

# 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, 13. 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

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Management des Projektes . . . . .	1
1.2	Open Source CAD-Programm Paket zur Erstellung von elektronischen Leiterplatten	1
<b>2</b>	<b>Vorbereitung</b>	<b>2</b>
2.1	Recherche der Funktionsweise . . . . .	2
2.1.1	Sender . . . . .	2
2.1.2	Empfänger . . . . .	2
2.2	Verwendete sowie Dimensionierung der Bauteile . . . . .	2
2.3	Entwicklung der Software zum Betrieb des Prototypen . . . . .	2
<b>3</b>	<b>HAUPTTEIL</b>	<b>3</b>
3.1	Messungen und Auswertung der Ergebnisse . . . . .	3
3.1.1	Ausgabe . . . . .	3
3.1.2	Empfangseinheit . . . . .	4
3.2	Ergebnisse der Forschung . . . . .	8
3.3	Fazit aus den Ergebnissen für den Auftraggeber . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Reflektion über den Projektablauf</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Anhänge</b>	<b>10</b>
5.1	Schaltpläne . . . . .	10
5.2	Platinenlayout . . . . .	10
5.3	Quellcode . . . . .	10

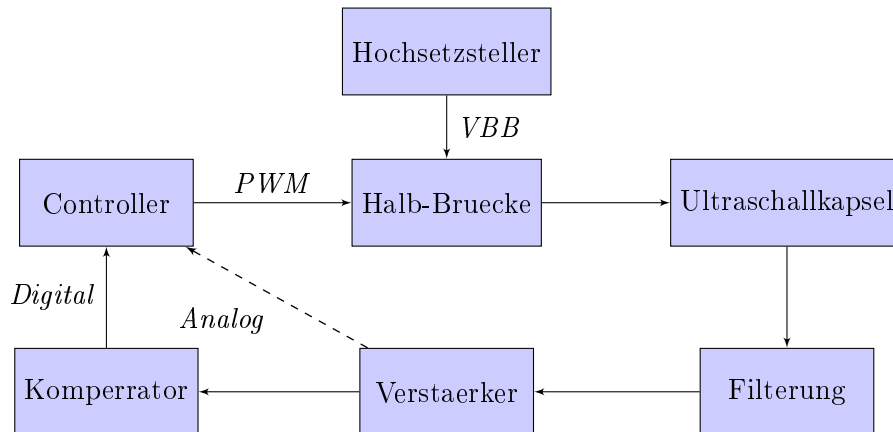
# 1 Einleitung

## 1.1 Management des Projektes

## 1.2 Open Source CAD-Programm Paket zur Erstellung von elektronischen Leiterplatten

## 2 Vorbereitung

### 2.1 Recherche der Funktionsweise



#### 2.1.1 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 variierbar 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.

#### 2.1.2 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. Zusätzlich ist das eingehende Signal zu filtern, da die Lautsprecherkapsel nicht ausschließlich Ultraschallsignale aufnimmt. Mit der Zeit, die zwischen dem gesendeten Signal und dem empfangenen Signal vergeht, muss letztendlich der Abstand zwischen dem Sensor und dem Hinderniss berechnet werden.

### 2.2 Verwendete sowie Dimensionierung der Bauteile

### 2.3 Entwicklung der Software zum Betrieb des Prototypen

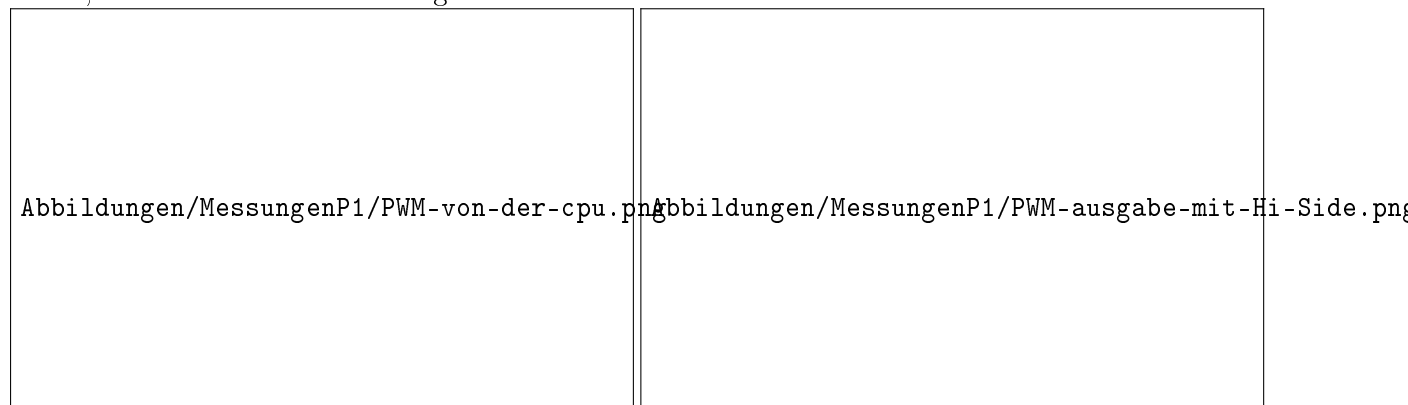
# 3 HAUPTTEIL

## 3.1 Messungen und Auswertung der Ergebnisse

Zu Beginn wurden Messungen direkt an dem Prozessor durchgeführt, um zu kontrollieren, dass die im Programm errechneten Signale auch die vorgesehenen Frequenzen erreichen. Anschließend wurden einzelne Baugruppen mit dem Prozessor kombiniert, um das Zusammenspiel dieser auswerten zu können. Danach wurden die Baugruppen um den Sensor erweitert und auch dieses Zusammenspiel wurde ausgewertet. Zum Abschluss wurde dann die komplette Platine im Betrieb getestet und optimiert.

### 3.1.1 Ausgabe

Um das Signal für die Entfernungsmessung zu generieren wurde der Mikrocontroller so programmiert, dass zehn Impulse mit einer Frequenz von 40kHz ausgegeben werden. Danach erfolgt eine Pause, um das zurückkehrende Signal abzuwarten und auszuwerten.



**Abbildung 3.1:** *PWM-Burst auf 40kHz Basis an der CPU*

**Abbildung 3.2:** *PWM Ausgabe über einen Hi-Side*

In der Abbildung 3.1 ist zu sehen, dass ein Burst aus zehn Impulsen mit einer Periodendauer von jeweils 25µs generiert wurde. Diese Messung wurde direkt an dem Mikrocontroller vorgenommen, um zu überprüfen, wie sich das Signal durch die eingesetzten Bauteile verändert.

Die Abbildung 3.2 zeigt, wie das Ausgangssignal nach der Hi-Side aussieht. So wird zwar im Takt des PWM-Signals geschaltet, allerdings fehlt es an einem Gegenpool, um das Potential in den Schaltphasen wieder auf Null zu ziehen. Dadurch bleibt das Signal während des Schaltens immer auf einem erhöhten Pegel und sinkt erst nach Ende des Signals langsam ab. Dadurch kann natürlich keine vernünftige Ausgabe am Lautsprecher erzeugt werden, denn ohne deutliche Potentialunterschiede kann dieser auch nicht richtig schwingen. Der ausgegebene Schalldruck würde maximal für kürzeste Entfernungsmessungen reichen, wenn überhaupt und dann würde das zurückkommende Signal noch von der abklingenden Spannung des Hi-Side überlagert. Dadurch ist dieser Aufbau nicht operabel.

Wird das Signal über eine Halbbrücke geschaltet, um das Potential auch auf Null ziehen zu können, ergibt sich das folgende Bild. 3.3.



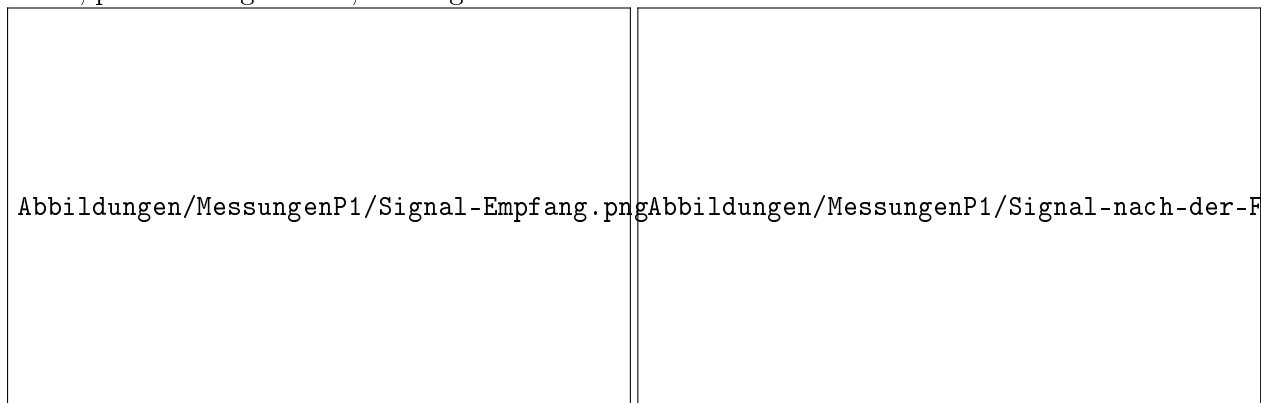
**Abbildung 3.3:** *PWM Ausgabe über eine Halbbrücke*

**Abbildung 3.4:** *Ausgabe der PWM mit erhöhter Amplitude am Sender*

Es zeigt sich, dass das Signal nach der Erweiterung auf eine Halbbrücke wieder wie das von der CPU ausgegebene PWM-Signal 3.1 aussieht, nur dass die Amplitude wie geplant höher ausfällt. Somit kann die Höhe der Amplitude über die Spannungspumpe variiert werden um die Stärke des ausgegebenen Signals zu variieren, ohne die CPU durch die höhere Spannung zu beschädigen. Wie in der Abbildung 3.4 zu entnehmen ist, entstehen durch den angeschlossenen Sender noch Spannungsimpulse im Schaltmoment.

### 3.1.2 Empfangseinheit

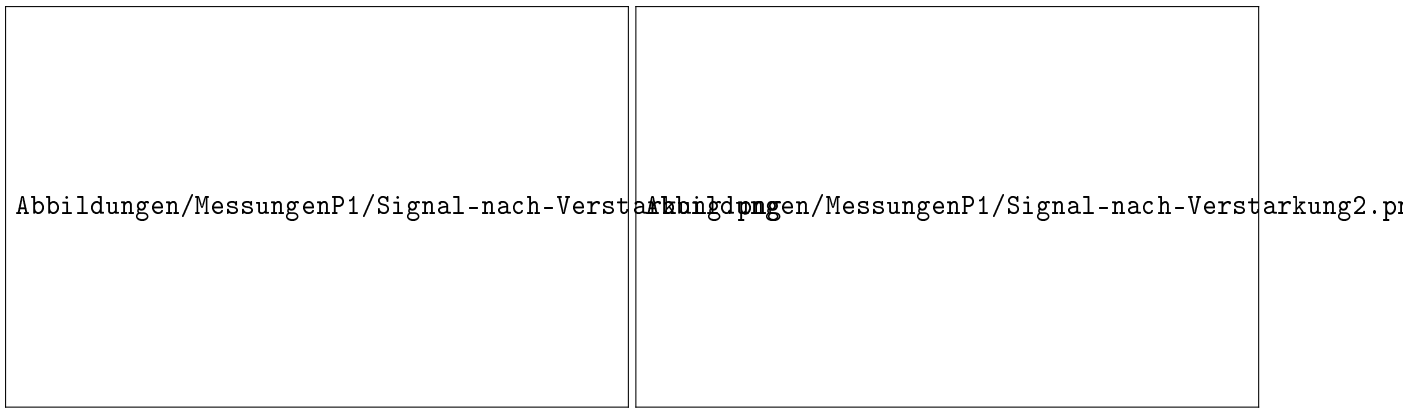
In den ersten Versuchen wurde die Empfangseinheit auf einer zweiten Platine getrennt vom Sender getestet, um eine mögliche Überlagerung der elektrischen Signale zu verhindern. Dafür wurden beide Platinen auf einem Versuchsaufbau befestigt und die Sender- und die Empfängerkapsel nebeneinander, parallel ausgerichtet, befestigt.



**Abbildung 3.5:** *Signal Empfang*

**Abbildung 3.6:** *Signal nach der Filterung*

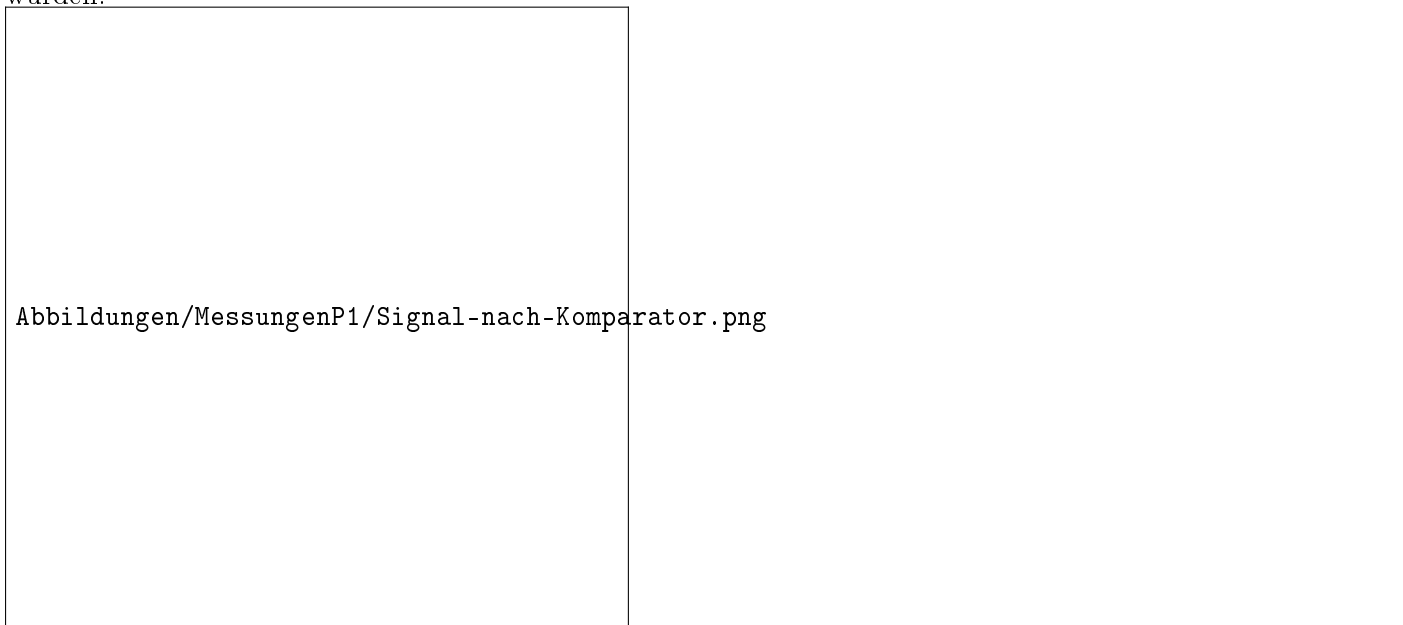
Die Abbildung 3.5 zeigt das Signal, das direkt am Empfänger zu messen war. Hier sind verschiedene vorerst nicht zuordnenbare Signale zu sehen. Allein aus diesem Bild lässt sich aber keine Aussage zu den Signalen machen, fest steht nur dass ebenfalls Signale, die nicht der gewünschten Frequenz entsprechen ebenfalls vom Empfänger aufgenommen werden. Diese gilt es natürlich schnellst möglich auszumerzen, um unerwünschte Störungen zu vermeiden. In der Abbildung 3.6 ist das Signal nach dem eingebauten Hochpassfilter zu sehen.



**Abbildung 3.7:** *Signal nach Verstärkung*

**Abbildung 3.8:** *Signal nach Verstärkung2*

Der erste Operationsverstärker dient der Verstärkung des gefilterten Eingangssignals. Dieses ist notwendig, da das ausgesendete Schallsignal mit zunehmendem Weg an Schalldruck verliert, und beim Eintreffen am Empfänger deutlich niedrigere Spannungen erzeugt, als beim absenden eingesetzt wurden.



**Abbildung 3.9:** *Signal nach Komparator*

Nach dem das Signal den Komparator passiert hat, ergibt sich das Bild wie in Abbildung 3.9 zu sehen ist. Aus dem anfänglichen Eingangssignal, aus dem nichts verwertbares abzulesen war, ist ein wesentlich übersichtlicheres Signal entstanden. Nun sind lediglich zwei Signalblöcke übriggeblieben, die beide eine Frequenz von 40kHz haben. Bei dem ersten Signalblock handelt es sich um ein Störsignal, denn es ist das vom Sender ausgesandte Signal, das seitlich auf den Empfänger abstrahlt. Der zweite Signalblock ist dagegen das Echo, also das Signal, das vom Hindernis zurückgeworfen wurde. Mit diesem Signal ließe sich die Entfernung zum Hindernis berechnen.

Nachfolgend wurden die Signalverläufe mit verschiedenen Ultraschallkapseln aufgenommen, um vergleichen zu können, wie die Signalqualität bei verschiedenen Produkten schwankt. Dabei wurde die Amplitude von 4,6V für das Sendersignal nicht verändert.



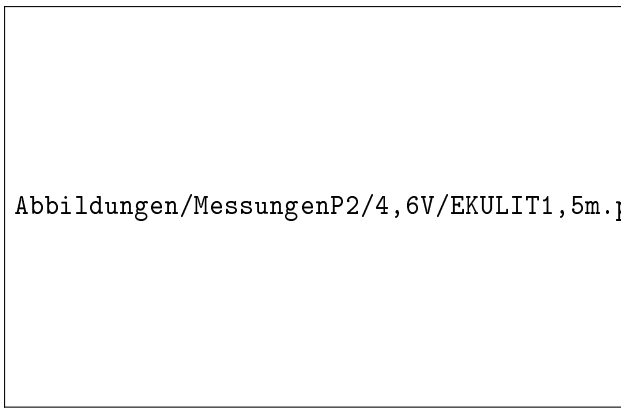


Abbildung 3.10: *EKULIT*

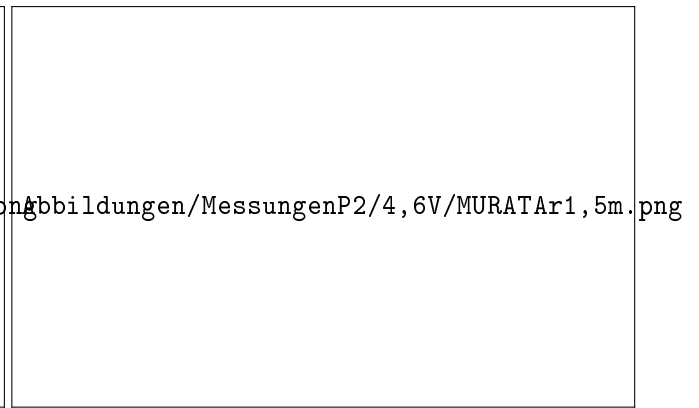


Abbildung 3.11: *MURATA receiver*

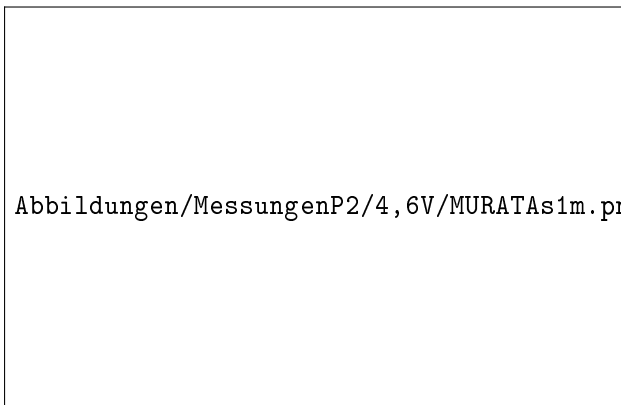


Abbildung 3.12: *MURATA sender*

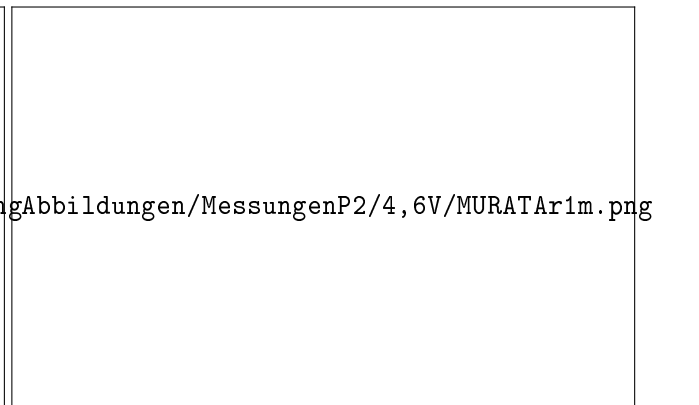


Abbildung 3.13: *MURATA receiver 1m*

Bei den Ultraschallkapseln von EKULIT zeigte sowohl eine Verpoolung der Anschlüsse, als auch ein Tausch von Sender- und Empfängerkapsel keinen Unterschied. Bei den Ultraschallkapseln von MURATA sind bei der Wahl der Kapseln dagegen deutliche Unterschiede zu sehen. Werden nur die Sender-Kapseln als Sender und Empfänger verwendet, entsteht das in Abbildung ?? zu sehende Signal. Die Breite des eingehenden Echo Signals ist deutlich geringer, als bei den anderen verwendeten Kombinationen. Am besten sind die Signale bei der Kombination aus Sender und Empfänger von MURATA, Abbildung 3.13 oder bei den EKULIT-Kapseln, Abbildung 3.10.

Bei einer Betrachtung der Signalverläufe einer Entfernungsmessung, ließen sich die folgenden Signale aufnehmen. Die Spannung von der Spannungspumpe wurde auf 10v eingestellt, zu sehen sind die Signalverläufe nach dem Verstärker und nach dem Komparator.

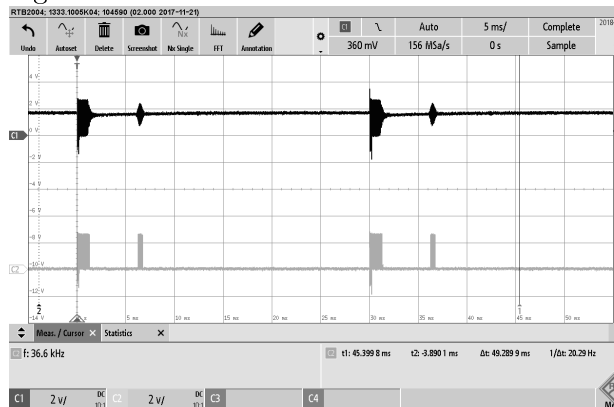


Abbildung 3.14: *EKULIT 1m*

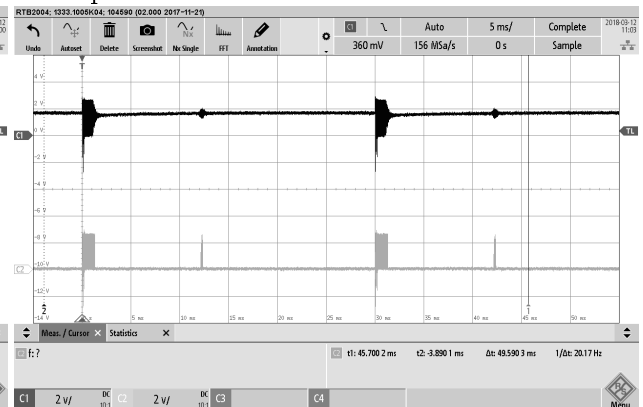


Abbildung 3.15: *EKULIT 2m*

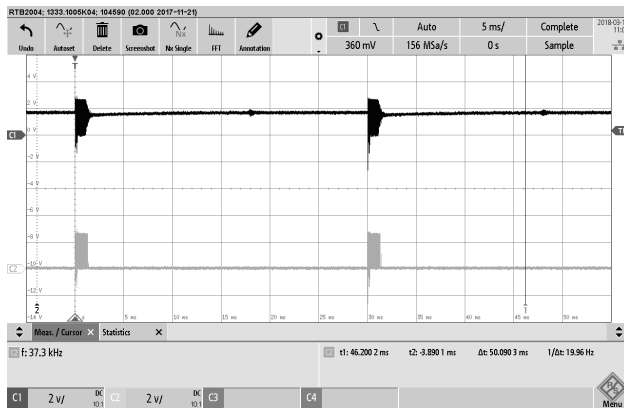


Abbildung 3.16: EKULIT 3m

In den Abbildungen sind jeweils zwei PWM-Ausgaben und die darauf folgenden Echos zu sehen. So trifft das Echo in Abbildung 3.14 etwa 6,ms nach dem absenden des ersten Impulses wieder an der Ultraschallkapsel ein. In der Abbildung ?? ist das Echo so schwach, dass die Verstärkung bereits nicht mehr ausreicht, um noch ein Signal nach dem Komparator zu ermöglichen.

Bei einer Erhöhung der Spannung von der Spannungspumpe auf einen Wert von 15,75V (Spitzenwerte an der Ultraschallkapsel von 20V) sind die nachfolgenden Signalverläufe entstanden.

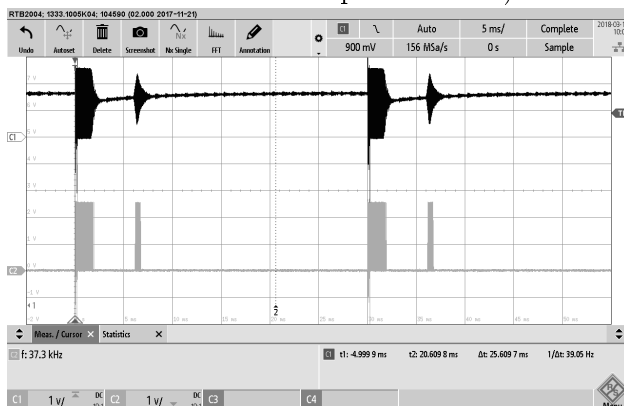


Abbildung 3.17: EKULIT 1m

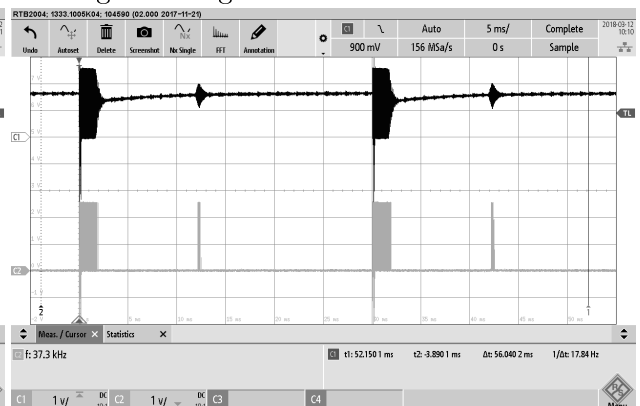


Abbildung 3.18: EKULIT 2m

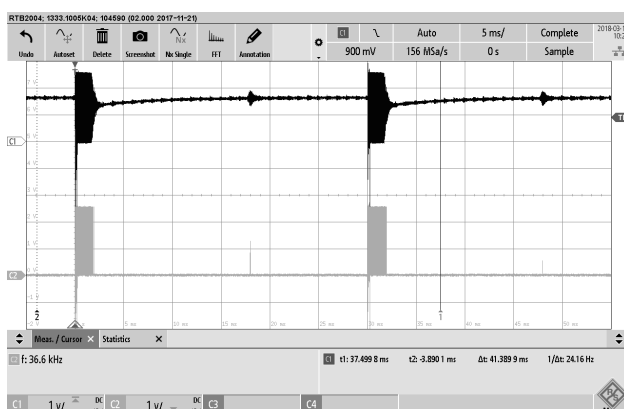


Abbildung 3.19: EKULIT 3m

In den obigen Abbildungen ist zu sehen, dass die Signalstärke der Echos durch die Erhöhung der Spannung leicht zugenommen hat. Gerade bei einem Vergleich der Abbildungen 3.16 und 3.19 ist zu sehen, dass der Komparator durch die Signalerhöhung auch bei dem Echo das Schalten beginnt. Das heißt, dass bereits durch die Signalstärke am Sender ein Betrieb bis 3m Abstand möglich ist.

## 3.2 Ergebnisse der Forschung

Aus den Versuchen und Messungen lassen sich mehrere Aussagen treffen.

Als erstes, eine Ultraschall-Entfernungsmessung ist mit wenigen Bauteilen, sowohl als zwei Kapsel Variante, als auch als ein Kapsel Variante ist durchführbar. Bei der ein Kapsel Variante ist darauf zu achten, dass der Verstärker eine ausreichende Spannungsfestigkeit besitzt, um nicht durch das Sendersignal zerstört zu werden. Auch ist wichtig, dass bei der Erzeugung des PW-Modulierten Ausgangssignals die MOSFETs so angesteuert werden, dass das MOSFET, welches die High-Impulse schaltet, genug Zeit zum abschalten hat, bevor das MOSFET, das das LOW-Signal schaltet, einschaltet, und umgekehrt um Kurzschlüsse an dieser Stelle zu vermeiden.

Eine Auswertung des Echo-Signals ist prinzipiell sowohl Digital, als auch Analog möglich. Die Digitale Auswertung läuft recht simpel ab, prinzipiell muss nur die Zeit erfasst werden, die zwischen dem Senden des PWM-Signals und dem Empfangen des Echo-Signals vergeht. Die errechnete Strecke ist zu halbieren, da die vergangene Zeit sowohl den Hin-, als auch den Rückweg beinhaltet. Bei der analogen Auswertung besteht zwar die Möglichkeit über einen Frequenzvergleich auch Signale mit noch kleinerer Echo-Amplitude zu erkennen und auszuwerten, allerdings beinhaltet dieses Vorgehen einen deutlich höheren Programmieraufwand.

Bei der Berechnung der Zeiten muss berücksichtigt werden, dass das eingehende Echo-Signal die Ultraschallkapsel langsam in Schwingungen versetzt, die ersten eintreffenden Schwingungen eines PWM-Signals erzeugen also kleinere Spannungssignale als die darauf folgenden. Außerdem schwingt die Ultraschallkapsel auch nach Ende des eingehenden Signals noch etwas nach, was zur Folge hat, dass das analoge Abbild des gesendeten PWM-Signals leicht versetzt und etwas verlängert wirkt. All diese Faktoren müssen für eine genauere Berechnung der Strecke, die das Signal zurück gelegt hat, berücksichtigt werden. Allein durch die Tatsache, dass das empfangene Signal an der Ultraschallkapsel derart verändert wird, macht eine absolut exakte Messung nicht möglich. Eine Beschränkung des Fehlers auf einzelne Zentimeter dürfte aber durchaus realisierbar sein.

## 3.3 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

3.1	PWM-Burst auf 40kHz Basis an der CPU . . . . .	3
3.2	PWM Ausgabe über einen Hi-Side . . . . .	3
3.3	PWM Ausgabe über eine Halbbrücke . . . . .	4
3.4	Ausgabe der PWM mit erhöhter Amplitude am Sender . . . . .	4
3.5	Signal Empfang . . . . .	4
3.6	Signal nach der Filterung . . . . .	4
3.7	Signal nach Verstärkung . . . . .	5
3.8	Signal nach Verstärkung2 . . . . .	5
3.9	Signal nach Komparator . . . . .	5
3.10	EKULIT . . . . .	6
3.11	MURATA reciver . . . . .	6
3.12	MURATA sender . . . . .	6
3.13	MURATA reciver 1m . . . . .	6
3.14	EKULIT 1m . . . . .	6
3.15	EKULIT 2m . . . . .	6
3.16	EKULIT 3m . . . . .	7
3.17	EKULIT 1m . . . . .	7
3.18	EKULIT 2m . . . . .	7
3.19	EKULIT 3m . . . . .	7

# Tabellenverzeichnis