

Stunden gesamt: 21h 36m

5 KW 41 (05.10 - 11.10.2020)

MO - 05.10.2020

0h 0m

Wegen anderen Projekten konnte nicht an der Diplomarbeit gearbeitet werden

DI - 06.10.2020

3h 15m

- E-Mail abarbeiten
- Organisation Varianten aufbauen und testen
- Durchlesen der Dokumentation
- Begonnen mit dem Managemant Summery
- Vorbereitung für die bevorstehenden Laborarbeiten

MI - 07.10.2020

9h 10m

- Teensy 3.2 Inbetriebnahme
- Audio Adapter Board Inbetriebnahme
- Erste Lösung mit Audio Adapter Board inkl. FFT
 - Frequenzbereich mit der mitgelieferten Bibliothek liegt bei 2Hz - 1700Hz
- Verstärker mit LM386 aufgebaut. Fehlersuche da ein Brummen wen eingeschalten. Keine Verstärkung des Signals

DO - 08.10.2020

8h 0m

- Erneut Verstärker aufbauen auf einem Breadboard
 - Funktionierte mit einem zusätzlichen Kondensator (220uF) über der Versorgungsspannung. aufgebaut wurde Folgende die nach Datenblatt typische Anwendung.
- Aufbau komplette „Variante 1“ versuchen das Analogsignal ohne „ Audio Adapter Board“ aus zu werten und wieder wieder zu geben.

FR - 09.10.2020

9h 34m

- Variante 1 weiter getestet
 - Versuch das Signal über ADC messen und über DAC wieder zu geben funktioniert
 - Mit einem Delay welches das berechnen eines FFTs simuliert (ca. 14ms) funktionierte es jedoch nicht mehr
 - Schaltung aufgebaut Variante 1 Version 2
 - Ausgiebig getestet

Stunden gesamt: 29h 59m

6 KW 42 (12.10 - 18.10.2020)

MO - 12.10.2020

4h 7m

- Schaltungsanalyse Variante 1
- Erkenntnisse dokumentieren

DI - 13.10.2020

9h 13m

- Schema der neuen Variante 1 aufgezeichnet
- Erfahrungen der zwei Schaltungsvarianten dokumentiert
- Kosten der Varianten berechnet
- Nutzvertanalyse

MI - 14.10.2020

2h 12m

Wegen fehlendem Material konnte nur bedingt an der Diplomarbeit gearbeitet werden

- Dokumentation durchlesen

DO - 15.10.2020

0h 0m

Wegen anderen Projekten konnte nicht an der Diplomarbeit gearbeitet werden

FR - 16.10.2020

0h 0m

Wegen anderen Projekten konnte nicht an der Diplomarbeit gearbeitet werden

Stunden gesamt: 15h 32m

7 KW 43 (19.10 - 25.10.2020)

MO - 19.10.2020

5h 23m

- Organisation Prototypen bauen (Labor kann wegen privaten Problem bei Andreas nicht mehr genutzt werden)
 - Organisation, damit ich den Aufbau des Prototyps bei mir zuhause machen kann
- Schema des Prototyps zeichnen
- Aufgegebene Bestellung wurde durch die ANNAX AG nicht ausgelöst -> Noch einmal bestellt

DI - 20.10.2020

11h 22m

- Schema zeichnen Prototyp (4-5h verloren da sich KiCAD aufgehängt hat)
- Bauteile ins KiCAD aufnehmen

MI - 21.10.2020

11h 45m

- Verständnis aufbauen bezüglich Verbindungen zwischen Teensy 3.2 & Audio Adapter Board
- Schema weiter zeichne
- Besprechung mit der ANNAX AG bisheriger Stand & Endspurt

DO - 22.10.2020

8h 11m

- Arbeitsjournal ins reine schreiben
- Schlussfazit bezüglich Termineinhaltung und aufgetretener Problemen

FR - 23.10.2020

0h 0m

Wegen fehlendem Material konnte nur bedingt an der Diplomarbeit gearbeitet werden

Stunden gesamt: 36h 41m

8 KW 44 (26.10 - 01.11.2020)

MO - 26.10.2020	6h 50m
- Prototyp mit dem vorhandenen Material soweit als möglich aufbauen - Restliches Material in der ANNAX AG abholen	
DI - 27.10.2020	8h 1m
- Problemlösung wegen dem maximalen Vpp_in des „Audio Adapter Boards“ - Lautstärkeregler dimensionieren - Pegelanzeige aufbauen und in betrieb nehmen - Erste Versuche mit einem Verstärker (bislang nur AUX Ausgang vom MacBook) - Ein Kanal Abgeschlossen mit Pegelanzeige, Lautstärkeregler und FFT	
MI - 28.10.2020	9h 51m
- Dokumentieren des ersten Kanals mit Videos - Erweitern auf 4 Kanäle - Programmieren	
DO - 29.10.2020	9h 25m
- Erweitern auf 4 Kanäle - Programmieren - Testen des Prototyps	
FR - 30.10.2020	10h 32m
- Dokumentation	
SA - 31.10.2020	9h 42m
- Dokumentation - Abschluss der Diplomarbeit (Datenupload, SharPoint aktualisieren etc.)	
Stunden gesamt: 54h 21m	

9 Zusammenfassung

9.1 Zeit

Der Rahmen von 150h bis 250h konnte eingehalten werden. Jedoch war der Organisatorische Aufwand höher als erwartet.

Zeit	
Stunden Total	197h 8m
Tage Total	26
Durchschnittliche Arbeitszeit pro Tag	7h 35m

9.2 Zeitplan

Der Zeitplan konnte nur bedingt eingehalten werden, da eine laufende Anpassung an die Laborverfügbarkeit notwendig war. Dazu kam eine längere Verzögerung durch das nicht bestellen von Material durch die ANNAX AG. Durch die fehlende Zeit und den Verzögerungen, wurde die ausgiebige Testphase auf dem Testsystem nicht durchgeführt. Dies auch wegen erschwerten Zutrittsrechte in die ANNAX AG.

Farblegende	
	Geplante Arbeit
	Tatsächliche Arbeit
	Unterbruch wegen diversen Gründen (siehe weiter oben bei den entsprechenden Tage)

	September															Oktober									
Aufgabe	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Initiierung (bereits abgeschlossen)																									
Projekteinrichtung																									
Vorstudie																									
Planung																									
Projektorganisation																									
Anforderungen definieren																									
Zielformulierung																									
Durchführung																									
Vorhandener Audio Level Gaug analysieren																									
Probleme definieren																									
Prototyp entwickeln																									
Prototyp aufbauen / modifizieren																									
Prototyp testen (auf Funktionalität)																									
Abschluss																									
Prototyp auf der Testanlage testen																									
Langzeittest																									
Reserve																									
Arbeitsjournal																									
Dokumentation																									
Präsentation																									

	Oktober																															N.
Aufgabe	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2									
Initiierung (bereits abgeschlossen)																																
Projekteinrichtung																																
Vorstudie																																
Planung																																
Projektorganisation																																
Anforderungen definieren																																
Zielformulierung																																
Durchführung																																
Vorhandener Audio Level Gaug analysieren																																
Probleme definieren																																
Prototyp entwickeln																																
Prototyp aufbauen / modifizieren																																
Prototyp testen (auf Funktionalität)																																
Abschluss																																
Prototyp auf der Testanlage testen																																
Langzeittest																																
Reserve																																
Arbeitsjournal																																
Dokumentation																																
Präsentation																																