

# 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 detaillierte 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 subdivided 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 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

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation . . . . .	1
1.2 Aufgabenstellung . . . . .	1
1.3 Ziele . . . . .	2
1.4 Methodik . . . . .	2
<b>2 Informationsbeschaffung</b>	<b>3</b>
2.1 Entfernungsmessung . . . . .	3
2.1.1 Hokuyo URG-04LX . . . . .	3
2.1.2 Velodyne VLP-16 Puck . . . . .	4
2.2 Vorzeigeprojekte . . . . .	7
2.2.1 IMM MSAS Team MSS Warschau . . . . .	7
2.2.2 Hector Tracker Team Hector Darmstadt . . . . .	9
2.2.3 Schlussfolgerung . . . . .	10
2.3 Software . . . . .	10
2.3.1 ROS Robot Operating System . . . . .	10
2.3.2 ROS Kinetic Kame vs. Indigo . . . . .	10
2.3.3 Point Cloud Library . . . . .	12
2.3.4 Wireshark . . . . .	12
2.3.5 Onshape . . . . .	12
2.4 Datenverarbeitung . . . . .	12
2.4.1 Raspberry Pi 2 & 3 . . . . .	12
2.4.2 Banana Pi M3 . . . . .	13
2.4.3 Odroid C2 & XU4 . . . . .	13
2.4.4 Lattepanda . . . . .	13
2.4.5 Up Board Squared . . . . .	14
2.5 Antriebsmöglichkeiten . . . . .	14
2.5.1 Schrittmotor . . . . .	14
2.5.2 Gleichstrommotor . . . . .	15

2.6	Speisung und Verkabelung . . . . .	15
2.6.1	Abwärtswandler . . . . .	15
2.6.2	Schleifring . . . . .	16
2.7	Zwischenfazit . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Konzeption</b>	<b>17</b>
3.1	Konzeptionsgrundlage . . . . .	17
3.2	Variante 1: Plattform . . . . .	17
3.3	Variante 2: Turm stationär . . . . .	20
3.4	Variante 3: Turm rotierend . . . . .	21
3.5	ausgewählte Komponenten . . . . .	23
3.6	Zwischenfazit . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Realisierung</b>	<b>24</b>
4.1	Produkt . . . . .	24
4.2	Hardware . . . . .	24
4.2.1	mechanische Komponenten & Gehäuse . . . . .	24
4.2.2	elektrische Komponenten . . . . .	24
4.3	Software . . . . .	24
4.3.1	3D Mapping . . . . .	24
4.3.2	Motorenansteuerung . . . . .	24
4.4	Zwischenfazit . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Tests</b>	<b>25</b>
5.1	Testprotokolle . . . . .	25
5.2	Testergebnisse . . . . .	27
5.3	Fazit . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Reflektion</b>	<b>28</b>
6.1	Schlussfolgerungen . . . . .	28
6.2	Ausblick . . . . .	28
6.3	Schlusswort . . . . .	28
6.4	Danksagung . . . . .	28

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Quelltextverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Glossar</b>	<b>IV</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Onlinequellen</b>	<b>VII</b>
<b>Anhang A Pflichtenheft</b>	<b>VIII</b>
<b>Anhang B Projektmanagement</b>	<b>IX</b>
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

In einer ersten Phase wurde ein Zeitraum zur Informationsbeschaffung festgelegt. Dieser Abschnitt ist einerseits für die Themeneinarbeitung und andererseits 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. Ein weiterer Abschnitt behandelt bereits bestehende State-of-the-Art-Lösung.

### 2.1 Entfernungsmessung

In diesem Unterkapitel werden die bestehenden Entfernungsmesser Hokuyo URG-LX04 und der Velodyne VLP-16 beschrieben. Dabei werden wichtige Spezifikationen erläutert. Für die Aufgabenstellung wurde von Herr Jensen der Velodyne VLP-16 ausgewählt, daher wird nur kurz auf den Hokuyo URG-04LX eingegangen. Es soll erläutern, weshalb der Velodyne VLP-16 für das Projekt besser geeignet ist.

#### 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 wird mit reflek-

tierten Laserimpulsen die Entfernung eruiert. Nachfolgende Angaben entstammen aus den Datenblättern. [CO05]

Wie in Abbildung 2.1 ersichtlich, bietet der Laserscanner eine Abdeckung von 240 Grad in einer definierten Ebene. Dabei benötigt dieser 100 ms pro Scan. Die zu erwartende Auflösung liegt dabei bei 1 mm. Die gemessenen Daten werden über eine USB-Schnittstelle übermittelt, direkt nachdem der Scan vollführt wurde.

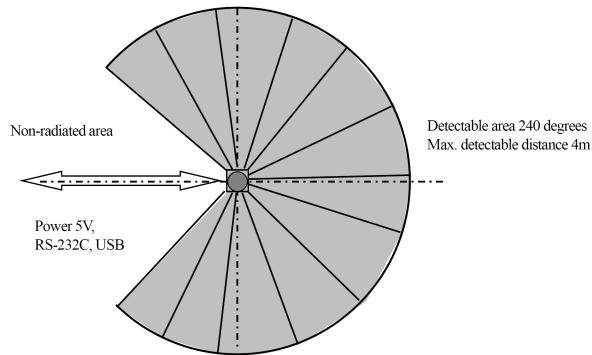


Abbildung 2.1: messbarer Bereich  
[CO05]

Ein bedeutendste Nachteil des URG-04LX für die Aufgabenstellung ist das messbare Distanzspektrum. Die maximale Messdistanz von 4 m genügt nur für sehr nahe räumliche Messungen. Der Einsatzbereich beschränkt sich hier lediglich für Gebäude interne Messungen. Da mit dem zu erarbeitenden Modul Umgebungskarten erstellt werden sollen, eignet sich dieser Laser nicht.

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. [LiD16]

Der VLP-16 bietet insgesamt 16 Laser-/Detektorpaare, die in 2.2 ersichtlich sind. Mit diesen wird in horizontaler Lage eine Abdeckung von 360 Grad erreicht. Dies wird dadurch ermöglicht, dass der Laserscanner sich intern mit 5 - 20 Rotationen pro Sekunde um die

eigene Achse dreht. Die Rotationsgeschwindigkeit ist dabei einstellbar. Dabei kann mit einer horizontalen Auflösung von 0.1 – 0.4gerechnet werden. Die vertikale Abdeckung hingegen ist auf 30 begrenzt. Da die 16 Laser mit je 2 Unterschied ausgerichtet sind ergibt sich daraus 30 mit einer vertikalen Auflösung von 2 . Ein wichtiger Punkt ist somit, dass zwischen den Laserstrahlen keine Messpunkte ermittelt werden können, um diese zu ermöglichen müsste er seine Position verändern können, damit könnte auch die vertikale Abdeckung erweitert werden.

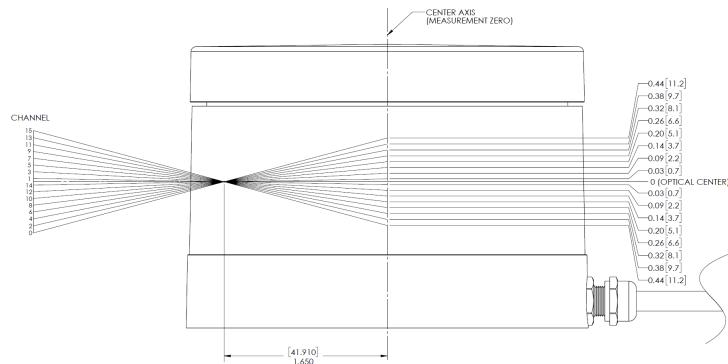


Abbildung 2.2: Laserstrahlen des Velodyne VLP-16  
[LiD16]

Ein besondere Eigenschaft dieses Laserscanners ist die vergleichbar grosse Messdistanz, die Distanzen zwischen 1m bis 100 m ermöglicht. Dabei ist die typische Toleranz +/- 3 cm. Zusätzlich wird der Reflektionsgrad in 256-bit Auflösung gemessen.

Der VLP-16 benötigt eine separate Interface Box, da die Speisung und Datenübertragung des 8-adriges Anschlusskabel getrennt werden muss. In 2.3 ist dieses Kabel mit Pinbelegung dargestellt. Dabei werden die Adern 1-4 für die Ethernet Datenübertragung benötigt. Die Adern 5 und 6 sind nur bei zugeschaltetem Global Positioning System (GPS) nötig, ansonsten sind diese unbenutzt. Die stabilisierte 12 Volt Spannung wird über die Adern 7 und 8 zugeführt.

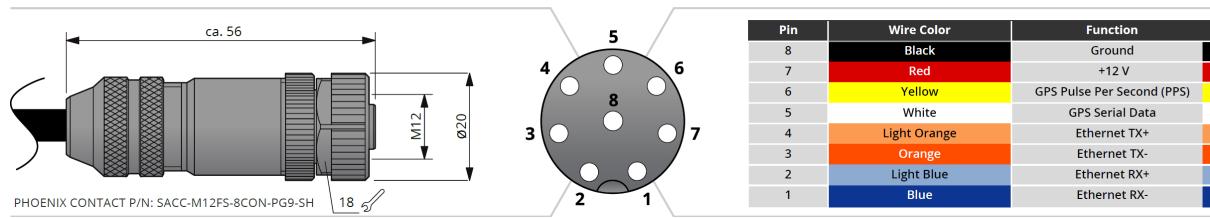


Abbildung 2.3: Anschluss und Kabelbelegung

[LiD16]

Die Interface Box ist in 2.4 ersichtlich. Diese besitzt folgende Anschlüsse; 12 Volt Speisung, sowie ein Ethernet RJ45 Anschluss und eine GPS Schnittstelle. Die typische Leistungsaufnahme des Sensors ist hierbei 8 Watt.

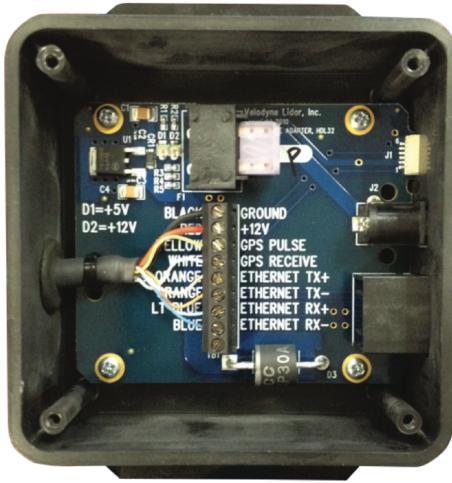


Abbildung 2.4: Ansicht auf die Interface Box

[LiD16]

Über die 100 Mbps Ethernetverbindung werden die Daten- und Positionsdaten vom Velodyne an den Computer übermittelt. Dabei werden für die zwei verschiedene User Data Protocol (UDP) Pakete die Ports 2368 und 8308 gebraucht. Nachfolgend wird in ?? der Aufbau eines Datenpaketes dargestellt. Jedes Paket besitzt einen 42-Byte Header und einen Datenblock, der aus Laserrückgabewert, kalibrierten Reflektionsgrad, Azimutwert und Zeitstempel besteht.

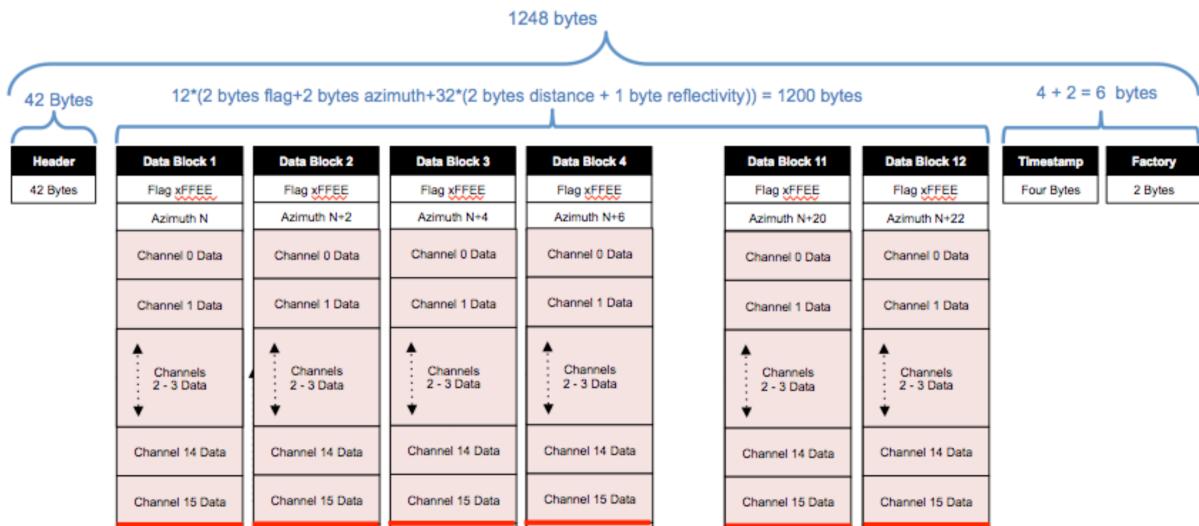


Abbildung 2.5: Aufbau Datenpaket

[LiD16]

## 2.2 Vorzeigeprojekte

Dieses Kapitel dient als Vorstudie über den Einsatz des Velodyne VLP-16 durch bereits bestehende Projekte. Dabei werden zwei verschiedene Konfigurationen betrachtet und dazu entsprechend Vor- und Nachteile erläutert. Es handelt sich hierbei um zwei Teams, welche an der European Robotic Hackathon (EnRich) 2017 teilgenommen haben und als State-of-the-Art betrachtet werden.

### 2.2.1 IMM MSAS Team MSS Warschau

Das Institute of Mathematical Machines (IMM) in Warschau hat den Velodyne VLP-16 an einer endlos drehenden Konstruktion befestigt. Dabei ist der Sensor nicht in der üblichen Lage (Ausrichtung XY-Ebene), sondern um 90 abgedreht (Ausrichtung YZ Ebene). In Abbildung 2.6 ist die entsprechende Konfiguration abgebildet. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird nur der 0 ausgerichtete Laserkanal 1, siehe Abbildung 2.2 dargestellt. Der Laserstrahl dreht mit der Winkelgeschwindigkeit um den Radius Rv. Dabei ermittelt er Azimut und Reflektionsgrad. Wird die Konstruktion nun konstant im Uhrzeigersinn

gedreht wird die Ausrichtung des Laserkanals 1 kontinuierlich verändert. Die YZ Ebene dreht sich mit dem Radius RKons gegenüber dem

Es entsteht folgende homogenene Transformationsmatrix

Transforma

Durch die Lage des Velodyne kann folgende homogene Transformation ermittelt werden.

Der Vorteil dieser Konstruktion ist, dass durch die endlose Rotation um die Z-Achse Messpunkte rund um den Roboter ermittelt werden kann, da sich die zu 16

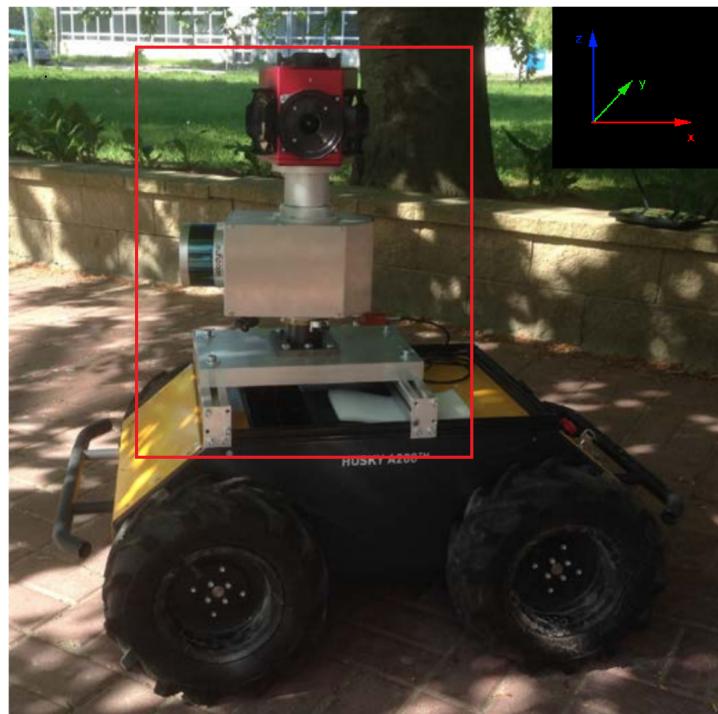


Abbildung 2.6: Roboter des Team IMM an der EnRich  
[velodynee]

Diese Konfiguration besitzt jedoch den Nachteil, dass viele Messpunkte in Richtung Fahrzeug und in Richtung Z-Achse ermittelt werden. Es können somit auch hohe Objekte mit kurzer Entfernung zum Roboter detailliert vermessen werden. Im freien Feld bietet diese Konfiguration jedoch den Nachteil, dass viele Messpunkte ins Leere messen, vor allem in die Z-Achse (himmelwärts). Des Weiteren werden viele Messpunkte in Richtung

-Z (Roboter) vermesssen, die für das Mapping keine Resultate liefern, da sich in dieser Richtung der Roboter befindet

### 2.2.2 Hector Tracker Team Hector Darmstadt

Das Team Hector der Universität Darmstadt besitzt auf dem Hector Tracker eine weitere Konfigurationsmöglichkeit. Auch dieses Team arbeitet mit einem endlos drehenden Konstrukt. Der Velodyne VLP-16 befindet sich 45abgeneigt zur XZ-Ebene. Dabei ist die Lage des Sensors zentral auf der Drehachse Z.

Der Vorteil dieser Konstruktion ist das durch die 45 Grad Stellung des VLP-16 und der zusätzlichen Rotation um die Z-Achse ein breitere Abdeckung entsteht. Während einer Umdrehung kann

Im Vergleich zum Projekt der IMM entstehen bei dieser Konfiguration weniger Messpunkte in Richtung des Roboters und in in die Richtung Z-Achse (himmelwärts).

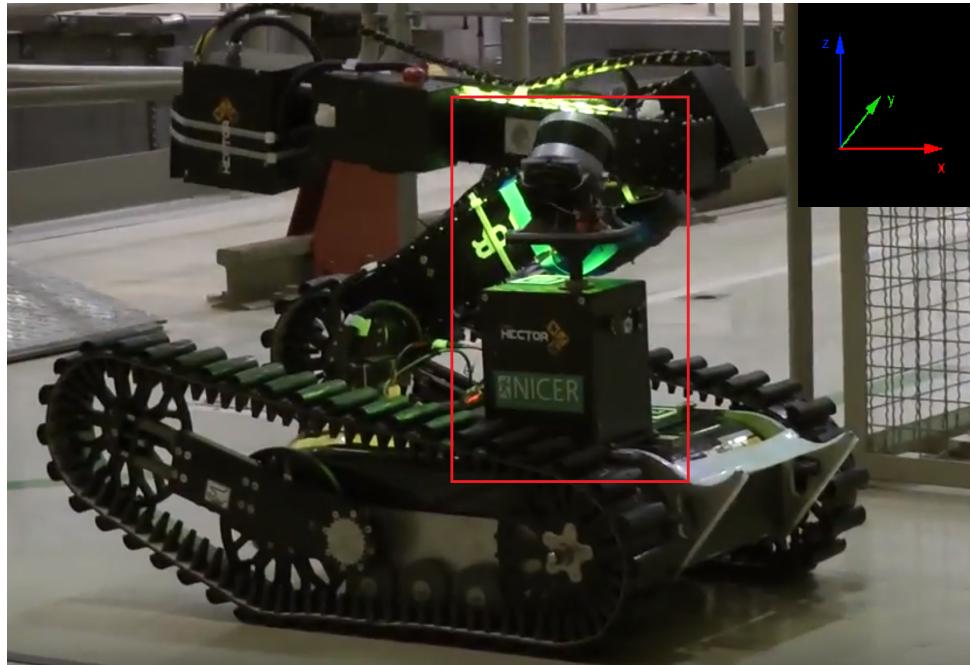


Abbildung 2.7: Roboter des Team Hector an der EnRich  
[LiD16]

### 2.2.3 Schlussfolgerung

An der EnRich nahmen insgesamt 11 Teams teil. Dabei nutzen mehrere Teams den Velodyne VLP-16 mit unterschiedlichen Konfigurationen. Die zwei betrachteten Konfigurationen nutzen die Möglichkeit einer endlos drehenden mechanischen Konstruktion. im Abschnitt 2.5 werden mögliche Antriebsmöglichkeiten evaluiert.

## 2.3 Software

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

### 2.3.1 ROS Robot Operating System

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

### 2.3.2 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 2.8: 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 2.4 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 zum Teil inoffizielle 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 True läuft. 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

### 2.3.3 Point Cloud Library

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

Ein wesentlicher Vorteil dieser Programmzbibliothek ist die Integration in ROS.

### 2.3.4 Wireshark

evlt

### 2.3.5 Onshape

evlt

## 2.4 Datenverarbeitung

Um die Datenmenge zu verarbeiten und die Ansteuerung der Komponenten zu realisieren eignen sich Einplatinencomputer. In diesem Zusammenhang werden nachfolgend diverse Einplatinencomputer betrachtet. Kriterien bei der Auswahl eines geeigneten Boards sind Prozessorleistung, Preis, Ethernet-Schnittstelle, Speichermöglichkeit, GPIO Verfügbarkeit und die verbaubare Dimension.

### 2.4.1 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 System-on-a-Chip (SOC) und ist mit einem ARM Cortex A7 bzw. A53 Prozessor mit vier Kernen

ausgestattet. Die Taktfrequenz liegt bei diesen lediglich bei 1.2 GHz. Beide Modelle besitzen 1 GB RAM. Das Betriebssystem wird auf einer Secure Disk Memory Card (SD)-Card gebootet.

Ergänzung  
erkennt-  
nisse

### 2.4.2 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, der mit 1.8 GHz taktet. Neben USB-Anschlüssen bietet es eine SATA-USB-Schnittstelle, die den internen 8 GB embedded Multimedia Card (eMMC)-Speicher um bis zu 2 TB erweitern lässt. Es bietet auch direkt integrierte WLAN-Schnittstellen, 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. In Zusammenhang mit Ubuntu

### 2.4.3 Odroid C2 & XU4

In diversen Literaturen (siehe [Jos17] Kapitel 4) werden neben dem Raspberry Pi, Odroid Boards als empfohlene Einplatinencomputer aufgelistet. Dabei stehen die aktuelle Modelle Odroid-C2 oder Odroid-XU4 zur Verfügung. Sie bieten eine höhere Prozessorleistung, 1.5 GHz bzw. 2 GHz mit je 2 Gigabyte Random Access Memory (RAM). Betriebssysteme können via SD oder eMMC gebootet werden. 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.

### 2.4.4 Lattepanda

Der Lattepanda Einplatinencomputer unterscheidet sich wesentlich von den bisherig betrachteten Boards. Der Prozessor arbeitet nicht mit ARM-Architektur, sondern mit Amd64-Architektur. Somit können Ubuntu und ROS Distributionen voll umfänglich genutzt werden. Der Intel Atom ist ein vier kerniger Prozessor und taktet mit 1.84 GHz. Zusätzlich

bietet es einen separaten 500 MHz Grafikprozessor (GPU) und 4 GB RAM. Es bietet neben USB, RJ45 auch einen ATMmega 32u4 Coprozessor, mit welchem 20 GPIO headers angesteuert werden können. der Preis eines Lattepanda kostet je nach Ausführung zwischen 130 -180 Fr.

### 2.4.5 Up Board Squared

Das Up Board Square arbeitet wie das Lattepanda mit einer Amd64-Architektur

## 2.5 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. Anderseits muss die Möglichkeit bestehen die Winkeländerung zu eruieren.

### 2.5.1 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 Schrittmotorentreiber. 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.

### 2.5.2 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 Gleichstrommotoren 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, die aktuelle Drehrichtung und die Drehzahl zu ermitteln. Um dies zu ermöglichen, braucht es zusätzlich einen Vierquadrantensteller (H-Brücke), sowie eine Sensorlogik, damit der Sensor mittels Pulsweitenmodulation (PWM) angesteuert werden kann. Im Preissegment bis 40 Fr. gibt es leistungsfähige Gleichstrommotoren für den Anwendungsbereich.

## 2.6 Speisung und Verkabelung

### 2.6.1 Abwärtswandler

Der Abwärtswandler D24V50F5 von Pololu eignet sich sehr gut für die Stromversorgung von Einplatinencomputer. Er bietet eine stabile 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 2.9 hervor, die aus dem Datenblatt des Abwärtswandler entstammen.

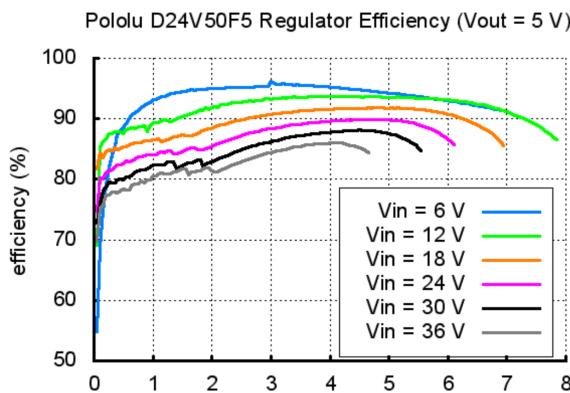


Abbildung 2.9: Wirkungsgrad D24V50F5 [D24V50F5]

## 2.6.2 Schleifring

Damit Kabel durch eine endlos drehende Vorrichtung geführt werden können, benötigt es einen Schleifring. Da vermehrt nicht nur Speisung, sondern auch Datenübertragung über Schleifringe geführt werden, wächst dieses Sortiment stetig. Es gibt bereits einige Hersteller aus dem amerikanischen und asiatischen Markt, welche Gigabit-Ethernet Schleifringe vertreiben. Ein Ethernet-Schleifring, der zusätzlich Leistungsübertragung bis 5A zulässt kostet nach Abklärungen bei diversen Herstellern zwischen 120 - 500 Fr.

## 2.7 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.

# 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 2.1.2 erläutert, einen begrenzten vertikalen Öffnungswinkel besitzt, wurde bei den folgenden Konzepten die Möglichkeit eines beweglichen Moduls geprüft. Durch eine grösseren Öffnungswinkel kann während der Bewegung der Raum besser ausgeleuchtet werden. 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

### 3.2 Variante 1: Plattform

Die Variante 1: Plattform ist in der Skizze in Abbildung 3.1 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 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.

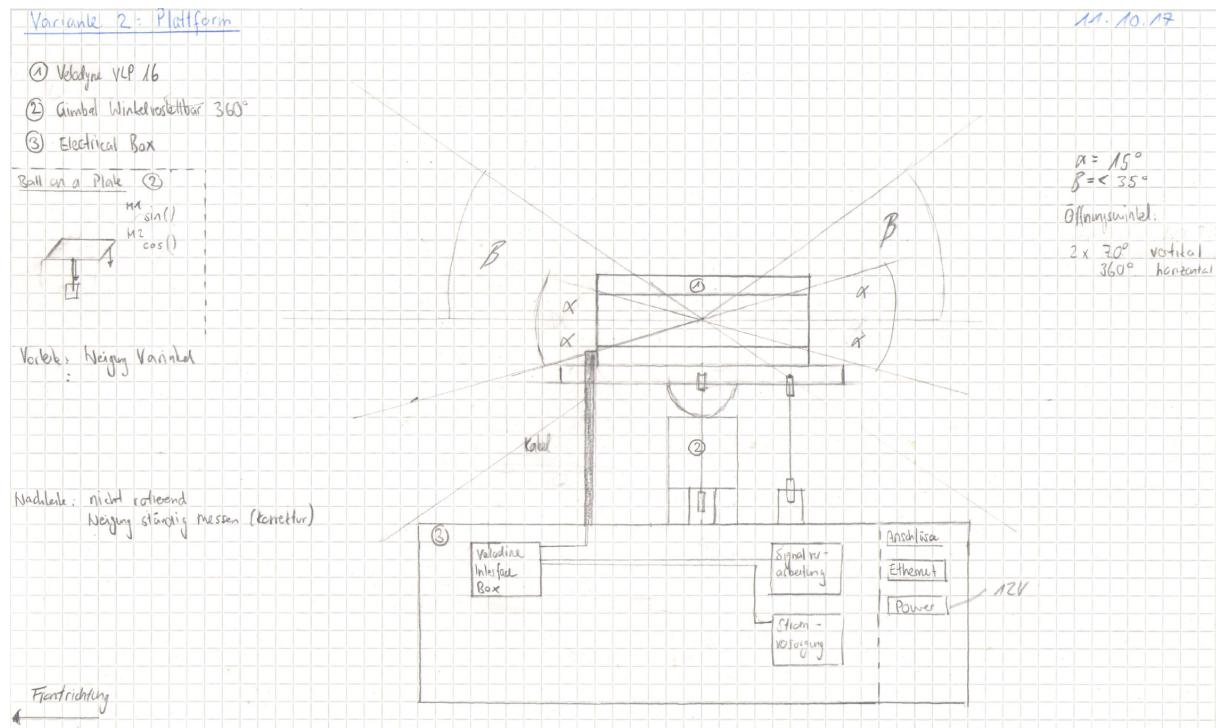


Abbildung 3.1: Skizze Variante 1

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 3.2 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.

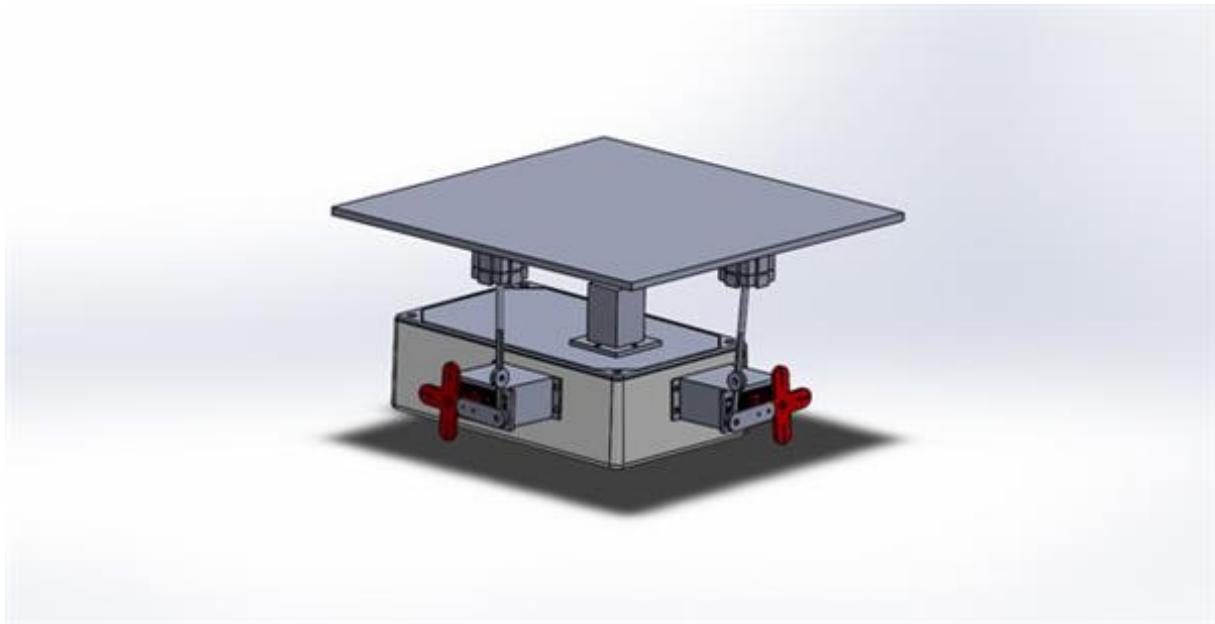


Abbildung 3.2: Ball on a Plate CAD [Ben15]

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 im wesentlichen bei der mechanischen Begrenzung.

Hauptproblematik bei dieser Konzeption ist die zusätzlich nötige Sensorik. Durch die Neigung der Plattform kann ohne zusätzliche Sensorik nicht auf die Transformationsebenen zurück geschlossen werden. Dies erschwert die Visualisierung der 3D-Laserscanner Messdaten. Die Plattform müsste mittels einer eigenen Inertiale Messeinheit (IMU), welche aus Gyrosensor, Accelerometer und Magnetometer besteht, erweitert werden. Zusätzlich ist die Realisierung der Konzeption sehr stark abhängig von den mechanischen Komponenten, da die Verbindungsstifte von Servomotor und Grundplatte die Winkeländerung festlegen.

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

ZEIT

### 3.3 Variante 2: Turm stationär

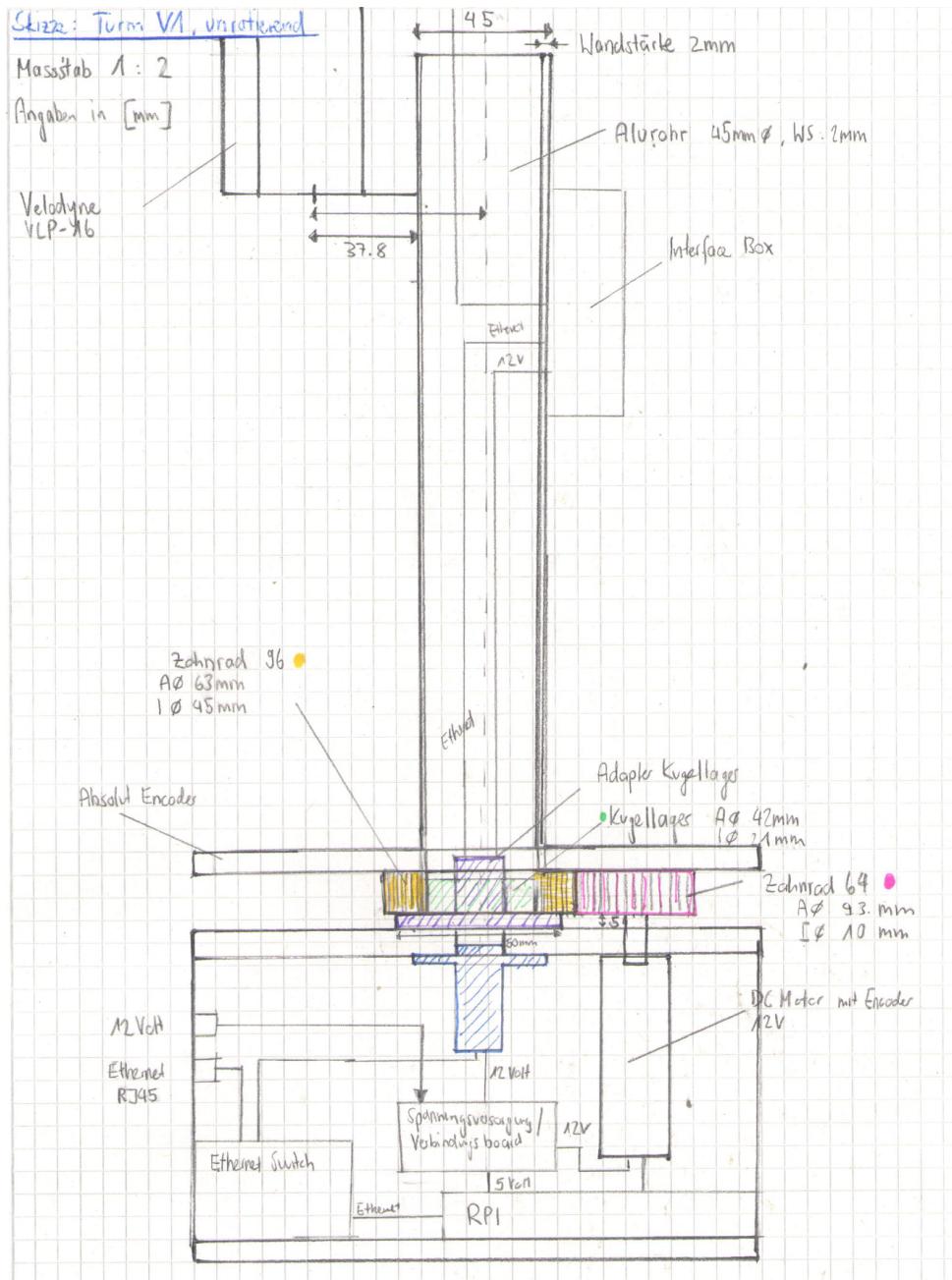


Abbildung 3.3: Skizze Variante 2

Das zweite Konzept ist eine Turmartige Konstruktion, die in Abbildung 3.3 dargestellt ist. Die Idee dazu lieferte das TEAM IMM an der ENRICH! (ENRICH!) 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, dass sich der Turm endlos drehen lässt. Diese Konfiguration verbessert die Problematik des Velodyne, welche in 2.1.2 erläutert ist. Durch die interne Rotation des VLP-16 kann ein Raum in dieser Konfiguration die Vertikale grösstmöglich auflösen. Die Horizontale Abdeckung liegt nur bei  $2 * 30$  Grad, doch durch die zusätzliche Rotierung des Moduls kann durch eine 180 Grad Drehung eine komplette Raumwahrnehmung entstehen.

In dieser Konfiguration wird der VLP-16 mit einem Gleichstrommotor, der über zwei Zahnräder mit dem Alurohr verbunden ist, gedreht. Der untere Teil des Moduls, in dem sich die Datenverarbeitung befindet, ist stationär. Mittels einem Adapter, an dem ein Kugellager befestigt ist, kann ein möglichst geringe Reibung erzielt werden.

Die gesamte Datenverarbeitung und Ansteuerung wird im stationären Teil getätigter. Die Kabelverbindung des VLP-16 wird über einen Schleifring nach unten geführt.

Nachteil dieser Konfiguration ist, dass es schlecht erweiterbar ist. Da der Schleifring begrenzte Kabeldurchführungen besitzt können keine weiteren Komponenten wie beispielsweise die 3D Kamera Theta hinzugefügt werden. Ein weiterer Nachteil ist die Problematik, wenn die Rotationsgeschwindigkeit des Turm auf mehrere Umdrehungen pro Sekunde ansteigt. Es können fehlerhafte Messresultate beim VLP-16 entstehen, daher muss die Drehgeschwindigkeit des Turms verhältnismässig langsam gegenüber der Drehgeschwindigkeit VLP-16 sein.

### 3.4 Variante 3: Turm rotierend

Das dritte Konzept ist wiederum eine Turmartige Konstruktion. Eine Skizze ist in Abbildung 3.4 ersichtlich. Es handelt sich hier um eine abgeänderte Version von Variante 2. Dabei befindet sich der Velodyne VLP-16 erneut abgesetzt von den elektrischen Komponenten in der Höhe. Die wesentlichste Änderung liegt darin, dass nun auch die Datenverarbeitung im unteren Teil mitdreht. Dies wurde ermöglicht indem alle mechanischen Drehkomponenten und der DC Motor umgedreht wurden. Somit kann das Problem der Erweiterbarkeit des vorherigen Konzepts gelöst werden. Die gesamte Elektronik und Sensorik dreht nun mit. Lediglich die Schnittstellen Ethernet und 12 Volt Speisung führen über den Schleifring

zum Packpot. Für diese Konfiguration wird lediglich ein Alusockel benötigt, welche das Alurohr mit dem Gehäuse verbindet.

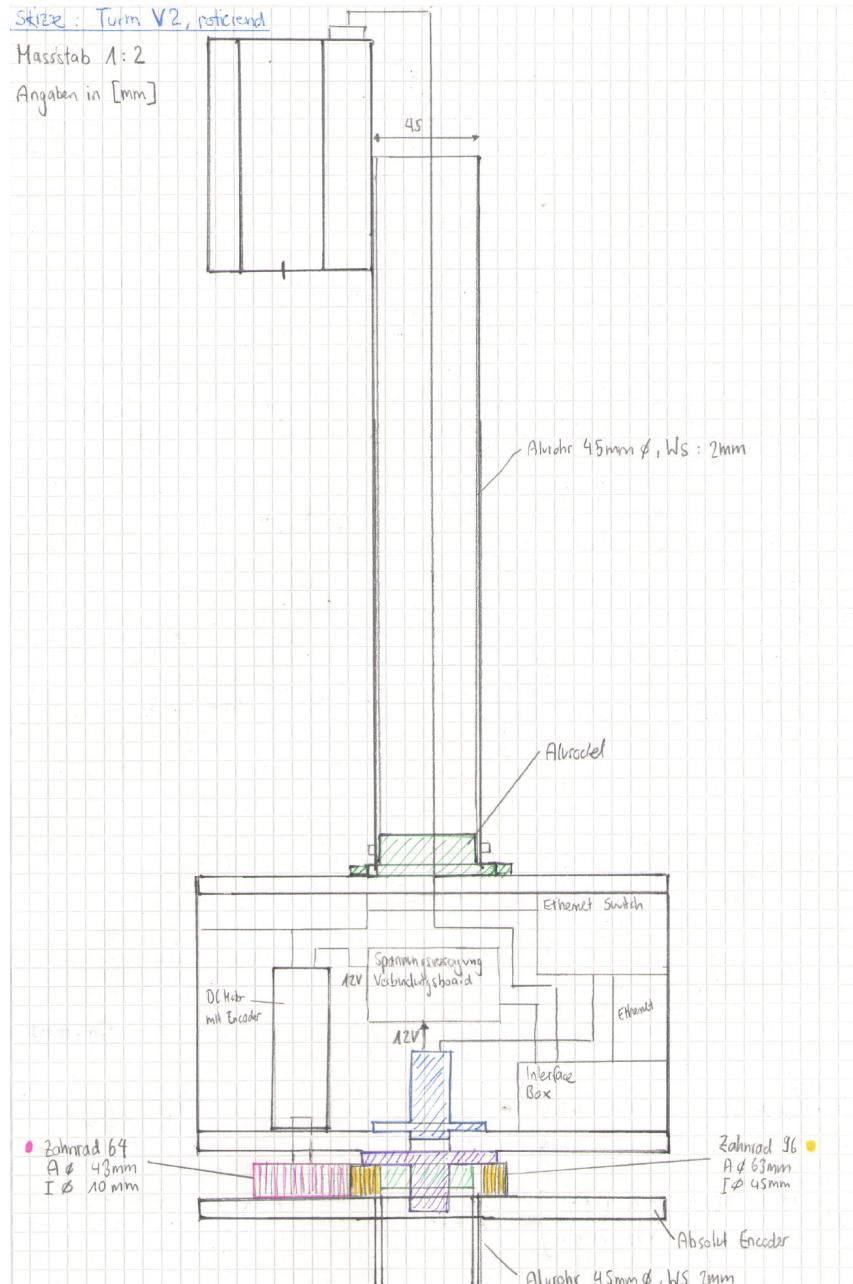


Abbildung 3.4: Skizze Variante 3

### **3.5 ausgewählte Komponenten**

### **3.6 Zwischenfazit**

# Kapitel 4

## Realisierung

Dieses Kapitel beschreibt die Realisierung des Prototyps. Der Prototyp ist eine überarbeitete Version der Konzeptvariante 3 , siehe 3.4. Es mussten Änderungen in den Dimensionen durchgeführt werden, diese werden im Unterkapitel 4.2.1 erläutert.

### 4.1 Produkt

### 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	messbarer Bereich . . . . .	4
2.2	Laserstrahlen des Velodyne VLP-16 . . . . .	5
2.3	Anschluss und Kabelbelegung . . . . .	6
2.4	Ansicht auf die Interfacebox . . . . .	6
2.5	Aufbau Datenpaket . . . . .	7
2.6	Roboter des Team IMM EnRich . . . . .	8
2.7	Roboter des Team Hector EnRich . . . . .	9
2.8	aktuelle Distributionen von ROS . . . . .	11
2.9	Wirkungsgrad D24V50F5 . . . . .	16
3.1	Skizze Variante 1 . . . . .	18
3.2	Ball on a Plate CAD [Ben15] . . . . .	19
3.3	Skizze Variante 2 . . . . .	20
3.4	Skizze Variante 3 . . . . .	22

# Tabellenverzeichnis

# Quelltextverzeichnis

# Glossar

BLAM	Berkeley Localization And Mapping ist ein Open-Source Softwarepaket für LiDAR-basierte Echtzeit 3D
BSD	Berkley Software Distribution frei verwendbare Lizenz, auch als Vorlage für kommerzielle Produkte
eMMC	embedded Multimedia Card Digitales Speichermedium, das nach dem Prinzip der Flash Speicherung arbeitet
EnRich	European Robotic Hackathon weltweit erste und einzige Robotik Wettbewerb mit realen Szenarios
GPS	Global Positioning System globales Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung
GPU	Grafikprozessor spezialisierter Prozessor für Graphikanwendungen
IMU	Inertiale Messeinheit ist eine Kombination mehrerer Inertialsensoren wie Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren.
LIDAR	Light Detection And Ranging Verfahren zur optischen Distanzmessung
PWM	Pulsweitenmodulation Verfahren
RAM	Random Access Memory Verfahren

ROS	Robot Operating System Verfahren
SD	Secure Disk Memory Card digitales Speichermedium, das nach dem Prinzip der Flash-Speicherung arbeitet
SLAM	Simultaneous Localisation and Mapping Verfahren
SOC	System-on-a-Chip Integration der Funktionen eines programmierbaren elektronischen Systems auf einem Chip
UDP	User Data Protocol verbindungsloses Netzwerkprotokoll zur Versendung von Datagrammen von IP-basierten Rechnernetzen

# 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>.

# 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](http://www.3ders.org/articles/20151213-students-3d-printed-balancing-device-is-a-whole-new-ball-game.html) (besucht am 06.10.2017).
- [CO05] HOKUYO AUTOMATIC CO. *Rangefinder Type Laser Scannner URG-04LX Specifications.* Juli 2005. URL: <https://www.hokuyo-aut.jp/search/single.php?serial=165> (besucht am 04.10.2017).
- [LiD16] Velodyne LiDAR. *VLP-16 Manual.* März 2016. URL: <http://velodynelidar.com/vlp-16.html> (besucht am 28.09.2017).

# Anhang A

# **Anhang B**

**B.1 Diagramm**

**B.2 Tabelle**

**B.3 Screenshot**

**B.4 Graph**