

3D Laserscanner für mobilen Roboter

Industriearbeit PAIND+E1

im Auftrag des Industriepartners

RUAG AG

an der

Hochschule Luzern Technik & Architektur

im Studiengang Elektrotechnik

Schwerpunkt

Signalverarbeitung & Kommunikation,
Automation & Embedded Systems

Dozent: Björn Jensen

Experte: Markus Thalmann

Eingereicht von: Daniel Zimmermann

Matrikelnummer: 15-465-271

Datum der Abgabe: 22.12.2017

Klassifikation: Rücksprache

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Wolfenschiessen, den 22.12.2017

Daniel Zimmermann

Vorwort

In Zuge der industriellen Revolution 4.0, sogenannte digitalen Revolution, entstehen gerade im Zweig der Robotik und der Automation ständig neue und revolutionäre Technologien. Dabei steht die Transformation des weitgehend automatisierten Roboter im Vordergrund. Diverse Vorzeigeprojekte beweisen bereits heute, dass durch eine komplexe Abstimmung hoch präziser Sensoren die kognitiven und sensorischen Fähigkeiten des Menschen nachgeahmt, wenn nicht sogar übertroffen werden können.

Ein gutes Beispiel für diese Transformation sind mobile Roboter wie der iRobot Packbot. Durch entsprechende Logik und Sensorik können die geländegängigen Roboter dem Menschen einen enormen Dienst erweisen. In für Menschen unzugängliche oder nur unter hohem Gefahrenpotential begehbarer Orte wie Kriegsgebieten, von Naturkatastrophen geschädigten oder radioaktiv verstrahlten Umgebungen können sie Aufgaben bewältigen, welche dem Menschen alleine unmöglich erscheinen.

Durch die zunehmende Rechenleistung von Computern und den daraus resultierenden Datenmengen einsteht nun auch die Möglichkeiten mittels diesen unbemannten Robotern detailliert Visualisierungen in den erwähnten Einsatzgebieten zu erstellen. An diesem Punkt setzt nun die Aufgabenstellung des PAIND+E1 an. Es soll ein Prototyp eines 3D Laser Modul entwickelt werden, mit welchen eine 3D Karte der Umgebung möglichst detailliert visualisiert werden kann.

Daniel Zimmermann, 22.12.2017

Abstract

This Documentation is a result of the Project Modul PAIND+E1 at the Lucerne School of Engineering and Architecture for the industry partner RUAG AG written by Daniel Zimmermann.

The following chapters contains the full experiences, results and descriptions during the project from September to Dezember 2017. The body of the documentation is subdivide in different phases and reflects the timeline of the Project.

The first part is a summation of the results during the information research phase. It contains the knowledge about the available Sensors, the potential hardware components and the necessary Software to implement the solution after the functional specifications.

There are three concepts created, which have different approaches. The first concept called "plattformis based on a "regulation experiment", which can turn the plattform in a wide range of angle, while using servo motors. This concept was no longer pursue, because the two other concepts were more suitable.

The two other concepts are based on a turning endlessly "tower". The difference between the two concepts is the position of the signal processing unit. In the unrotated version, the unit are below in a static case. Only the 3D-Sensor is rotating for the mapping. In the rotated version, the signal processing unit in the case is also rotating, and only the Interface to the packpot is static.

The main content is about the realisided concept, which is the last called concept before. The realisation phase is describes the process, how the case and the electornic parts are mounted. In a seperate topic, it describes, how the Software is implemented and how it works together with the Hardware.

After the realisation, the modul is tested. There are a few Hard- and Software test protocols, which gives a feedback of the functionality and the outstanding problems.

In the end a short reflection summarised the largest challenges during the project and how to solve them. It also reflects the Project management and give a little outlook.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Aufgabenstellung	1
1.3 Ziele	2
1.4 Methodik	2
2 Informationsbeschaffung	3
2.1 Entfernungsmessung	3
2.1.1 Hokuyo URG-04LX	3
2.1.2 Velodyne VLP-16 Puck	4
2.1.3 Alternativen zu LIDAR	5
2.2 Software	5
2.2.1 ROS Robot Operating System	6
2.2.2 ROS Kinetic Kame vs. Indigo	6
2.2.3 Point Cloud Library	7
2.2.4 Wireshark	7
2.2.5 Onshape	7
2.3 Datenverarbeitung	7
2.3.1 Raspberry Pi 2 & 3	8
2.3.2 Banana Pi M3	8
2.3.3 Odroid C2 & XU4	8
2.3.4 Lattepanda	9
2.4 Antriebsmöglichkeiten	9
2.4.1 Schrittmotor	9
2.4.2 Gleichstrommotor	10
2.4.3 Abwärtswandler	10
2.5 Zwischenfazit	11
3 Konzeption	12
3.1 Konzeptionsgrundlage	12

3.2 Variante 1: Plattform	12
3.3 Variante 2: Turm stationär	15
3.4 Variante 3: Turm rotierend	17
3.5 ausgewählte Komponenten	18
3.6 Zwischenfazit	18
4 Realisierung	19
4.1 Produkt	19
4.2 Hardware	21
4.2.1 mechanische Komponenten & Gehäuse	21
4.2.2 elektrische Komponenten	21
4.3 Software	21
4.3.1 3D Mapping	21
4.3.2 Motorenansteuerung	21
4.4 Zwischenfazit	21
5 Tests	22
5.1 Testprotokolle	22
5.2 Testergebnisse	24
5.3 Fazit	24
6 Reflektion	25
6.1 Schlussfolgerungen	25
6.2 Ausblick	25
6.3 Schlusswort	25
6.4 Danksagung	25
Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
Quelltextverzeichnis	III
Glossar	IV
Literaturverzeichnis	V

Onlinequellen	VI
Bildquellen	VII
Anhang A Pflichtenheft	VIII
Anhang B Projektmanagement	IX
B.1 Diagramm	IX
B.2 Tabelle	IX
B.3 Screenshot	IX
B.4 Graph	IX

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Im Institut für Innovation und Technologiemanagement IIT an der Hochschule Luzern wird mit dem mobilen Roboter “Packbot” im Bereich unbemannter Robotik stetig weiterforscht. Dabei werden immer wieder neue Technologien und Verfahren angewandt und damit neue Erkenntnisse zu erzielen. Ein sehr aktuelles Thema ist dabei die digitale Kartographie. Mit präzisen Laserentfernungsmessern und entsprechender Software lassen sich heute detaillierte Karten von der Umgebung erstellen, sogenannt 3D-Mapping. Dabei werden die gemessenen Distanzen zu einer Punktwolke (Pointcloud) zusammengeführt und visualisiert. In diesem Zusammenhang steht nun die Aufgabenstellung des PAIND+E1.

1.2 Aufgabenstellung

Nach Erhalt der Aufgabenstellung galt es anfänglich, ein 3D-Laser-Modul mit einem bestehenden 2D-Laser zu realisieren. Beim Projektbeginn im September 2017 wurde dies von Dr. Björn Jensen abgeändert, da nun ein 3D-Laserscanner für diese Aufgabe zur Verfügung steht. Beim zu erarbeitende Projekt handelt es sich um einen funktionsfähigen Prototypen. Der Prototyp soll sich um eine Achse drehen und die Daten dem mobilen Roboter einmal pro Umdrehung zur Verfügung stellen. Das entwickelte Laser-Modul soll im Rahmen der Arbeit auf dem Packbot-Roboter getestet werden.

1.3 Ziele

Ziel des Projektes ist die Realisierung eines 3D-Laser Moduls. Dabei wird die gesamte Hardware mit den gewählten Komponenten zusammengebaut. Die Software wird durch bestehende Codepakete und eigener Erweiterungen auf die Aufgabenstellung angepasst. In erster Priorität soll damit 3D Mapping in Echtzeit betrieben werden können. Das Modul wird mit dem bestehenden 3D-Laserscanner der Marke Velodyne des Typs VLP-16 realisiert. Dabei soll eine möglichst grosse räumliche Abdeckung der Umgebung erreicht werden. Diese wird in einer möglichst detaillierten Punktwolke visualisiert. Zweite Priorität ist die Hinderniserkennung in Frontrichtung. Dazu muss in Frontrichtung eine detaillierte Punktwolke ermittelt werden können. Das Modul soll einerseits auf dem Packbot nutzbar, sowie auch eigenständig einsetzbar sein.

abgleich
mit
Projekt-
ziele
Pflich-
tenheft

1.4 Methodik

Für die Aufgabenstellung eignet sich eine strukturierter Projektphasenablauf. Dabei werden nacheinander die Phasen Initialisierung, Informationsbeschaffung, Konzeption, Realisierung und die Testphase durchlaufen. Das Pflichtenheft im Anhang A, grenzt die Aufgabenstellung und die definierten Phasen ab. Im Anhang B ist das dazugehörende Projektmanagement mit entsprechenden Erläuterungen angefügt.

ref und
evtl.
Erwei-
tern

Kapitel 2

Informationsbeschaffung

Im Rahmen der Projektplanung, welche in Anhang ersichtlich ist, wurde in einer ersten Phase ein Zeitraum zur Informationsbeschaffung festgelegt. Dieser Abschnitt ist einerseits für die Themeneinarbeitung und anderseits für die Absteckung der Aufgabe und der Ziele erforderlich.

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse der Informationsbeschaffung erläutert, die maßgebend für die Konzeption in Kapitel 3 und die Realisierung in Kapitel 4 sind. Dabei werden zu einzelnen Komponenten und Verfahren Stellung genommen und eruiert, ob diese sich für das Projekt eignen. Des Weiteren werden relevante Software erläutert, welche für die Realisierung nötig sind. Das Projekt wurde dabei in verschiedene Funktionsblöcke unterteilt, die in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben werden.

insert
refer-
rence

2.1 Entfernungsmessung

In diesem Unterkapitel werden die bestehenden Entfernungsmesser Velodyne VLP-16 und der Hokuyo URG-LX01 detailliert betrachtet und die wichtigsten Spezifikation hervorgehoben. Es werden zusätzlich noch alternative Produkte gegenüber gestellt.

2.1.1 Hokuyo URG-04LX

Der Hokuyo URG-04LX ist ein zweidimensionaler Entfernungsmesser, der mittels Light Detection And Ranging (LIDAR) Verfahren misst. Bei diesem Verfahren werden mit reflektierten Laserimpulsen die Entfernung eruiert. Nachfolgende Angaben entstammen aus den Datenblättern.

ref

Der Laserscanner bietet eine

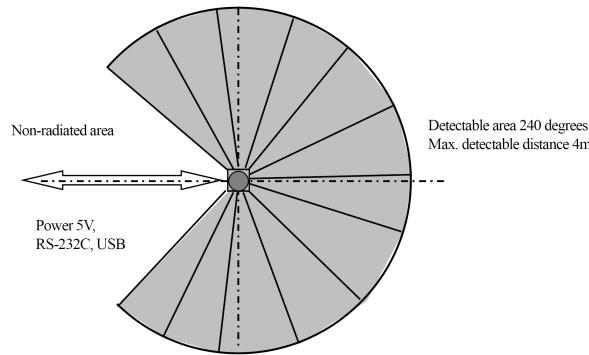


Abbildung 2.1: detektierbarer Winkel

[**Hokuyo**]

Ein bedeutendste Nachteil des URG-04LX für die Aufgabenstellung ist das messbare Distanzspektrum. Die maximale Messdistanz von 4 Meter genügt nur für sehr nahe räumliche Messungen. Der Einsatzbereich beschränkt sich hier lediglich für Gebäude interne Messungen.

ref

2.1.2 Velodyne VLP-16 Puck

Beim Velodyne VLP-16 Puck handelt es sich um einen Echtzeit 3D-Laser-Scanner, der auf dem LIDAR-Verfahren basiert. Nachfolgende Angaben entstammen den Datenblattangaben, wenn nicht anders referenziert.

Der VL

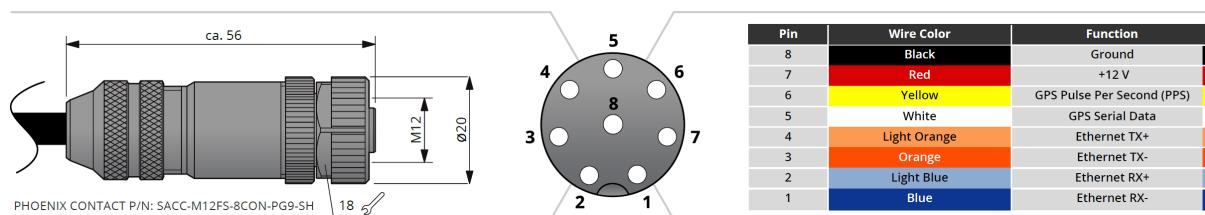


Abbildung 2.2: Anschluss und Kabelbelegung

Der Velodyne benötigt eine separate Interface Box, da die Speisung und Datenübertragung des 8-adriges Anschlusskabel getrennt werden muss. In ?? ist dieses Kabel mit Pinbelegung dargestellt. Die Interface Box ist in 2.3 Diese besitzt die 12 Volt Speisung, sowie ein Ethernet RJ45 Anschluss und eine Global Positioning System (GPS) Schnittstelle, damit . Die typische Leistungsaufnahme des Sensors ist hierbei 8 Watt.

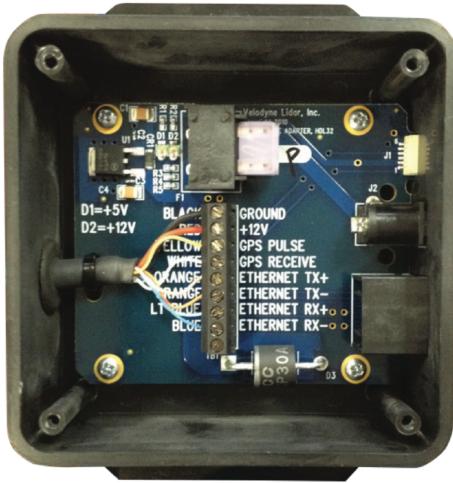


Abbildung 2.3: Ansicht auf die Interface Box
[Velodyne]

2.1.3 Alternativen zu LIDAR

evlt er-
weitern

2.2 Software

In diesem Kapitel wird die notwendige Software beschrieben. Es erläutert einerseits das ROS und dessen Funktion im Projekt. Daneben werden kurz weitere Softwareapplikationen und -packages erwähnt, welche während der Erarbeitung hilfreich sind.

2.2.1 ROS Robot Operating System

Die gesamte Kommunikation mit Sensoren und Aktoren findet auf dem Packbot mit einem spezifisch implementierten Robot Operating System (ROS) statt. Daher ist es naheliegend, um die Integrität des zu erarbeitenden 3D-Laser-Moduls zu gewährleisten, dieses Software-Framework zu nutzen.

2.2.2 ROS Kinetic Kame vs. Indigo

Grundsätzlich wird ROS, wegen seiner Nähe zu Linux Distributionen, auf einem Ubuntu Betriebssystem aufgesetzt und ist ein grösstenteils Kommando-basiertes Software-Framework. Diese in 2007 entwickelte Open Source Software erhielt in den letzten Jahren ständig neue und überarbeitete Versionen. In der nachfolgenden Abbildung sind die aktuellen Distributionen ersichtlich.

Distro	Release date	Poster	Tuturtle, turtle in tutorial	EOL date
ROS Melodic Morenia	May, 2018	TBD	TBD	May, 2023
ROS Lunar Loggerhead	May 23rd, 2017			May, 2019
ROS Kinetic Kame (Recommended)	May 23rd, 2016			April, 2021 (Xenial EOL)
ROS Jade Turtle	May 23rd, 2015			May, 2017
ROS Indigo Igloo	July 22nd, 2014			April, 2019 (Trusty EOL)

Abbildung 2.4: aktuelle Distributionen von ROS [Jos17]

Die Empfehlung von ROS und diversen Literaturen liegt hierbei bei der neusten Distribution ROS "Kinetic Kame". Es handelt sich hierbei um eine Langzeitversion von ROS, welche bis 2021 unterstützung bietet. Im Zug der ersten Versuchen mit ROS wurde auf einem Laptop mit AMD64-Architektur gearbeitet. Auf diesem wurde ROS Kinetic Kame vollumfänglich ermöglicht. Für das 3D-Lasermodul wird jedoch ein einbaubaren Einplatinencomputer benötigt, welche im 2.3 genauer betrachtet werden.

Während der Einarbeitung mit Kinetik Kame konnten einige Nachteile der Distribution festgestellt werden. Kinetik Kame unterstützt offiziell die erforderliche Velodyne Packages für den VLP-16 noch nicht. Diese können jedoch über einen unoffiziellen Github Account von DataSpeed Inc. bezogen werden. Dabei wurde jedoch festgestellt, dass diese unoffiziellen Packages nur für amd64-Architekturen zur Verfügung stehen. Dies ist ein wesentlicher Nachteil, da die meisten Einplatinencomputer mit ARM-Architekturen arbeiten.

Der Vorgänger ROS Indigo unterstützt offiziell die Velodyne Packages. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass Indigo nur auf Ubuntu 14.04 Trusty Truh. ROS Indigo wird nur noch bis April 2019 unterstützt, bietet jedoch im Vergleich zu allen Distributionen die meisten offiziellen Packages, da es bereits 2014 veröffentlicht wurde.

Erkenntnis
01.11.2017

2.2.3 Point Cloud Library

Die Point Cloud Library (PCL) ist eine freie Programmbibliothek mit zahlreichen Algorithmen zur Verarbeitung n-dimensionaler Punktwolken und dreidimensionaler Geometrien.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Programmbibliothek ist die Integration in ROS.

2.2.4 Wireshark

evlt

2.2.5 Onshape

evlt

2.3 Datenverarbeitung

Um die enorme Datenmenge zu verarbeiten muss eine entsprechende leistungsstarker Prozessor zur Verfügung stehen. Es wurden diverse Einplatinencomputer betrachtet und folgende Erkenntnisse daraus gezogen.

2.3.1 Raspberry Pi 2 & 3

Das Raspberry Pi ist eines der bekanntesten Einplatinencomputer und bietet daher eine grosse Community. Da bereits ein Raspberry Pi 2 zur Verfügung gestanden ist, konnten die ersten Erfahrungen mit einem Raspberry Pi gemacht werden. Das Raspberry bietet zusammen mit ROS Kinetic Kame und Ubuntu Mate LTS 16.04 eine mögliche Lösung für die Datenverarbeitung. Das Raspberry Pi 2 bzw. 3 basiert auf einem Broadcom **SOC!** (**SOC!**), ist mit einem ARM Cortex A7 bzw. A53 Prozessor ausgestattet. Dabei wird der Speicher auf einer **SD!** (**SD!**)-Card gebootet.

2.3.2 Banana Pi M3

Der Banana Pi M3 bietet zur Zeit (Stand Oktober 2017) die höchste Performance bei Einplatinencomputern mit ARM-Architektur, durch den Allwinner A83T Achtkern-Prozessor. Neben USB-Anschlüssen bietet er eine SATA-USB-Schnittstelle, die den internen 8 GB Speicher um bis zu 2 TB erweitern lässt, direkt integrierte Schnittstellen wie Bluetooth und WLAN, sowie eine RJ45 Gigabit Netzwerkschnittstelle. Zum Betreiben des Banana PI-M3 benötigen man ein 5V DC-Netzteil. Der Preis eines BananaPi M3 liegt momentan bei ca 90. Franken.

2.3.3 Odroid C2 & XU4

In diversen Literaturen (siehe [Jos17] Kapitel 4) werden neben dem Raspberry Pi, das Odroid Board als empfohlene Einplatinencomputer aufgelistet. Dabei stehen die aktuelle Modelle Odroid-C2 oder Odroid-XU4 zur Verfügung. Sie bieten eine höhere Prozessorleistung, 1.5GHz bzw. 2GHz mit je 2 Gigabyte Random Access Memory (RAM). Beide Boards sind jedoch noch nicht lange auf dem Markt und bieten in vielen Anwendungen nur Beta-Versionen. Vor allem die Unterstützung von Ubuntu LTS 16.04 ist nicht restlos geklärt. Der Preis dieser Boards ist um die 80 - 90 Franken.

2.3.4 Lattepanda

Der Lattepanda Einplatinencomputer unterscheidet sich wesentlich von den bisherig betrachteten Baords. Der Prozessor arbeitet nicht mit ARM-Architektur, sondern mit AMD64-Architektur und

2.4 Antriebsmöglichkeiten

Um das Produkt um eine Achse drehen zu lassen, müssen Motoren eingesetzt werden. Nachfolgend sind zwei verschiedene Motorenarten geschildert, um die Einsatzmöglichkeit zu klären. Wichtige Kriterien für die Aufgabenstellung sind einerseits die Ansteuerung und die Dimension. Andererseits muss die Möglichkeit bestehen die Winkeländerung zu eruiieren.

2.4.1 Schrittmotor

Der Schrittmotor ist eine Antriebsmöglichkeit, welche für das Projekt in Frage kommt. Es gibt sehr kostengünstige und kompakt dimensionierte Motoren dieser Art. Ein interessanter Aspekt ist das gezielt steuern des Motors. Durch einen Stromimpuls bewegt sich ein Schrittmotor nur einen festgelegten Winkelschritt weiter. Er kann bereits ohne zusätzliche Sensorik definierte Schritte anfahren, aus denen die Winkeländerung eruiert werden kann. Schrittmotoren besitzen die Eigenschaft, dass in der Ruhelage ein Haltemoment entsteht. Diese Eigenschaft wird jedoch für die Aufgabenstellung nicht zwingend benötigt.

Nachteilig für die Aufgabenstellung am Schrittmotor ist der höhere Stromverbrauch, vor allem während dem Haltemoment. Da nur ein Schritt vollführt werden kann, wenn das entsprechende Drehmoment nicht überschritten wird, müsste dieses sorgfältig berechnet werden. Ein bedeutender Nachteil im Zusammenhang mit der Aufgabenstellung ist, dass durch Schrittverluste die Winkeländerung nicht mehr quantitativ ermittelt werden kann. Ein weiterer Nachteil ist das verhältnismäßig hohe Gewicht. Dies ist kein Kriterium für die Aufgabenstellung, sollte jedoch bei der Realisierung beachtet werden.

Um mit einem Mikrocontroller einen Schrittmotor anzusteuern, empfiehlt sich ein Motorentreiber benötigt. Mit solchen Treibern lässt sich der Motor mittels 2 Steuerpins rotieren. Um die Drehgeschwindigkeit zu senken, bieten diese Treiber die Möglichkeit, die Schritte in 2, 4, 8 und 16 Teilschritte zu senken, um dadurch eine feinere Bewegung zu ermöglichen.

2.4.2 Gleichstrommotor

Als Alternative zum Schrittmotor bietet sich ein üblicher Gleichstrommotor. Diese Motoren sind für viele Einsatzbereiche geeignet und es gibt sie in verschiedenen Größen und Umdrehungszahlen. Im Gegensatz zu Schrittmotoren laufen DC-Motoren kontinuierlich, aufgrund eines Stroms, der durch die Wicklungen fliesst. Nachteilig ist somit, dass weder die genaue Anzahl Umdrehungen noch die momentane Phasenlage bekannt ist. Es gibt jedoch eine Vielzahl an Möglichkeiten diese zu eruieren. Einerseits gibt es die Möglichkeit mittels Hall-Sensoren oder mittels Quadraturencodern den Um dies zu ermöglichen, braucht es zusätzlich einen Vierquadrantensteller (H-Brücke), sowie eine Sensorlogik, welche die Umdrehung misst. Im Preissegment bis 40 Fr. gibt es leistungsfähige Gleichstrommotoren

2.4.3 Abwärtswandler

Der Abwärtswandler D24V50F5 von Pololu eignet sich sehr gut für die Stromversorgung von Einplatinencomputer. Er bietet eine stabil 5V-Ausgangsspannung bis zu einer ausgangsseitigen Belastung von 8 Ampere. Der Wirkungsgrad beläuft dabei auf knapp über 90 Prozent bei einer eingesetzten Betriebsspannung von 12 Volt. Diese Angaben gehen aus Abbildung 2.5 hervor, die aus dem Datenblatt des

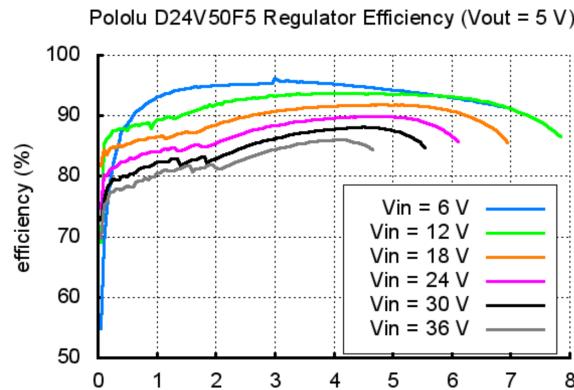


Abbildung 2.5: Wirkungsgrad D24V50F5 [D24V50F5]

2.5 Zwischenfazit

Für die Einarbeitung in das Projekt ist die Informationsbeschaffung bzw. Recherche ein wesentlicher Bestandteil. Dabei werden wichtige Grundlagen für die Konzeption erstellt. Mittels Schrittmotoren oder Gleichstrommotoren kann der Velodyne gedreht werden. Für die Datenverarbeitung stehen mehrere Einplatinencomputer zur Verfügung, dabei muss jedoch die Integration in das System gewährleistet sein. Für 3D Mapping gibt es

Kapitel 3

Konzeption

Dieses Kapitel beschreibt die Resultate und Ergebnisse aus der Konzeptionsphase. Nachfolgend werden auf die verschiedenen Konzeptionsvarianten eingegangen. Dabei werden Überlegungen und Bezüge zur Aufgabenstellung gemacht. Jede Variante wird abschliessend mit einem kurzen Fazit beurteilt.

3.1 Konzeptionsgrundlage

Als Konzeptionsgrundlage dient das Pflichtenheft, welches im Anhang einsehbar ist. Wie darin erwähnt, soll das Modul möglichst frei drehend konzipiert werden. Dies ist das ausschlaggebendste Kriterium für die Bauform des Moduls. Da der Velodyne VLP-16, wie in Kapitel erläutert, einen begrenzten horizontalen Öffnungswinkel besitzt, wurde bei den folgenden Konzepten die Möglichkeit eines beweglichen Moduls geprüft. Ein weiteres relevantes Kriterium ist die Einsatzmöglichkeit des Modul. Es soll einerseits auf dem Packbot, sowie auch als eigenständiges Produkt funktionieren. Daher sind als Schnittstellen einen Speiseanschluss, welcher 12 Volt DC liefert und eine Ethernet RJ45-Anschluss nötig. Nachfolgend sind auf diesen Grundlagen drei Varianten dargelegt.

referenz

ref

3.2 Variante 1: Plattform

Die Variante 1: Plattform ist in der Skizze in Abbildung ersichtlich. Bei dieser Konstruktion werden alle elektronischen Komponenten, welche für die Signalverarbeitung und die Energieversorgung nötig sind, in einem rechteckigen Gehäuse im unteren Teil verbaut. Die

referenz

Interface Box des Velodyne VLP-16 wird auch in diesem Gehäuse untergebracht. Lediglich der Laserscanner VLP-16 befindet sich ausserhalb des Gehäuses auf der Plattform oberhalb des Gehäuses.

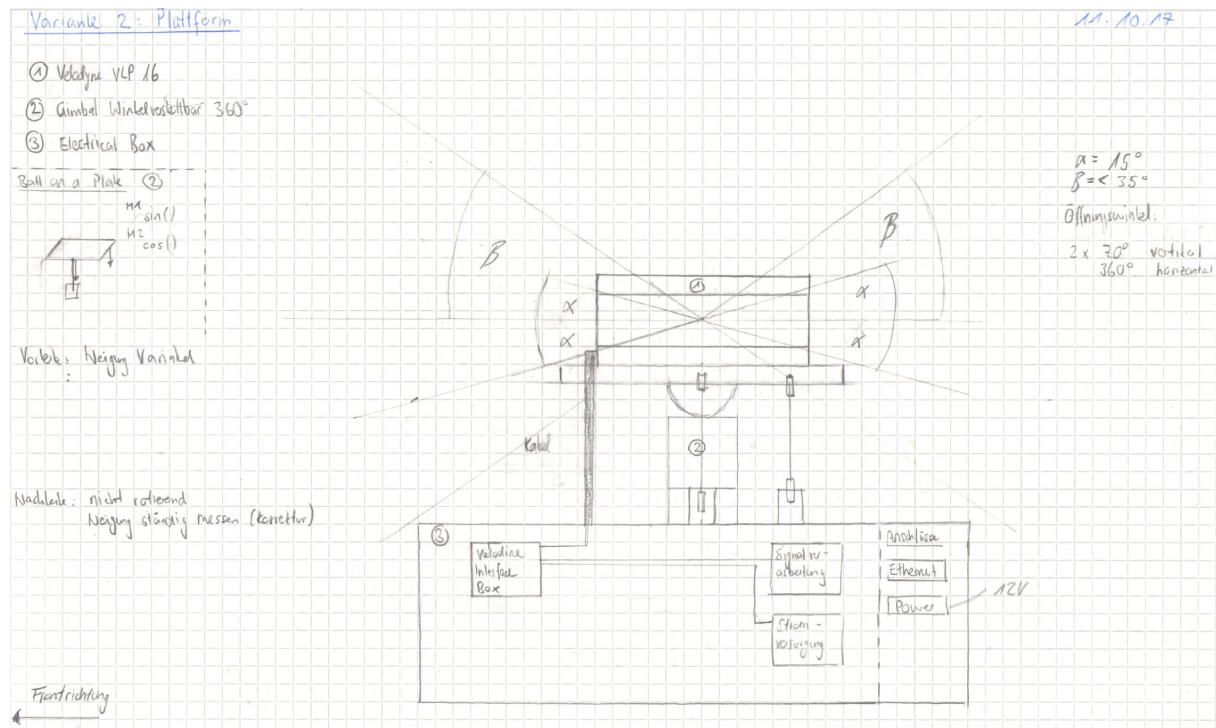


Abbildung 3.1: Skizze Variante 1

Die Eigenheit dieser Konzeption ist die Plattform, auf welcher sich der Velodyne VLP-16 befindet. Der Einsatz dieser Plattform erklärt sich durch ein bekanntes Regelungsexperiment namens "Ball on a Plate". In Abbildung ist eine CAD-Zeichnung eines solchen Regelungsexperiment dargestellt. Bei "Ball on a Plate" werden zwei Servomotoren, welche je mit einem Gelenk mit einer Seite der Plattform verbunden sind, angesteuert. Indem die Servomotoren mittig auf der Seite mit der rechteckigen Plattform verbunden sind, kann durch Drehen der Servomotoren die Plattform zweiachsig geneigt werden. Im Regelungsexperiment kann durch Zuhilfenahme einer PID-Regelung ein Ball darauf balanciert werden.

ref

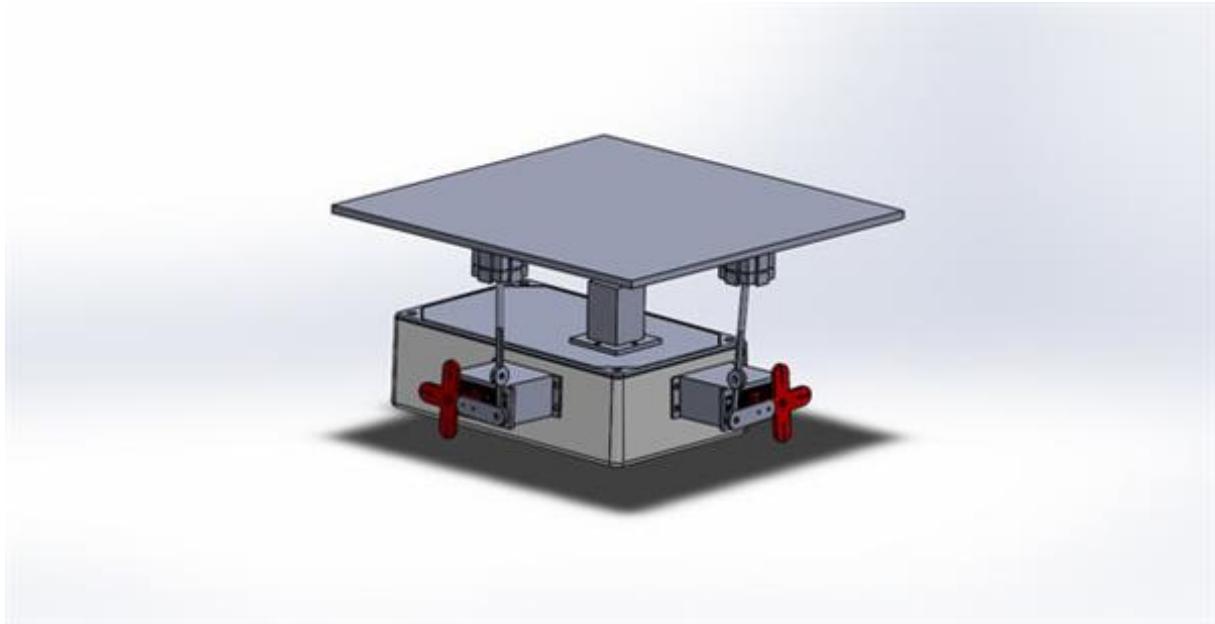


Abbildung 3.2: Ball on a Plate CAD [Ben15]

Diese Überlegungen bieten die Möglichkeit den Laserscanner VLP-16, welcher in der Konzeption auf der Plattform befestigt ist, durch das ansteuern der Servomotoren in alle Richtungen zu neigen. Somit kann der Öffnungswinkel in jede Richtung vergrößert werden. Die Grenzen liegen dabei in der Begrenzung.

Hauptproblematik bei dieser Konzeption ist die zusätzlich nötige Sensorik. Durch die Neigung der Plattform kann ohne zusätzliche Sensorik nicht auf die Transformationsebenen zurückgeschlossen werden. Dies erschwert die Visualisierung der 3D-Laserscanner Messdaten. Die Plattform müsste mittels einer eigenen IMU, welche aus Gyrosensor, Accelerometer und Magnetometer besteht, erweitert werden.

Während der Besprechung mit Herr Jensen vom blabla wurde diese Konzeption verworfen ZEIT und nicht mehr weiter betrachtet.

3.3 Variante 2: Turm stationär

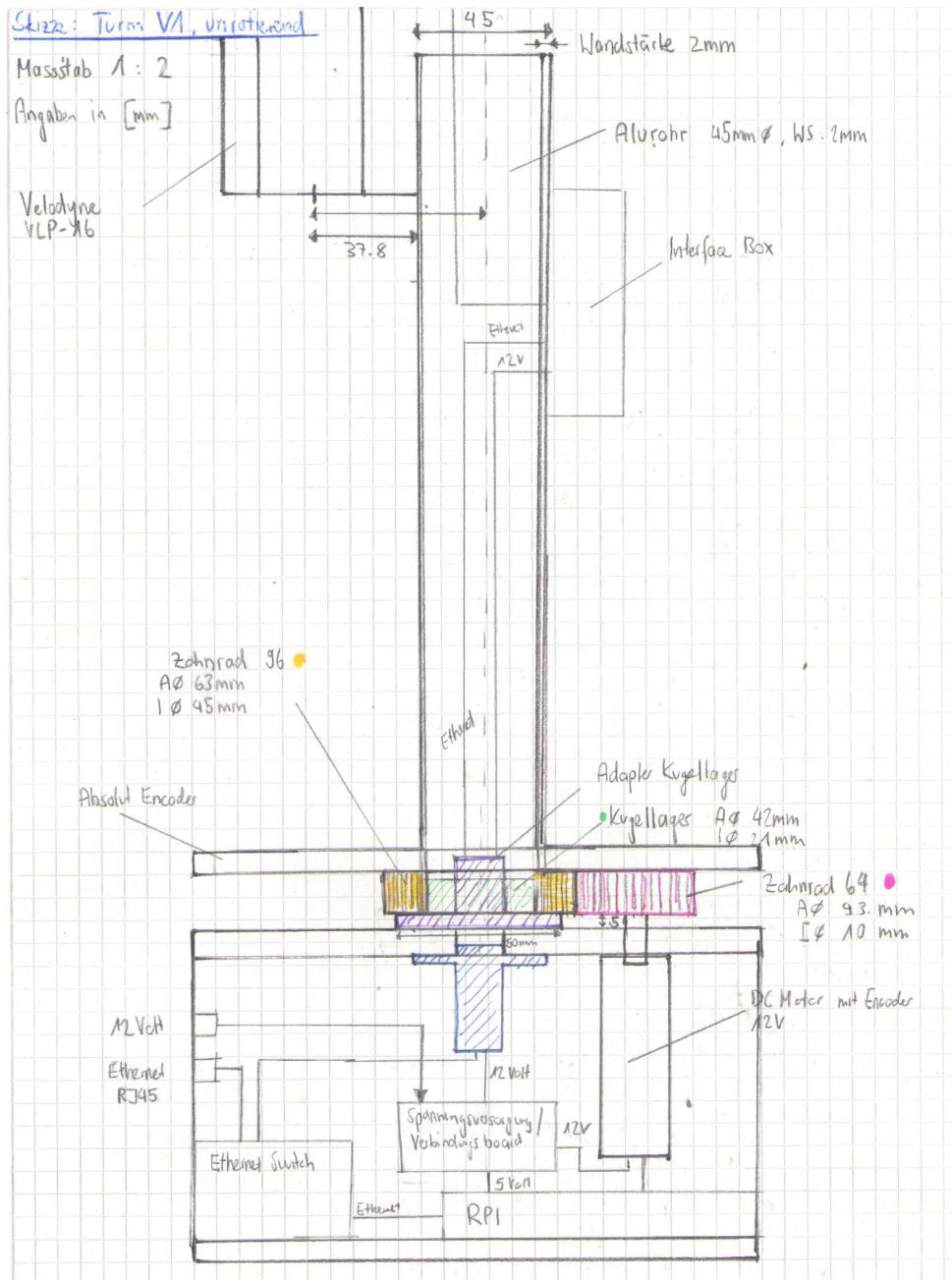


Abbildung 3.3: Skizze Variante 2

Das zweite Konzept ist ein Turmartige Konstruktion. Die Idee dazu lieferte das TEAM IMM an der **acronym!** (acronym!) 2017 Dabei befindet sich der Velodyne VLP-16

abgesetzt von den elektrischen Komponenten in der Höhe. Dies ermöglicht einen grösseren Erfassungswinkel. Speziell an diesem Konzept ist...

3.4 Variante 3: Turm rotierend

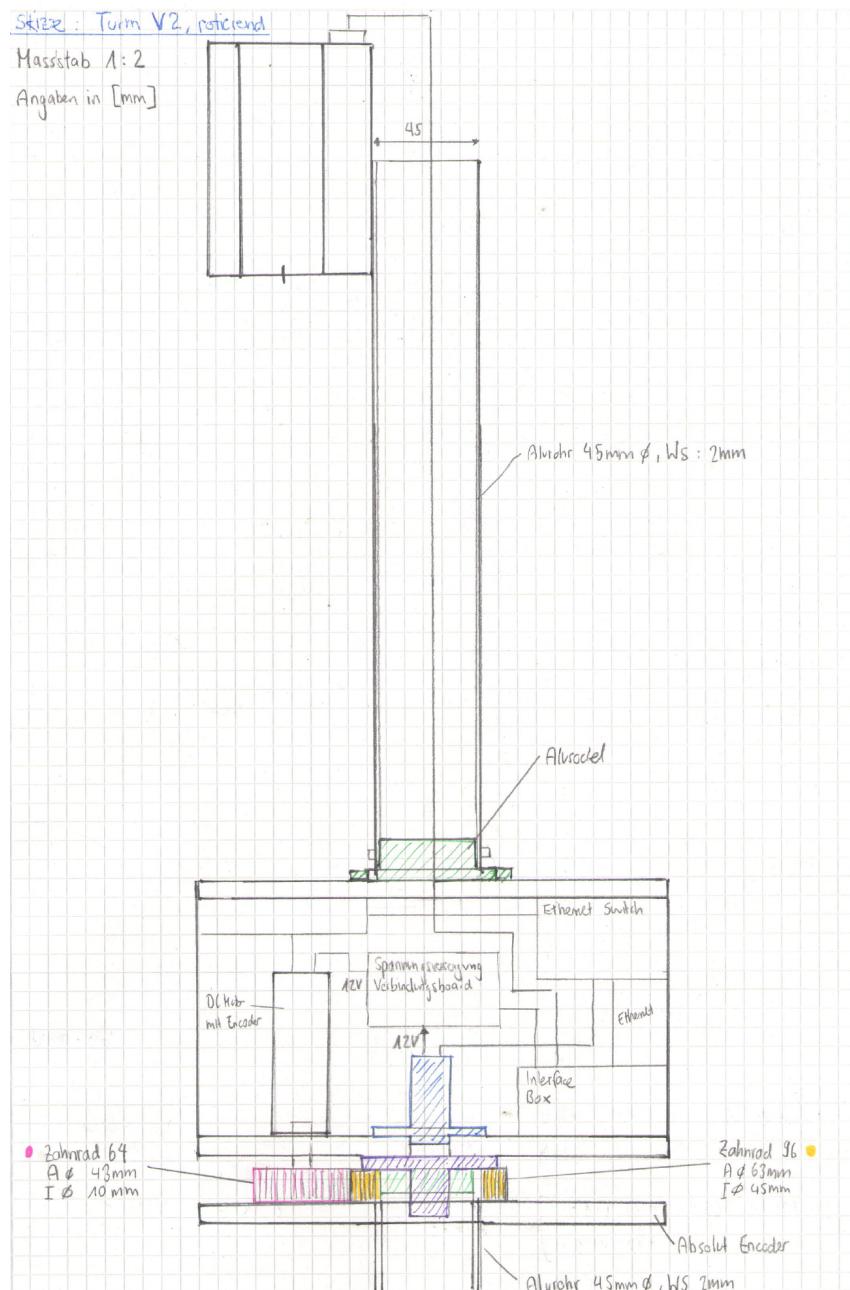


Abbildung 3.4: Skizze Variante 3

3.5 ausgewählte Komponenten

3.6 Zwischenfazit

Kapitel 4

Realisierung

4.1 Produkt

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut

metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

- First itemtext

- Second itemtext
- Last itemtext
- First itemtext
- Second itemtext

4.2 Hardware

4.2.1 mechanische Komponenten & Gehäuse

4.2.2 elektrische Komponenten

4.3 Software

4.3.1 3D Mapping

4.3.2 Motorenansteuerung

4.4 Zwischenfazit

Kapitel 5

Tests

5.1 Testprotokolle

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut

metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

- First itemtext

- Second itemtext
- Last itemtext
- First itemtext
- Second itemtext

5.2 Testergebnisse

5.3 Fazit

Kapitel 6

Reflektion

6.1 Schlussfolgerungen

6.2 Ausblick

6.3 Schlusswort

6.4 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mir herzlich bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zuallererst gebührt der Dank:

Abbildungsverzeichnis

2.1	detektierbarer Winkel	4
2.2	Anschluss und Kabelbelegung	4
2.3	Ansicht auf die Interfacebox	5
2.4	aktuelle Distributionen von ROS	6
2.5	Wirkungsgrad D24V50F5	11
3.1	Skizze Variante 1	13
3.2	Ball on a Plate CAD [Ben15]	14
3.3	Skizze Variante 2	15
3.4	Skizze Variante 3	17

Tabellenverzeichnis

Quelltextverzeichnis

Glossar

ROS	Robot Operating System
LIDAR	Light Detection And Ranging
SLAM	Simultaneous Localisation and Mapping
BLAM	Berkeley Localization And Mapping
GPS	Global Positioning System
BSD	Berkley Software Distribution
RAM	Random Access Memory

Literaturverzeichnis

- [Jos17] Lentin Joseph. *ROS Robotics Projects*. Packt Publishing, März 2017. ISBN: 978-1-78355-472-0. URL: <http://proquest.tech.safaribooksonline.de/book/hardware/9781783554713>.
- [Kna09] Joerg Knappen. *Schnell ans Ziel mit LATEX 2e* -. ueberarbeitete und erweiterte Auflage. Muenchen: Oldenbourg Verlag, 2009. ISBN: 978-3-486-59015-9.

Onlinequellen

- [Ben15] Benecdict. *Student's 3D printed balancing device is a whole new ball game.* Dez. 2015. URL: www.3ders.org/articles/20151213-students-3d-printed-balancing-device-is-a-whole-new-ball-game.html (besucht am 06. 10. 2017).
- [Goo] Google. *Google.* URL: <http://www.google.de> (besucht am 06. 10. 2015).

Bildquellen

[PEX] PEXELS. *Black and white branches tree.* URL: <https://www.pexels.com/photo/black-and-white-branches-tree-high-279/>.

Anhang A

Anhang B

B.1 Diagramm

B.2 Tabelle

B.3 Screenshot

B.4 Graph