

Entwicklung und testen eines Ultraschall-Entfernungsmessers als Vorbereitung eines Produktentwurfes

Projektarbeit

erstellt an der
Fachschule für Technik des Carl-Severing-Berufskollegs
für Metall- und Elektrotechnik der Stadt Bielefeld



Erstellt durch:

Eduard Meiser
Omar Hachimi
Stephan Dannat
FET6A

in Zusammenarbeit mit der Fa. Tinkerforge
betreut durch
Herr Simon

Bielefeld, 15. März 2018

Persönliche Erklärung

Hiermit bestätigen wir, dass die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt wurden. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internet-quellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Bielefeld, _____

Eduard Meiser

Omar Hachimi

Stephan Dannat

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Lastenheft	1
1.1.1	Über Tinkerforge	1
1.1.2	Motivation	1
1.1.3	Aufgabenbeschreibung	1
1.2	Management des Projektes	2
1.2.1	Trello	2
1.2.2	Github	2
1.3	Open Source CAD-Programm Paket zur Erstellung von elektronischen Leiterplatten	3
1.3.1	Schaltplan	3
1.3.2	Platinenlayout	3
2	Vorbereitung	4
2.1	Recherche der Funktionsweise	4
2.1.1	Controller	4
2.1.2	Sender	4
2.1.3	Hochsetzsteller	4
2.1.4	Ultraschallkapsel	5
2.1.5	Filter	5
2.1.6	Empfänger	5
2.2	Verwendete sowie Dimensionierung der Bauteile	5
2.2.1	Controller	5
2.2.2	Sender	6
2.2.3	Hochsetzsteller	6
2.2.4	Ultraschallkapsel	6
2.2.5	Filter	6
2.2.6	Empfänger	6
2.3	Entwicklung der Software zum Betrieb des Prototypen	7
2.3.1	Benötigte Kenntnisse	7
2.3.2	Quellcodeentwurf	7
3	Messungen und Auswertung der Ergebnisse	10
3.1	Ergebnisse der Forschung	10
3.2	Fazit aus den Ergebnissen für den Auftraggeber	10
4	Reflektion über den Projektablauf	11
5	Anhänge	12
5.1	Schaltpläne	12
5.2	Platinenlayout	12
5.3	Quellcode	12

1 Einleitung

1.1 Lastenheft

1.1.1 Über Tinkerforge

Die Tinkerforge GmbH wurde Ende 2011 mit dem Ziel gegründet, die Handhabung eingebetteter Systeme zu vereinfachen. Das Tinkerforge Baukastensystem besteht aus aktuell fast 80 verschiedenen Modulen, die vom Anwender flexibel für die jeweilige Aufgabe kombiniert werden können. Zu den Modulen zählen diverse Sensor- Aktor- und Schnittstellenmodule, die alle über Hochsprachen wie C#, Python und Java gesteuert werden können. Tinkerforge unterstützt aktuell 17 verschiedene Programmiersprachen. Sowohl Hardware als auch die Software aller Module sind OpenSource. Die Stärke des Baukastensystems ist aus Anwendersicht die enorme Flexibilität, die Einfachheit und die Schnelligkeit mit der Projekte realisiert werden können. Es eignet sich daher besonders im Bereich Rapid Prototyping. Daher findet das Tinkerforge Baukastensystem Anwendung in vielen Forschungsinstituten, in diversen Entwicklungsabteilungen bekannter Automobilhersteller und Ingenieurbüros.

1.1.2 Motivation

Diese Technikerarbeit soll die Grundlage zur Entwicklung eines Entfernungssensors für das Baukastensystem bilden, der auf einer Ultraschall-Entfernungsmessung basiert. Das Baukastensystem verfügt aktuell über so einen Sensor. Bei diesem handelt es sich aber im wesentlichen um ein zugekauftes Modul, welches nicht die gewünschten Leistungen liefert. Daher soll an einem zu entwerfenden Prototypen Forschung betrieben werden, um eine eigene Lösung entwerfen zu können.

1.1.3 Aufgabenbeschreibung

Innerhalb dieser Arbeit soll der Entwurf eines Prototypen des Entfernungssensors und die damit verbundene Forschung durchgeführt werden. Dabei ist durch Recherche zu erarbeiten, welche Möglichkeiten zur Realisierung zur Verfügung stehen. Durch Messungen am Prototypen soll festgestellt werden, welche dieser Möglichkeiten funktional und finanziell realisierbar sind, um ein eigenes Produkt zu erstellen. Sollte im Anschluss noch die Möglichkeit bestehen, sind die Ergebnisse in ein serienreifes Modul umzusetzen.

Diverse Teilaufgaben sind zu erledigen:

- **Recherche**

Zu Anfang muss recherchiert werden, welche Möglichkeiten es gibt mittels Ultraschall eine Entfernung zu ermitteln und wie diese technisch umgesetzt werden können. Zusätzlich müssen die Techniker sich mit dem Tinkerforge Baukastensystem und seiner internen Funktionsweise vertraut machen.

- **Bauteilauswahl**

Abhängig von der gewählten technischen Umsetzung müssen geeignete Komponenten ausgewählt werden. Die Auswahl sollte auch unter dem Gesichtspunkten Preis, der Bauteilverfügbarkeit und der technischen Anforderungen erfolgen.

- **Schaltplanentwurf und Layouterstellung**

Von Tinkerforge wird das Open Source CAD Programm KiCad verwendet. Mit diesem Programm ist ein Schaltplan für den Prototypen und anschließend ein Leiterplattenlayout zu erstellen.

- **Leiterplattenbestückung**

Die erstellte Leiterplatte wird von Tinkerforge in Auftrag gegeben. Diese muss mit den gewählten Komponenten bestückt werden. Die Tinkerforge GmbH stellt dazu die notwendigen Werkzeuge bereit.

- **Einrichten und Einarbeitung in die Tinkerforge Toolchain**

Viele Softwarekomponenten werden von der Tinkerforge Toolchain automatisch generiert. Um diese Nutzen zu können muss ein Linux System eingerichtet werden. Anschließend muss sich mit der Funktionsweise des Generators und der Softwareversionsverwaltung "Git" vertraut gemacht werden.

- **Testsoftware und Forschung**

Um Messungen an der Hardware durchführen zu können gilt es Programmblöcke zu entwerfen, mit denen die einzelnen Funktionen der Baugruppen getestet werden können. So soll ermittelt werden, wie zum einen das Ultraschallsignal effektiv ausgegeben werden kann und wie sich die Signalamplitude auf die Reichweite auswirkt und zum anderen wie das zurückkommende Signal verarbeitet werden kann. Auch soll erarbeitet werden, wie gut das Signal unter verschiedenen Bedingungen verarbeitet werden kann und ob eine zuverlässige Verarbeitungsqualität ohne großen Aufwand realisierbar ist.

1.2 Management des Projektes

1.2.1 Trello

Zur zeitlichen Planung und Übersicht des Ablaufes wurde auf das Onlinetool Trello zurückgegriffen. Dieses ist ein kostenfreies, web basiertes Projektmanagementtool. Es ermöglicht den Gruppenmitgliedern gleichzeitig von verschiedenen Orten auf die Oberfläche zuzugreifen und Änderungen vorzunehmen. So kann ein Teilnehmer auch neue Termine mit Kennzeichnung der Fälligkeit für andere Gruppenmitglieder einfügen, oder bereits erledigte Aufgaben für alle abhaken. Auch können hier relevante Dokumente, die alle Gruppenmitglieder lesen sollen hochgeladen, und bei Bedarf noch kommentiert werden. Für die Dokumentation lässt sich an diesem System auch wunderbar abgleichen, zu welchen Zeitpunkten die einzelnen Aufgaben abgeschlossen wurden.

1.2.2 Github

Bei Github handelt es sich um einen webbasierten Online-Dienst, der Server für Software- Entwicklungsprojekte mit einer Versionsverwaltung bereitstellt. So können alle Daten nach einer Änderung im Programm wieder hochgeladen und mit einem Kommentar versehen werden. Sollte nach mehreren Änderungen ein Problem auftreten, kann einfach auf eine ältere Version zurück gegriffen und so der Fehler eingegrenzt werden. auch kann ein Projekt auf mehrere Abschnitte aufgeteilt werden, damit mehrere Personen unabhängig voneinander daran arbeiten können. Nach der Bearbeitung können die Programmteile wieder zusammengefügt werden. Dabei ist erkennbar, welche Änderungen von wem vorgenommen wurden. So können alle Vorgänge jederzeit verfolgt werden, um eine größtmögliche Übersicht zu gewährleisten. Durch das kommentieren der Änderungen kann die Nachvollziehbarkeit dieser ebenfalls deutlich gesteigert werden. Des weiteren ist diese Plattform gerade für Unternehmen wie Tinkerforge, die ihren Quellcode als Open-Source anbieten besonders reizvoll, da die Nutzer hier schnell an alle Dateien ran kommen.

1.3 Open Source CAD-Programm Paket zur Erstellung von elektronischen Leiterplatten

Das Open Source CAD-Programm KiCAD ist eine Anwendung zum Erstellen von Schaltplänen und elektronischen Leiterplatten. Hier lassen sich auf einfache Weise Schaltpläne erstellen und nach einer Prüfung auf fehlerfreie Verdrahtung zur vereinfachten Platinenerstellung nutzen.

1.3.1 Schaltplan

Zur Signalerzeugung wurde ein Hochsetzsteller eingesetzt, um eine höhere Spannung erzeugen zu können, als auf dem System zur Verfügung steht. So höhere Amplituden auf den Sender gegeben werden, um eine höhere Signalstärke zu erreichen. Danach wird das Signal auf eine H-Brücke geleitet, diese dient dazu aus dem Gleichsignal ein Wechselsignal mit einer Frequenz von 40kHz zu generieren. Dieses Wechselsignal wird auf den Sender gegeben um das Spannungssignal in Schallwellen umzuwandeln.

Wird ein zurückkommendes Signal empfangen, so wandelt der Empfänger die Schallwellen in ein Sinussignal um. Dieses Signal wird auf einen nicht invertierenden Verstärker geleitet, um die Signal-Amplitude zu verstärken und anschließend durch einen Komperator in ein Rechteckiges(digitales) Signal umgewandelt. Dieses Signal wird im Prozessor verarbeitet, um aus der Zeit zwischen senden und empfangen des Signals in die Entfernung zum betreffenden Objekt umzuwandeln.

Beim Schaltplanentwurf gilt es auch auf gewisse Physikalische Eigenschaften von Leitungen und Bauteilen zu achten. So sollten bei Anschluss längerer Leitungen, Condensatoren zum ausfiltern eingefangener Funksignale und anderer EMV-Belastungen, angebracht werden. Auch benötigen Bauteile wie Platinen Kondensatoren an der Spannungsversorgung, um auch kleinste Schwankungen dieser zu vermeiden.

1.3.2 Platinenlayout

Bei dem Entwurf eines Platinenlayouts gibt es viele Möglichkeiten ein Ergebniss zu erzielen. So können alle Bauteile so angeordnet werden, dass alle parallelen Bauteile sauber nebeneinander aufgereiht werden, und die in Reihe dazu liegenden Bauteile auch darunter angeordnet sind. So sähe die Platine zwar ähnlich eines Kontaktplanes aus, allerdings ist diese Variante aus Sicht der EMV nicht sonderlich empfehlenswert.

Auch können die Bauteile wie im Schaltplan in Gruppen zusammen gelegt werden und der Schaltplan auf der Platine 1:1 nachgebildet werden. Auch bei dieser Variante ergeben sich gelegentlich Probleme, was die Führung der Leitungen, und vor allem den Verlauf der Ströme angeht.

So sollte ein Augenmerk auf den Stromführenden Leitungen liegen. Je höher der Strom ist, desto breiter ist die Leitung auszulegen und sie sollte auch möglichst kurz gehalten werden um weniger EMV störungen zu erzeugen. Auch sollte die Rückführung (GND) günstigerweise als eigene Leiterschicht ausgeführt werden, um einen großen Leiterquerschnitt zu gewährleisten. So kann bei der Rückführung der Ströme auch das Risiko vermieden werden, durch die Bildung von größeren Schleifen Antennen zu erzeugen. Die GND Schicht sollte so wenig wie möglich unterbrochen werden, vorallem sind Unterbrechungen quer zur Stromflussrichtung zu vermeiden. Zusätzlich ist zu beachten, dass Kondensatoren meistens zur Verringerung von Störungen nahe digitalen Bauteilen angebracht werden sollten. Die optimale Platzierung ist direkt an den Pinns, so dass die Leiterbahn mit einem höheren Querschnitt auf den Kondensator geht, und dann mit leicht verringertem Querschnitt direkt auf die Pinne des IC-Bauteils verläuft.

2 Vorbereitung

2.1 Recherche der Funktionsweise

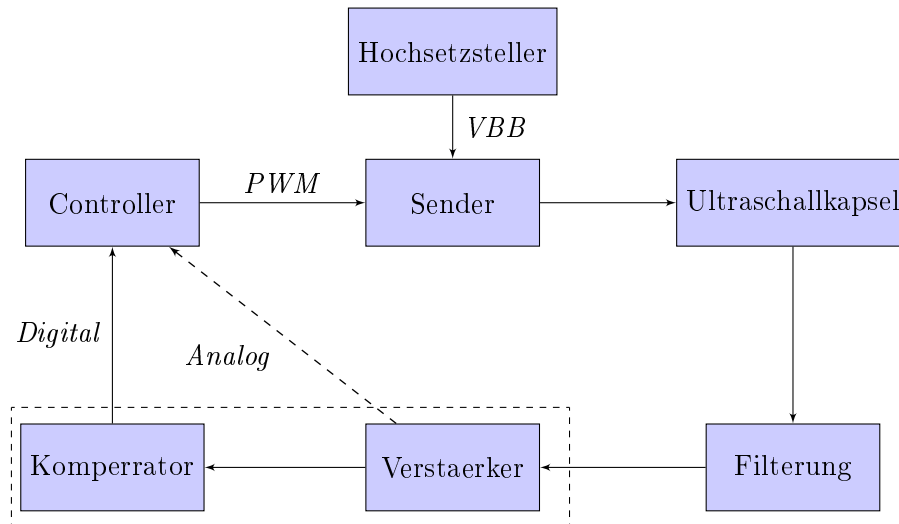


Abbildung 2.1: Blockschaltbild

Das Blockschaltbild, siehe Abbildung 2.1, zeigt eine vereinfachte Funktionsübersicht. Der Schaltplan befindet sich in den Anlagen.

2.1.1 Controller

Der Controller soll eine stabile PWM ausgeben können sowie die Berechnung; Analog und Digital, der Entfernungsmessung beherrschen. Die Ausgabe der Entfernung erfolgt an einer Universellen-Schnittstelle.

2.1.2 Sender

Der Sender soll Schallwellen im Ultraschallbereich aussenden, die einen ausreichenden Schalldruck haben, um von Hindernissen, die bis zu mehrere Meter entfernt sind ein Echo erhalten zu können. Dafür muss die Lautsprecherkapsel mit einem Sinusähnlichen Signal angesteuert werden, dessen Amplitude angemessen hoch ist, um den gewünschten Schalldruck zu erzeugen. Mit dem Mikrocontroller kann ein Rechtecksignal erzeugt werden, bei dem die Pulsweite variabler ist (PWM). Der Nachteil ist, dass der Mikrocontroller nur auf seine Spannungsebene von 3,3V begrenzt ist und durch höhere Spannungen zerstört würde. Um höhere Spannungen an der Lautsprecherkapsel realisieren zu können, muss ein weiteres Bauteil dazwischen geschaltet werden. Dieses zusätzliche Bauteil dient als Trennung zwischen den 3,3V des Mikrocontrollers und der höheren Spannungsebene der Lautsprecherkapsel. Dabei wird darauf zu achten sein, dass dieser Schalter schnell genug arbeitet, um die 40kHz (Frequenz von Ultraschall) auch sauber schalten zu können.

2.1.3 Hochsetzsteller

Der Hochsetzsteller dient dazu, aus den 5V Versorgungsspannung eine (für die Versuche variable) höhere Spannung für den Sendebetrieb zu schaffen. So kann der Schalldruck der ausgegeben wird erhöht werden (größere Reichweite/größeres Rücksignal).

Die Funktionsweise des Hochsetzstellers (Spannungspumpe/Aufwärtswandler/Aufwärtsregler) ist

relativ simpel und findet in vielen Bereichen Anwendung. Grundsätzlich wird eine Induktivität in Reihe mit einer Freilaufdiode vor einen Ladekondensator geschaltet. Dieser liegt parallel zum Ausgang. Zwischen der Spule und der Diode ist ein Schalter angeschlossen, der die Spule gegen Masse schaltet. So lädt sich die Spule bei Betätigung des Schalters auf (durch den Stromfluss entsteht ein Magnetfeld) und beim Öffnen steigt die Spannung am sekundären Ende der Spule, durch das zusammenbrechende Magnetfeld, an und lädt den Kondensator auf. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis der Kondensator so weit aufgeladen ist, dass die Ausgangsspannung den gewünschten Wert hält. Dann wird die Schaltfrequenz auf das Mindestmaß verringert, um den Wert zu halten. Natürlich ist die mögliche Ausgangsspannung nicht unbegrenzt über das Schaltspiel regelbar, sondern ist auch von den Baugrößen der Bauteile abhängig.

2.1.4 Ultraschallkapsel

Für den Sender (und Empfänger) wurden auf Piezomodulen basierende Kapsellautsprecher verwendet. Wichtig sind bei der Überprüfung das nachschwingen der Kapsel, nach Ende des zu sendenden Signals, die Empfindlichkeit auf eingehende Störfrequenzen und die zu erreichende Reichweite mit verschiedenen Signalstärken. Es sollte auch überprüft werden welche Kapseln sich für ein stand-alone Betrieb am geeignetsten ist.

2.1.5 Filter

Die Filterschaltung soll am Eingang des Empfängers mögliche Störfrequenzen herausfiltern um eine Verfälschung der gemessenen Strecke zu vermeiden, da die Lautsprecherkapsel nicht ausschließlich Ultraschallsignale aufnimmt.

2.1.6 Empfänger

Im Empfangsbetrieb werden die zurückkommenden Schallsignale, die auf die Lautsprecherkapsel treffen in Sinusförmige Spannungssignale umgewandelt. Die Amplitude dieser Signale hängt von dem Schalldruck der empfangenen Signale ab und ist deutlich niedriger als die Amplitude der gesendeten Signale. Diese Signale müssen anschließend verstärkt werden, um sie mit dem Mikrocontroller auswerten zu können. Zur Vereinfachung der Auswertung macht es auch Sinn, das eingehende analoge Signal in ein Digitales Signal umzuwandeln, dies kann einiges an Verarbeitungsaufwand einsparen. Um die Qualität der gemessenen Entfernung besser zu beurteilen sollte auch das Analogesignal ausgewertet und verglichen werden mit dem umgewandelten Digitalen Signal. Es dient unter anderem nämlich dazu wie die spätere Software auszusehen hat, denn die Auswertung eines Analogesignals erfordert mehr Programmieraufwand als die Auswertung eines Digitalensignals. Um ein Digitales Signal auszuwerten reicht es im Grunde genommen auf den ersten Impuls zu warten, die Wartezeit wird in die Entfernungsmessung mit einbezogen und somit ergibt sich die Entfernung. Bei der Analogen Auswertung muss mit dem gesendet mit dem empfangenen Signal verglichen und überprüft ob es sich um die 40kHz handelt oder nur eine Störung ist. Mit der Zeit, die zwischen dem gesendeten Signal und dem empfangenen Signal vergeht, muss letztendlich der Abstand zwischen dem Sensor und dem Hindernis berechnet werden.

2.2 Verwendete sowie Dimensionierung der Bauteile

2.2.1 Controller

Der Infineon XMC 1xxx48 gehört zu der Familie der ARM Cortex -M0 Prozessoren und ist ein 32-bit Industrial Microcontroller und wird mit 48MHz externer Clock betrieben. Die 48 im Namen des Prozessors steht für die Anzahl der Pins. Der interne Timer läuft mit 96Mhz. Außerdem bietet der XMC einen 12 bit A/D Wandler, welcher für die Analogmessung eine viel genauere Auflösung bieten kann als ein 8 bit A/D Wandler. Die Betriebsspannung des Prozessors beträgt 3,3V. Die Auswahl des Controller wurde getroffen, weil der standardmäßig auch schon bei Tinkerforge eingesetzt wird und uns für

den Prototypen vorgegeben wurde. <https://www.infineon.com/cms/en/product/microcontroller/32-bit-industrial-microcontroller-based-on-arm-cortex-m/32-bit-xmc1000-industrial-microcontroller-arm-cortex-m0/#>

2.2.2 Sender

Die Auswahl für die Sender Schaltung ,mit internen MOS-Fets die Schaltzyklen mit 40kHz erlauben:eine Brückenschaltung mit internem Controller dafür eignete sich das IC A5950. Wie in Abbildung ?? zu sehen ist, kann die H-Brücke eine angeschlossene Last mit einer Wechselspannung versorgen, deren Frequenz über das Signal am Anschluss PHASE vorgegeben werden kann. Siehe den Anhang für das Datenblatt des ICA5950 um die genauere Beschaltung des ICs

2.2.3 Hochsetzsteller

Mit einer Induktivität von 10mH und einem Kapazität von 40uF lässt sich die Ausgangsspannung bei 5v Eingangsspannung zwischen 6v und 20v einstellen.

$$R1 = R2 * \left(\frac{V_{out}}{1,23} - 1 \right) \Rightarrow V_{out} = \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) * 1,23$$

2.2.4 Ultraschallkapsel

Für den Prototypen wurden mehrere Kapseln verschiedener Hersteller bestellt. Dieses geschah um Unterschiede der verschiedenpreisigen Bauteile zu ermitteln und festzustellen, welches Preissegment die nötige Qualität für die vorliegende Anwendung erfüllt.

2.2.5 Filter

$$C12 = \frac{1}{2 * \pi * f_g * R} \Rightarrow \frac{1}{2 * \pi * 40kHz * 100K\Omega} \approx 40pF$$

2.2.6 Empfänger

Die Abbildung ?? zeigt die Empfängerschaltung. Durch diese Verschaltung von Operationsverstärkern(OPVs) wird das ankommende Sinusförmige Signal verstärkt und in ein digitales Signal umgewandelt. Die Schaltung wurde mit einem Hochpassfilter (CR Glied) bestückt bestehend aus C12 und R5 um unerwünschte Signalanteile mit Frequenzen, die unter 40kHz liegen, zu unterdrücken. Der Widerstand wurde nach der e24 Reihe ausgewählt. Die Kapazität des Kondensators C12 wurde an die Grenzfrequenz von 40 kHz und den Widerstand angepasst.

Durch nachträgliche Versuche wurde festgestellt, dass durch das Erhöhen der Kapazität auch die Qualität der Filterung des Signals sich verbessert, in den folgenden Abbildungen?? ,?? sind die Unterschiede zusehen.

Für die Verstärkung der Amplitude so wie der Umwandlung des analogen Signals in ein Rechtecksignal mit 40 KHz standen zwei Operationsverstärker zur Auswahl, LT1112 mit einem Stückpreis von 4,80€ und den TLC272 mit einem Stückpreis von 0,88€ trotz der besseren Performanz, wurde der TLC272 für die Prototypen ausgewählt um die preislich günstigen Möglichkeiten zu prüfen. Die Versorgungsspannung der OPV's von 3,3V wird durch den Kondensator C16 (EMV Störfilter) stabilisiert.

Für die Verstärkung der Amplitude ist der Operationsverstärker TLC272 U2B als nicht invertierender Verstärker geschaltet. Wenn eine Gleichspannung anliegt, wirkt der Kondensator (C10) in der Operationsverstärkerschaltung als Impedanzwandler, also mit einer Verstärkung von eins, geht nun

die Eingangsfrequenz hoch, nimmt der Widerstand des Kondensators (C10) ab, somit beginnt der Operationsverstärker auch zu verstärken, und zwar mit zunehmender Verstärkung, bis irgendwann die Impedanz des Kondensators vernachlässigt werden kann und die Verstärkung nur noch durch das Verhältnis der Widerstände beeinflusst wird, R6 ist zudem notwendig um das Schwingen der Amplitude zu verhindern, somit kann die Verstärkung mit folgender Formel berechnet werden:

$$V_u = R_6 + R_8 + \frac{R_{12}}{R_6}.$$

Für die Umwandlung des Analogen Signales in ein Digitales wurde der Operationsverstärker TLC272 U2C als Komparator geschaltet. Beim Auftreten von Differenzen zwischen den Eingangssignalen, wechselt der Ausgang des Komparators zwischen Low (0 Volt) auf High (3,3 Volt).

Die Referenzspannung wird durch den Spannungsteiler R9 und R8 bestimmt.

$$U_{ref} = \frac{U_{ges} * R_9}{R_8 + R_9} \Rightarrow \frac{3,3V * 120K\Omega}{100K\Omega + 120K\Omega} = 1,8V$$

2.3 Entwicklung der Software zum Betrieb des Prototypen

2.3.1 Benötigte Kenntnisse

Die Variable x=0-3. Um das Programm zu erstellen werden Kenntnisse z.B. für die Timer CCU4x sowie deren Slices CC40-43 benötigt. Die Funktionen der CCU4x wird in der Reference Manuel beschrieben, siehe dazu Anhang, um die Timer zu Initialisieren wird die XMC Lib benötigt die eine fertige API mitbringt, siehe Kapitel Besonderheiten der Software, so wird nur noch die API mit den richtigen Parametern beschrieben um die Timer lauffähig zu kriegen.

Durchgeführte Berechnungen

Auch für die Programmierung waren diverse Berechnungen notwendig. So musste zur Erzeugung der Ultraschallimpulse ein Pulsweitenmoduliertes Rechtecksignal geschaffen werden. Dafür wurde ein Timer der CCU4x auf einen Takt von 40kHz eingestellt. So musste bei einem Timertakt von 96MHz eine Periodendauer von 2400 Takten, siehe unten die Berechnung und ein Compare-Wert von 1200 Takten eingestellt werden. Im Zählvorgang des Timers wird der Ausgang nach Erreichen des Compare-Wertes auf 1, und nach Erreichen der Periodendauer wieder auf 0 gesetzt. Dadurch ergibt sich eine Periodendauer von 25µs, was einer Frequenz von 40kHz entspricht.

Auch zur Erfassung der Zeit, die vergeht bis das Echo des Ultraschall-Impulses zurück kommt wird über einen Timer der CCU4x erfasst.

$$Periodendauer = \frac{96MHz}{40kHz} = 2400$$

Einstellung im Programm

2.3.2 Quellcodeentwurf

Um Fehler in der Zeitnahme zu verringern sollten Zeitwerte, die ausgelesen werden sollen direkt am Anfang des Interrupts in Variablen gespeichert werden und nicht erst innerhalb anderer Anweisungen oder Schleifen, da das schon deutliche Abweichungen mit sich bringt.

Programmstruktur: Anstatt alles in der main.c an siehe Abbildung 2.2 Programmcode zu verfassen was bei sehr komplexen Programmen schnell zu Unübersichtlichkeit führt hat das Auslagern den Vorteil dass der Quellcode Logisch getrennt werden kann und so einer Verschönerung und Übersichtlichkeit des Programms die Folge mit sich bringt.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdbool.h>
3 #include "bricklib2/logging/logging.h"
4 #include "bricklib2/bootloader/bootloader.h"
5 #include "communication.h"
6 /****Eigene Include Dateien****/
7 #include "configs/config.h"
8 #include "system_timer/system_timer.h"
9 #include "a16pt.h"
10 int main(void)
11 {
12     logging_init();
13     logd("Start Distance US V2 Bricklet/n/r"); Fuer den DDebugModus
        TXPin P0_12
14     communication_init(); //Funktionsaufruf
15     a16pt_init(); //Funktionsaufruf
16     while(true)
17     {
18         a16pt_tick(); //Funktionsaufruf
19         bootloader_tick(); //Funktionsaufruf
20         communication_tick(); //Funktionsaufruf
21     }
22 }
23 }

```

Abbildung 2.2: *main.c*

Um die Funktionsaufrufe zu verstehen muss die a16pt.h näher betrachtet werden. In der der a16pt.h werden die Funktionen definiert die dann in der main.c aufgerufen werden und die Funktionsanweisungen stehen dafür in der a16pt.c.

```

1 #ifndef A16PT_H
2 #define A16PT_H
3 #include <stdint.h>
4 void a16pt_init(void); //Funktionsdefinition
5 void a16pt_tick(void); //Funktionsdefinition
6 uint16_t a16pt_get_distance(void); //Funktionsdefinition

```

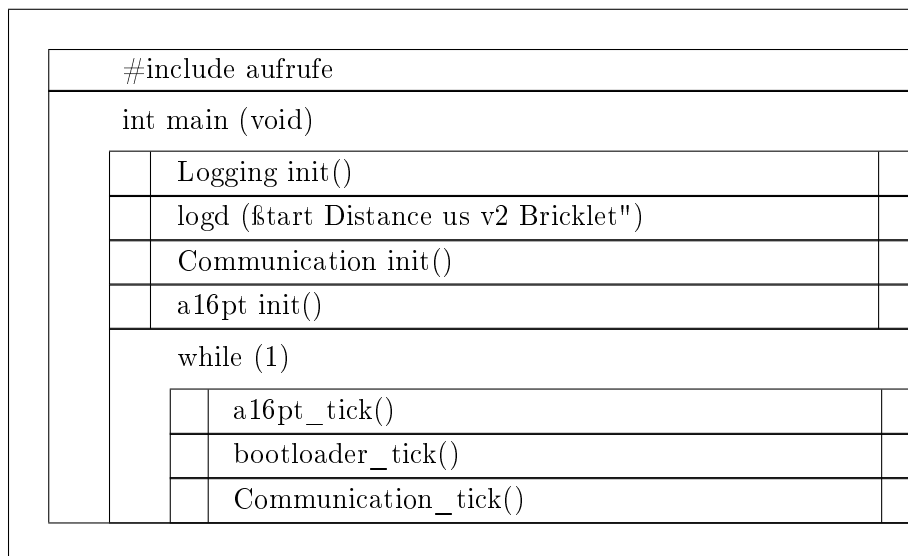


Abbildung 2.3: *Struktogramm der main*

Im Main stehen vor allem die Aufrufe der verschiedenen benötigten Funktionen. Diese Aufteilung auf verschiedene Blöcke(und in diesem Falle auch Dateien) dient der Vereinfachung der Abläufe und der Übersicht. So sieht man in der Main jetzt deutlich, welche Funktionen beim Starten initialisiert

werden, und welche Unterprogramme regelmäßig aufgerufen werden. Auch vereinfacht diese Struktur gerade bei Prototypen das Testen der Funktion, so kann im Falle einer fehlerhaften Funktion einfach der Aufruf auskommentiert werden um zu testen, ob der Fehler wirklich von der Funktion herrührt. Dadurch müssen nicht etliche Zeilen Programmcode der Funktion auskommentiert werden, wodurch schnell Fehler entstehen könnten, durch übriggebliebene Zeichen, oder gar beim entfernen der Auskommentierung gelöschte Zeichen.

In der a16pt werden die für die Entfernungsmessung notwendigen Funktionen und die Interrupt anweisungen abgearbeitet, außerdem werden die Ein- und Ausgangsports hier geschaltet.

3 Messungen und Auswertung der Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Forschung

3.2 Fazit aus den Ergebnissen für den Auftraggeber

4 Reflektion über den Projektablauf

5 Anhänge

5.1 Schaltpläne

5.2 Platinenlayout

5.3 Quellcode

Hier könnte Ihr Quellcode (inklusive Werbung) stehen
weitere Abbildungen

Abbildungsverzeichnis

2.1	Blockschaltbild	4
2.2	main.c	8
2.3	Struktogramm der main	8

Tabellenverzeichnis