



Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik und Informationstechnik

Studiengang Elektronische und Mechatronische Systeme (M. Eng.)

Projektarbeit von

Feichtenbeiner, Oliver 3258450
Haag, Hannes 3240935
Nguekeng Tsague, Herman 3267110
Preidt, Patrick 3249910

Aufbau einer neuen optimierten Roboterplattform für den RoboCup at Work

Wintersemester 2022/2023

Abgabedatum: 01. Mai 2023

Betreuer:

Prof. Dr. Stefan May
M. Sc. Marco Masannek
M. Eng. Johannes Vollet

Schlagworte: Roboter, Mobile Robotik, Hardwareentwicklung, CAD

Kurzfassung

Das Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung einer optimierten Roboterplattform für die Teilnahme an der RoboCup@Work-Liga. Vier Arbeitspakete werden durchgeführt, um dieses Ziel zu erreichen. Im ersten Arbeitspaket wird die Rechnerplattform der Plattform aufgebaut und eine vorhandene Version aus eloxierten Metallplatten und Aluminiumprofil-Schienen analysiert. Außerdem werden Halterungen für die Peripheriegeräte erstellt und das benutzerdefinierte PC-Gehäuse neugestaltet. Im zweiten Arbeitspaket werden die Sensoren und Aktoren analysiert und eine Sensor- und Aktorplanung durchgeführt, um eine effektive Abdeckung toter Winkel zu gewährleisten. Im dritten Arbeitspaket wird das Strommanagement analysiert und ein elektrischer Schaltplan erstellt, um ein sicheres und effizientes Laden und Verwenden einer externen Stromquelle zu ermöglichen. Schließlich wird im vierten Arbeitspaket die Kommunikations- und Computing-Peripheriegeräte analysiert und ein Kommunikationsplan erstellt, um eine zuverlässige und stabile Kommunikation zwischen dem Roboter und der Steuerungseinheit zu gewährleisten.

Abstract

The aim of this project is to develop an optimized robot platform for participation in the RoboCup@Work league. To achieve this goal, four work packages are carried out. In work package 1, the computer platform of the platform is built, and an existing version made of anodized metal plates and aluminum profile rails is analyzed. Additionally, brackets for peripheral devices are created, and the custom PC housing is redesigned. In work package 2, sensors and actuators are analyzed, and a sensor and actuator planning are conducted to ensure effective coverage of blind spots. In work package 3, power management is analyzed, and an electrical circuit diagram is created to allow safe and efficient charging and use of an external power source. Finally, in work package 4, communication and computing peripherals are analyzed, and a communication plan is developed to ensure reliable and stable communication between the robot and the control unit.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VI
Formelverzeichnis.....	VII
1 Einleitung und Aufgabenstellung	1
2 Arbeitspaket 1 – Oberdeck.....	2
2.1 Analyse und Vergleich der betrachteten Roboterarme	2
2.1.1 Eigenschaften der Roboterarme.....	2
2.1.2 Schwerpunktabschätzung für die Roboterarme	4
2.2 Befestigung des Arms am Oberdeck der Roboterplattform	11
2.3 PC-Gehäuse	12
2.4 Operator-Block im Oberdeck	16
3 Arbeitspaket 2 – Sensorik.....	19
3.1 Sensorikkonzept	19
3.2 Sensorhalterungen	19
4 Arbeitspaket 3 – Spannungsversorgung	22
4.1 Schaltplan und Verbraucher	22
4.1.1 Fahrwerk	22
4.1.2 Oberdeck.....	24
4.2 Netzteil für den Steuercomputer	26
4.3 Platzierung des Akkus im Fahrgestell.....	27
4.4 Messplatine.....	33
4.4.1 Topologie.....	33
4.4.2 Hotplug-System	34
4.4.3 Messen und Schalten	35
4.4.4 Spannungswandlung	38
4.4.5 Microcontroller	40
4.4.6 Konnektivität, Buchsen und Sicherungen	41

4.4.7	Platinendesign.....	43
4.5	Verteilerplatine.....	45
4.6	Platine für Display	46
4.7	Gehäuse der Messplatine und der Verteilerplatine	48
4.7.1	Gehäuse der Messplatine	48
4.7.2	Gehäuse der Verteilerplatine	49
5	Arbeitspaket 4 – Kommunikation	51
5.1	Analyse der bisherigen Peripheriegeräte für Kommunikation und Datenverarbeitung des alten OhmniBot	51
5.1.1	Datenverarbeitung OhmniBot.....	51
5.1.2	Externe Kommunikation OhmniBot.....	52
5.1.3	Interne Kommunikation OhmniBot.....	53
5.2	Peripheriegeräte für Kommunikation und Datenverarbeitung der neuen Roboterplattform	53
5.2.1	Kommunikationsplan der neuen Roboterplattform	54
5.2.2	Datenverarbeitung	55
5.2.3	Externe Kommunikation.....	61
5.2.4	Interne Kommunikation.....	65
6	Gesamtübersicht.....	71
7	Zusammenfassung und Ausblick	75
	Literaturverzeichnis	76
	Abbildungsverzeichnis	78
	Tabellenverzeichnis	83
	Digitaler Anhang.....	84

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Akku	Akkumulator
ATX	Advanced Technology Extended
BMS	Batteriemanagementsystem
CAD	Computer Aided Design
CPU	Central Processing Unit
DDR4	Double Data Rate Fourth
GDDR6	Graphics Double Data Rate Six
GFLOPS	Giga Floating Point Operations Per Second
HDMI	High Definition Multimedia Interface
ITX	Information Technology Extended
LAN	Local Area Network
LED	Licht emittierende Diode
PCIe	Peripheral Component Interconnect Express
PSU	Power Supply Unit
RGB	Rot/Grün/Blau-Farbraum
SSD	Solid State Drive
TCP	Tool Center Point
TFLOPS	Tera Floating Point Operations Per Second
USB	Universal Serial Bus
VRM	Voltage Regulator Module
WLAN	Wireless Local Area Network

Formelverzeichnis

Einheit	Bedeutung
V	Volt
A	Ampere
dBi	Antennengewinn
Hz	Hertz
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
W	Watt

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Es soll die bestehende Roboterplattform des RoboCup-Teams in der Kategorie @Work überarbeitet werden. Dazu ist die aktuelle Hardware zu analysieren. Dies umfasst das Erstellen eines Schalt- und Kommunikationsplan sowie das Erzeugen eines vollständigen CAD-Modells. In zweiter Instanz sind Änderungen entsprechend des gewünschten zukünftigen Zustandes der Roboterplattform vorzunehmen.

Es ist unter anderem geplant einen sechsachsigen Roboterarm der Firma Neura des Modells “LARA” einzusetzen, welcher damit den bisherigen Roboterarm ersetzt. Eine damit verbundene Aufgabe besteht darin, die mechanische Schnittstelle zu diesem neuen Arm bereitzustellen. Im Zuge dieser Umgestaltung ist das Spannungslevel des Akkus von 24 Volt auf 48 Volt anzuheben, da der neue Roboterarm eine Betriebsspannung von 48 Volt besitzt. Daraus ergibt sich die Anforderung, mit passenden Komponenten eine neue Spannungsversorgung und Bordelektronik aufzubauen, da sich das bisherige Konzept aufgrund des neuen Spannungslevels als nicht mehr passend herausstellt.

Weiterhin ist das Sensorkonzept zu überarbeiten. Bei der aktuellen Roboterplattform sind drei 360°-Laserscanner im Einsatz. Davon soll ein einziger Laserscanner zentral auf der Unterseite verbleiben, wodurch die verbleibenden Schatten, welche von den vier Rädern geworfen werden durch andere Sensorik zu kompensieren sind. Die Aufgabe besteht nicht darin, diese Sensorik auszuwählen, sondern lediglich mechanisch und elektronisch mit einzubinden sowie eine verstellbare Montagemöglichkeit für den Laserscanner zu entwerfen und anzufertigen.

Im Zuge der Neugestaltung der Roboterplattform sind die Komponenten für einen neuen Hauptrechner innerhalb der Plattform auszuwählen und dieser ist aufzubauen. Hier ist es wichtig, einen kleinen Formfaktor zu wahren und diesen an die Anforderungen anzupassen. Weiterhin ist für den Rechner ein neues Gehäuse zu entwerfen. Weiterhin ist angedacht, für alle verbauten Komponenten eine Halterung oder ein Gehäuse zu konstruieren, um diese fest zu verbauen.

2 Arbeitspaket 1 – Oberdeck

Das erste Arbeitspaket beschäftigt sich mit dem Entwurf des Oberdecks des Roboters. In diesem Kapitel wird auf die Konstruktion des Oberdecks, seine Komponenten, Schnittstellen und den Roboterarm eingegangen.

2.1 Analyse und Vergleich der betrachteten Roboterarme

In diesem Kapitel wird auf die grundlegenden Eigenschaften der betrachteten Roboterarme eingegangen und die Arme vergleichend gegenübergestellt. Des Weiteren wird eine Schwerpunktabschätzung durchgeführt und bewertet, ob es durch den Roboterarm zu einem Kippen des Roboters kommen kann.

2.1.1 Eigenschaften der Roboterarme

Eine große Änderung an der neuen Roboterplattform, ist der verwendete Roboterarm. Die bisherige Eigenkonstruktion des Armes soll nun durch einen professionellen Roboterarm des Herstellers NEURA Robotics GmbH ersetzt werden. Mit der Baureihe „LARA“ (Lightweight Agile Robotic Assistant) bietet der Hersteller unterschiedlich große Arme mit sechs Freiheitsgraden an (siehe Abbildung 1). Die Größe der Arme beeinflusst hierbei besonders die Traglast, die von 3 kg in der kleinsten Ausführung bis zu 15 kg in der größten Ausführung reicht [1]. Aus der Baureihe wurden die Arme LARA 3 und LARA 5 in die nähere Auswahl für den Einsatz mit der Roboterplattform in Betracht gezogen, da nur diese eine annehmbare Größe für den Anwendungsfall besitzen. Die wichtigsten technischen Daten und Spezifikationen der beiden Arme sind in Tabelle 1 zusammengestellt.



Abbildung 1: Produktbild eines Roboterarms der Baureihe LARA [1]

Tabelle 1: Technische Daten und Spezifikationen der Roboterarme LARA 3 und LARA 5 [1]

Spezifikationen	LARA 3	LARA 5
Traglast	3 kg	5 kg
Gewicht	17 kg	26 kg
Reichweite	590 mm	800 mm
Durchmesser Basis	156 mm	156 mm
Verbindungstyp	M12 12-pole	M12 12-pole
IP Schutzklasse	IP66	IP66
Zulässige Umgebungstemperatur	0 °C – 50 °C	0 °C – 50 °C
Arbeitsraum der Achsen		
Achse 1	± 360°	± 360°
Achse 2	± 135°	± 135°
Achse 3	± 155°	± 155°
Achse 4	± 360°	± 360°
Achse 5	± 180°	± 180°
Achse 6	± 360°	± 360°
Maximale Geschwindigkeit der Achsen 1-4	200°/s	200°/s
Maximale Geschwindigkeit der Achsen 5-6	220°/s	220°/s
Lochmuster am TCP-Flansch	DIN ISO 9409-1-50-4-M6	
GPIO am TCP-Flansch	3x digital in, 3x digital out, 2x analog in 24V 600mA	
I/O Stromversorgung am TCP-Flansch		
Elektrische Schnittstellen am TCP-Flansch	GPIO, Modbus RTU, 24V PSU	

Die beiden Arme ähneln sich in ihrer Ausführung sehr stark, wodurch sie nahezu ohne Änderungen an der Roboterplattform ausgetauscht werden können. Beide besitzen das gleiche Lochbild an der Basis und den gleichen TCP-Flansch (Tool Center Point) an der Spitze des Armes (siehe Abbildung 2). Auch in den Anschlusssteckern und den Bewegungswinkeln beziehungsweise den Geschwindigkeiten der Achsen unterscheiden sich die Arme nicht. Enorme Unterschiede bestehen jedoch in der Traglast und der Reichweite der Arme und das damit einhergehende Gewicht. So ist der LARA 5 um 9 kg schwerer als der LARA 3 für einen Traglastgewinn von 2 kg und eine Reichweitenerhöhung von 210 mm.

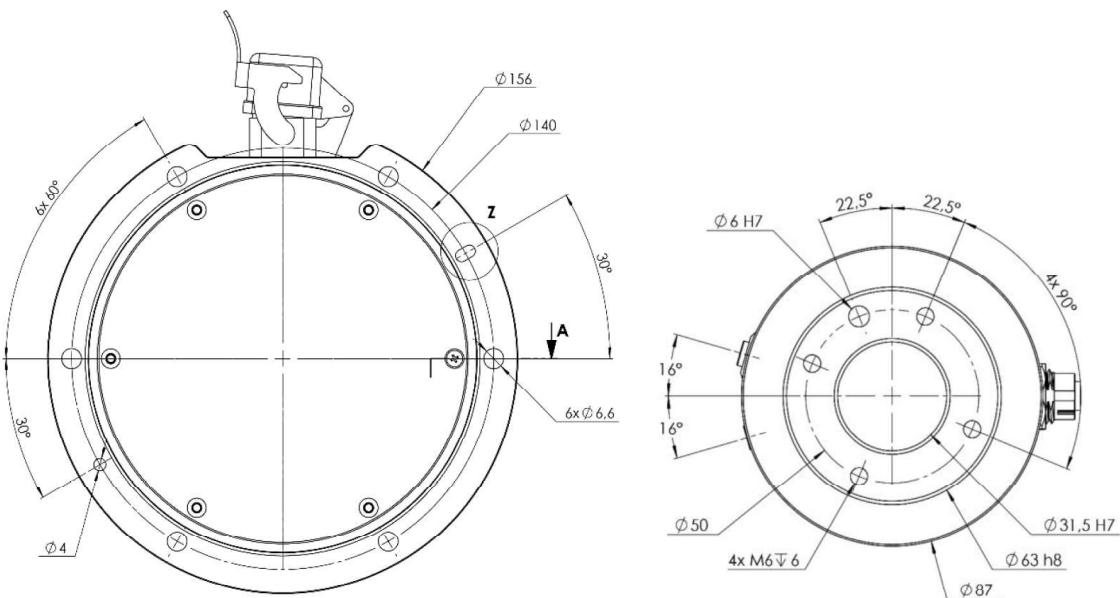


Abbildung 2: Lochbilder der Basis (links) und des TCP-Flansches (rechts) von LARA 3 und LARA 5 [1]

2.1.2 Schwerpunktabschätzung für die Roboterarme

Da das grundsätzliche Roboterkonzept vom Ohmnibot bei der neuen Roboterplattform übernommen wird, ist der Arm weit vorne an der Front des Roboters befestigt. Die dortige Positionierung und die hohe Reichweite der LARA-Baureihe bilden in Kombination einen kritischen Einfluss auf den Schwerpunkt der Roboterplattform. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel eine überschlägige Schwerpunktberechnung angestellt, um abschätzen zu können, ob der spätere Roboter in verschiedenen Armpositionen zu kippen droht oder nicht.

Die Abschätzung wird mittels des erstellten digitalen Zwillings des Roboters und der CAD-Software „Solidworks“ durchgeführt. Grundsätzlich ist zu beachten, dass es sich hierbei um eine Abschätzung handelt, die Annäherungen und Vereinfachungen enthält. Die erzeugten Ergebnisse können somit von der Realität abweichen. Zusätzlich kann mit der Abschätzung nur ein statischer Zustand untersucht werden. Die späteren dynamischen Bewegungsabläufe können die Gefahr des Kippens erhöhen. Dennoch können auf diese Weise Ergebnisse erzeugt werden, die einen fundierteren Entscheidungsprozess ermöglichen.

Bevor die Schwerpunktabschätzung durchgeführt werden konnte, musste das CAD-Modell des Roboters darauf vorbereitet werden. Hierzu wurden zunächst bei so vielen Komponenten wie möglich im CAD die korrekten Materialien definiert. Besonders wichtig waren hierbei große Komponenten, die einen großen Einfluss auf den Schwerpunkt haben. Je mehr Komponenten korrekt im CAD mit ihrem Material angegeben sind, desto genauer kann das Programm den Schwerpunkt bestimmen. Bei eigens konstruierten Bauteilen stellt dies kein großes Problem

dar, da man üblicherweise bereits beim Konstruieren weiß, aus welchem Material und auf welche Weise das Bauteil gefertigt werden wird. Bei Zukaufteilen stellt sich die Materialbestimmung teilweise als komplizierter heraus. Das beste Beispiel hierfür ist der Roboterarm. Sowohl für den LARA 3 als auch den LARA 5 Arm sind die CAD-Daten über einen Internethändler für Roboter verfügbar (siehe [2], [3]). Die Modelle der Arme besitzen jedoch keine Materialangaben und sind in einer sehr vereinfachten Ausführung dargestellt. Konkret heißt das, dass die CAD-Modelle keine internen Komponenten, sondern nur die Verkleidungselemente der einzelnen Sektionen der Arme besitzen, um die äußeren Dimensionen darzustellen. Des Weiteren wird bei Import der STEP-Datei nur ein statisches Modell erzeugt, welches keine Bewegungen der einzelnen Gelenke ermöglicht. Um die Vorbereitung des CAD-Modells für die Schwerpunktabschätzung abzuschließen, mussten diese beide Probleme gelöst werden.

Als erstes wurden aus den importierten STEP-Dateien der Arme die einzelnen Sektionen, aus welchen die Arme aufgebaut sind, als einzelne Bauteile abgespeichert. Anschließend wurden die Arme in einem neuen CAD-Modell Sektion für Sektion neu aufgebaut. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Verknüpfungsdefinitionen unter den einzelnen Sektionen so gestaltet sind, dass die Gelenke beweglich werden. Eine einfache Anpassung des Wertes eines Winkels ermöglicht nun eine Schwenkbewegung eines Gelenks im Modell. In Abbildung 3 ist ein Vergleich eines geraden und gewinkelten Gelenks gegeben. Abbildung 4 zeigt die dazu eingestellten Werte in Verknüpfungsoptionen. Der Winkelwert 180° stellt in diesem Fall das senkrecht gestellte Gelenk dar, während der Winkelwert 90° das horizontal gestellte Gelenk darstellt. Durch das neu erstellte CAD-Modell ist es nun möglich, den Arm in jede gewünschte Position zu stellen und so mögliche Armstellungen realistisch nachzubilden.



Abbildung 3: Gerades und gewinkeltes Gelenk im CAD-Modell

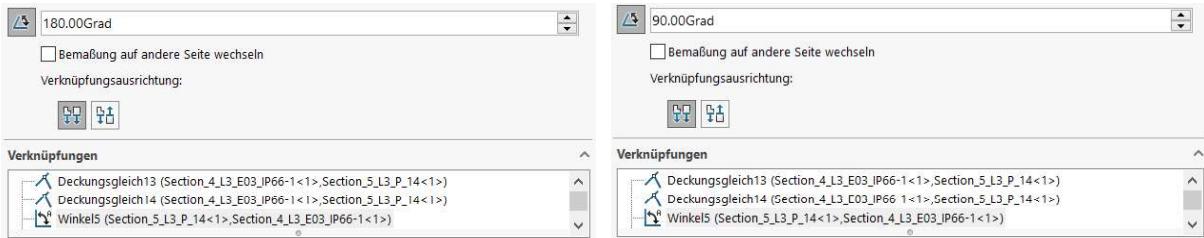


Abbildung 4: Werte für das gerade Gelenk (links) und das gewinkelte Gelenk (rechts)

Nachdem die Bewegungsfreiheit der Arme sichergestellt werden konnte, wurden die Materialdefinitionen der einzelnen Sektionen angepasst. Da nur die Außenhüllen der Arme modelliert sind, ist es nicht möglich die Materialien und somit das Gewicht der Armsektionen perfekt widerzuspiegeln. Um dennoch eine möglichst realistische Gewichtsverteilung im CAD zu simulieren, werden die einzelnen Sektionen jeweils mit unterschiedlichen Materialien definiert. So wurde erreicht, dass die Arme in ihrer Gesamtheit einen Massenschwerpunkt besitzen, der in einem realistischen Bereich liegen. Neben der Position des Schwerpunkts wurde auch darauf geachtet, dass die jeweiligen Modelle das im Datenblatt angegebene Gewicht besitzen. Um die Traglast an der Spitze des Arms zu simulieren, wurden die TCP-Flansche aus einem eigens erstellen Material definiert, dass eine unrealistische hohe Dichte besitzt. Auf diese Weise konnten die kleinen Flansche eine extreme Masse erreichen, die der jeweiligen Traglast entspricht. In Tabelle 2 ist eine Übersicht über die Materialdefinitionen der Arme LARA 3 und LARA 5 gegeben, die eigens für die Schwerpunktberechnung vorgenommen wurden. Aus Tabelle 2 ist zu erkennen, dass die Gesamtgewichte der Arme jeweils etwas über dem Gewicht aus dem Datenblatt (siehe Tabelle 1) liegt. Die Abweichung vom Originalgewicht kann als kleine Sicherheit in der Schwerpunktabschätzung gesehen werden, da diese in den betrachteten Worst-Case Szenarios, den Einfluss des Arms erhöht und somit ein späteres Kippen des realen Roboters verringert.

Tabelle 2: Materialdefinitionen und Gewichte der Arme LARA 3 und LARA 5

	Materialname	Dichte [kg/m ³]	Gewicht [g]
		LARA 3	
Basis	EN-AW 1200	2700	1144
Sektion 1	EN-AW 1200	2700	2888
Sektion 2	11SMn30	7800	4900
Sektion 3	11SMn30	7800	5974
Sektion 4	EN-AW 1200	2700	1146
Sektion 5	EN-AW 1200	2700	1530
Flansch	Dummy	30000	4213
		Gesamtgewicht	21794
		LARA 5	
Basis	EN-AW 1200	2700	1475
Sektion 1	EN-AW 1200	2700	4646
Sektion 2	11SMn30	7800	8636
Sektion 3	11SMn30	7800	8342
Sektion 4	EN-AW 1200	2700	1554
Sektion 5	EN-AW 1200	2700	1530
Flansch	Dummy	30000	6058
		Gesamtgewicht	32241

Nachdem das CAD-Modell des Roboters vorbereitet wurde, wird die Schwerpunktabschätzung für beide Arme separat durchgeführt. Das CAD-Programm errechnet hierbei sowohl den Gesamtmassenschwerpunkt des gesamten Roboters als auch die einzelnen Schwerpunkte der Baugruppen des Roboters. Die Schwerpunkte werden anschließend im CAD-Modell mittels eines speziellen Symbols angezeigt (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Symbol für den Gesamtmassenschwerpunkt (links) und den Schwerpunkt der Baugruppen (rechts) im CAD-Programm

In Abbildung 6 bis Abbildung 10 sind Vergleiche der CAD-Modelle des Roboters mit diversen Armstellungen der Roboterarme LARA 3 und LARA 5 dargestellt. Der LARA 3 wird hierbei immer in orange und der LARA 5 immer in blau hervorgehoben. Für den Überblick sind in den Abbildungen jeweils beide Schwerpunktarten enthalten. Im Folgenden wird auf jede Armstellung kurz eingegangen und das Risiko eines Kippens der Roboterplattform bewertet.

Ist der Arm wie in Abbildung 6 senkrecht nach oben gestreckt, liegt der Schwerpunkt bei beiden Armen zwischen der Vorder- und Hinterachse, jedoch deutlich über dem Deckel des Oberdecks. Besonders beim LARA 5 Arm liegt der Schwerpunkt sehr hoch. Dennoch wird das Risiko des Kippens als gering eingeschätzt.

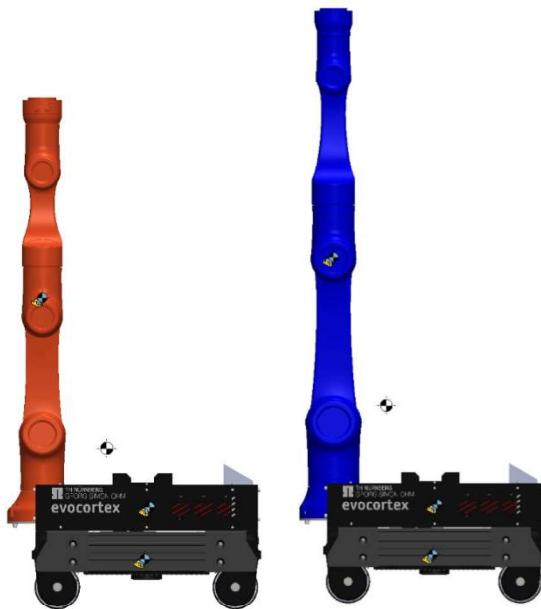


Abbildung 6: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach oben ausgestreckt“ für LARA 3 (links) und LARA 5 (rechts)

Ist der Arm wie in Abbildung 7 nach vorne ausgestreckt, liegt der Schwerpunkt an einer deutlich kritischeren Stelle. Beim LARA 3 Arm liegt der Schwerpunkt nahezu genau horizontal über der Vorderachse. Somit kann es bereits bei kleinen Einflüssen zu einem Kippen des Roboters kommen. Beim LARA 5 Arm liegt der Schwerpunkt deutlich vor der Vorderachse, wodurch der Roboter in dieser Armstellung sehr sicher nach vorne Kippen würde.

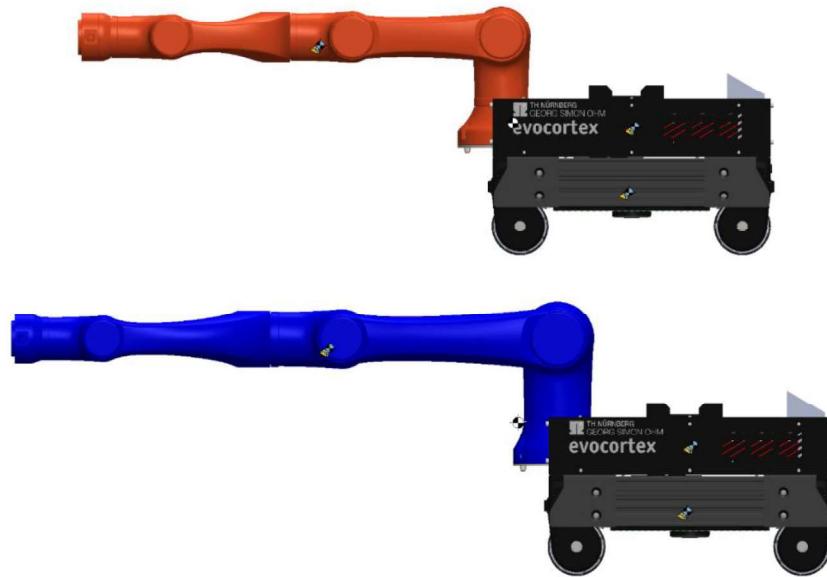


Abbildung 7: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach vorne ausgestreckt“ für LARA 3 (oben) und LARA 5 (unten)

Ist der Arm wie in Abbildung 8 nach links (aus der Fahrtrichtung betrachtet) ausgestreckt, zeigt sich für die beiden Arme unterschiedliche Ergebnisse. Während beim LARA 3 Arm der Schwerpunkt zwischen dem linken und dem rechten Achspaar liegt, liegt der Schwerpunkt beim LARA 5 Arm links (aus der Fahrtrichtung betrachtet) neben dem Achspaar. Es wird vermutet, dass es beim LARA 3 zu keinem Kippen der Roboterplattform kommt. Anders ist diese Vermutung jedoch beim LARA 5 Arm. Dieser wird in der gezeigten Armstellung vermutlich ein Kippen des Roboters auslösen.

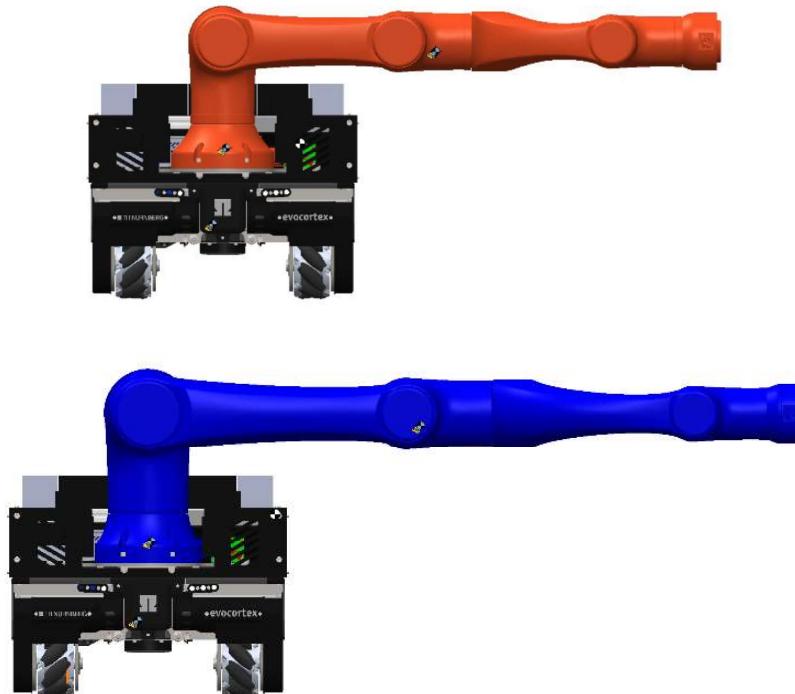


Abbildung 8: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach links ausgestreckt“ für LARA 3 (oben) und LARA 5 (unten)

Der Fall aus Abbildung 9 stellt genau die gespiegelte Armstellung aus Abbildung 8 dar. Vergleicht man beide Fälle, so liegen die Schwerpunkte jeweils nahezu genau an den, an der Mittelachse des Roboters, gespiegelten Positionen. Analog zum vorher behandelten Fall verhalten sich die Vermutungen. Mit dem LARA 5 kommt es zu einem Kippen, mit dem LARA 3 nicht.

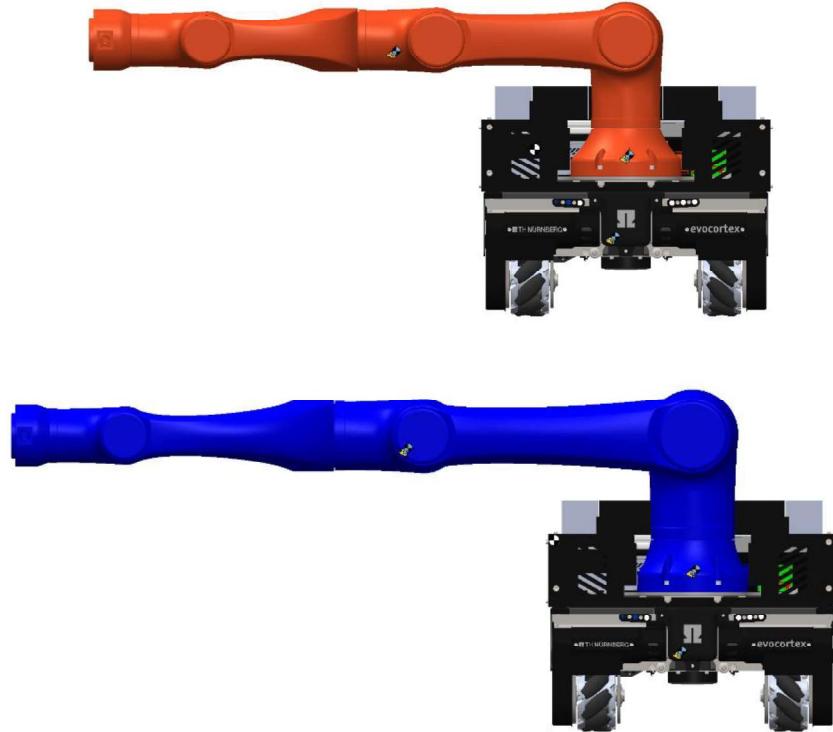


Abbildung 9: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach rechts ausgestreckt“ für LARA 3 (oben) und LARA 5 (unten)

Ist der Arm wie in Abbildung 10 nach hinten ausgestreckt, so liegt der Schwerpunkt für beide Arme zwischen der Vorder- und der Hinterachse. Im Vergleich zum ersten Fall aus Abbildung 6 liegt der Schwerpunkt jeweils jedoch deutlich tiefer, weshalb diese Armstellung als stabilste Position gesehen wird. Ein Kippen wird für beide Arme als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt.



Abbildung 10: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach hinten ausgestreckt“ für LARA 3 (links) und LARA 5 (rechts)

Wie bereits erwähnt, sind die dargestellten Schwerpunktabschätzungen im statischen Zustand des Roboters errechnet. Jede Einbringung von Dynamik kann dazu führen, dass der Roboter trotz einer zunächst günstigen Lage des Schwerpunkts, kippt. Betrachtet man die angebrachten Vergleiche, so kann grundsätzlich gesagt werden, dass der LARA 5 Arm als eher ungeeignet für den Einsatz auf dieser Roboterplattform zu sein scheint. Ist der Einsatz des LARA 5

unausweichlich, so muss dafür gesorgt werden, dass der Arm nicht in die kritischen Armpositionen, wie zum Beispiel „Nach vorne ausgestreckt“, gebracht wird. Ein möglicher Ansatz hierfür wäre, dass der Arm nur in einer bogenartigen Form nach vorne greifen darf, um den Schwerpunkt so nah wie möglich über beziehungsweise hinter der Vorderachse zu halten.

2.2 Befestigung des Arms am Oberdeck der Roboterplattform

Wie bereits in Tabelle 1 und Abbildung 2 aus dem vorherigen Kapitel dargestellt, besitzen die beiden Arme LARA 3 und LARA 5 ein einheitliches Lochbild an der Basis. Dadurch ist es möglich dieselbe Befestigungsplatte zu nutzen unabhängig davon, welcher der beiden Arme in Zukunft verbaut wird.

Aus Abbildung 11 und Abbildung 12 ist zu erkennen, dass das Grundkonzept der Befestigungsplatte vom bestehenden Ohmnibot übernommen wurde. Somit dient die Platte zum einen der Befestigung des Roboterarms und zum anderen als strukturelles Bauteil in der Bodenkonstruktion des Oberdecks (siehe Abbildung 13). Die Abmessungen des rechteckigen Abschnitts, die viereckig angeordneten Schraubenlöcher sowie die großen Durchgangslöcher in den Ecken bleiben unverändert.

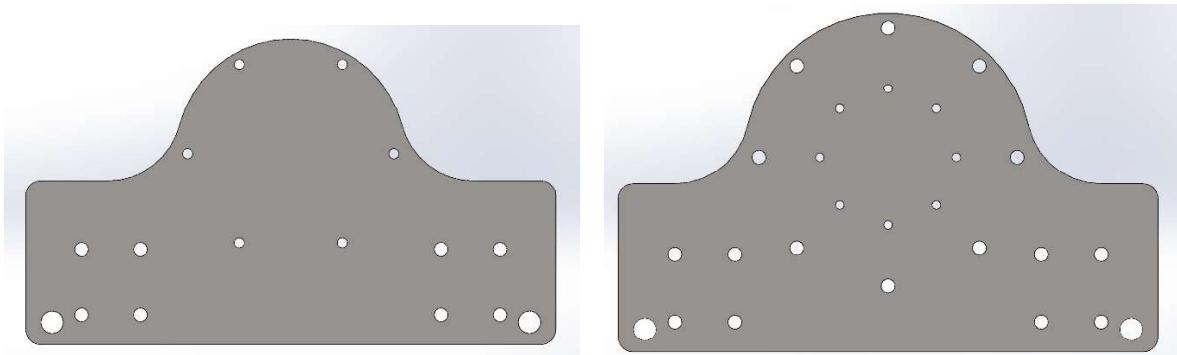


Abbildung 11: Neue (links) und alte (rechts) Befestigungsplatte für den Roboterarm

Deutlich erkennbar ist jedoch, dass die neue Befestigungsplatte nur noch einen Kreis an Schraubenlöchern und keine zwei mehr besitzt. Die verbleibenden Schraubenlöcher wurden an das Lochbilder der Basis der Roboterarme angepasst. Neben der Positionierung der Löcher, hat sich auch deren Größe verändert. Statt M8-Schrauben werden nun M6-Schrauben zur Befestigung genutzt, weshalb die Löcher selbst einen deutlich geringeren Durchmesser besitzen. Eine weitere Änderung ist, dass der Radius des kreisförmigen Abschnitts an den Radius der Armbasis angepasst wurde. Während der alte Roboterarm einen Radius von 96 mm erforderte, benötigt der neue Arm nur einen Radius von 78 mm, um bündig mit der Basis abzuschließen. Diese Änderung ist besonders in Abbildung 12 gut erkennbar.

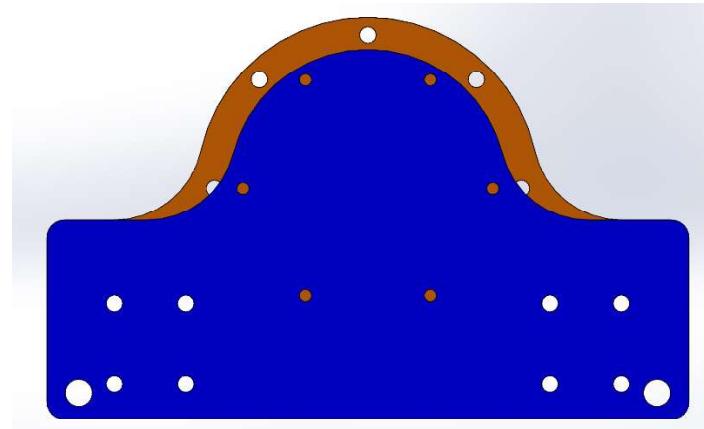


Abbildung 12: Vergleich der CAD-Modelle der neuen (blau) und alten (orange) Befestigungsplatte

Da die Befestigungsplatte sehr stabil sein muss, sollte sie aus Stahl gefertigt werden. Ein nichtrostender Stahl wäre hierbei vorteilhaft, um Rost und Verunreinigungen über die Zeit zu vermeiden. Abbildung 13 zeigt die Befestigungsplatte eingebaut im CAD-Modell des Oberdecks.

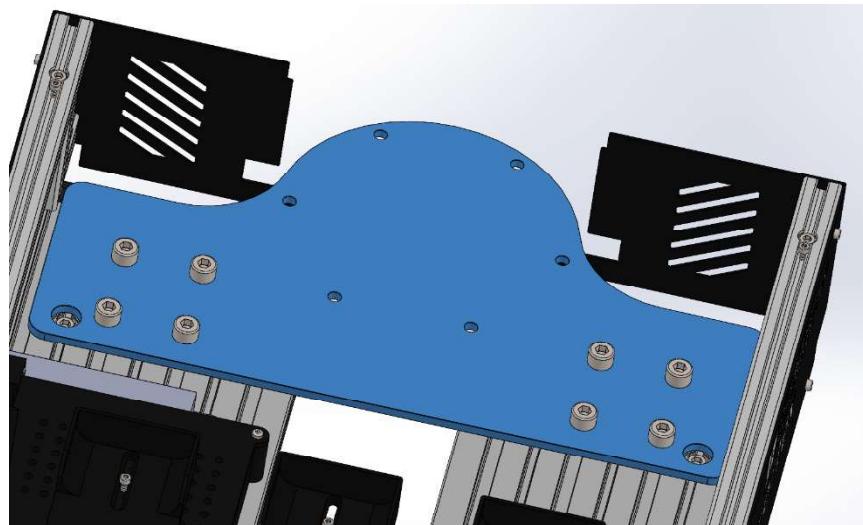


Abbildung 13: Eingebaute Befestigungsplatte im CAD-Modell des Oberdecks

2.3 PC-Gehäuse

Für den alten Roboter wurden Aluminiumteile (siehe Abbildung 14) zur Konstruktion des PC-Gehäuses verwendet. Diese ließen sich einfach biegen, weshalb das Gehäuse in zwei Teilen so hergestellt wurde, dass das obere Teil in eine U-Form gebogen wurde und, wie auf der Abbildung 14 zu sehen ist, das untere Teil des Gehäuses umschließt. In das Gehäuse werden die Graphikkarte und das Mainboard eingebracht. Diese beiden Komponenten bestimmten die Länge, Breite und Tiefe des Gehäuses. Außerdem musste auch dafür gesorgt werden, dass es

gut in das Oberdeck des Roboters passt. Aus diesen Gründen ergaben sich eine Länge von 359mm, eine Breite von 200mm und Tiefe von 62mm. Wie aus dem Bild noch zu erkennen ist, wurden Lüftungsschlitzte vorgesehen, damit es im Gehäuse nicht zu heiß wird. Außerdem musste auch dafür gesorgt werden, dass die Kabel einen Weg nach außen finden. Deshalb wurde ganz rechts vom unteren Teil eine Öffnung vorgesehen. Um den PC auch im ausgebauten Zustand starten zu können, wurde auch direkt am PC-Gehäuse ein Schalter angebracht, deshalb die runde Öffnung im unteren Teil des Gehäuses.

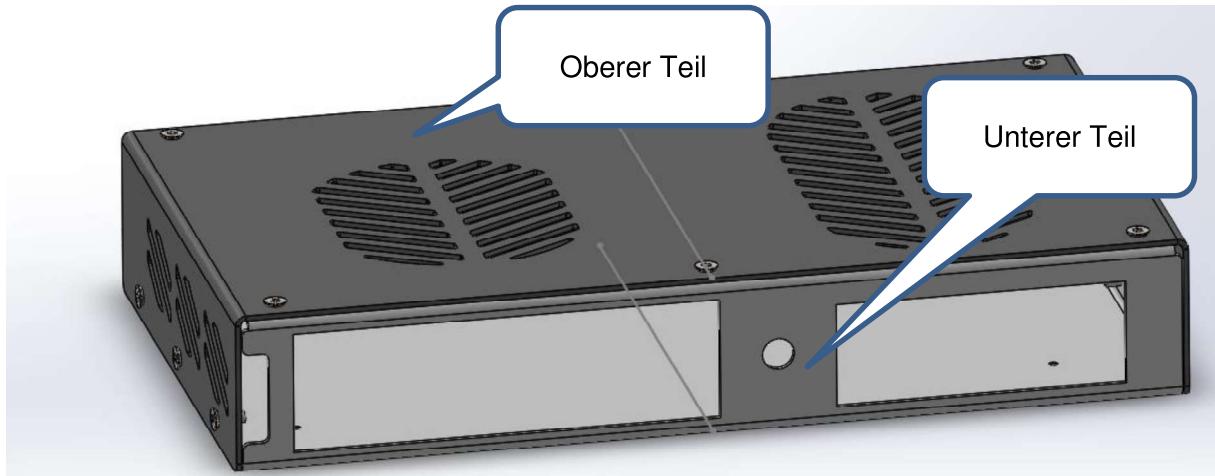


Abbildung 14: Design des alten PC-Gehäuses

Bei dem neuen Roboter wird als Mainboard das Strix B550-I Gaming des Herstellers ASUS ROG verwendet, welches der direkte Nachfolger des im alten OhmniBot verbauten Mainboards ist. Als Grafikkarte wird die PNY RTX A2000 6GB des Herstellers NVIDIA genutzt. Auf diese beiden Komponenten wird im Kapitel 5.2.2 tiefer eingegangen. Beide Teile sind etwas kleiner als die vorherigen verbauten Teile. Wie oben schon erwähnt worden ist, bestimmen diese beiden Komponenten die Abmessungen des PC-Gehäuses. Deshalb konnte das Gehäuse kleiner hergestellt werden, um etwas mehr freien Platz im Roboter zu erhalten. Außerdem musste dieses Mal keine Aluminiumprofile verwendet werden, sondern das Gehäuse musste 3D-Gedruckt werden. Dies hat auf das Design des Gehäuses auch eine wichtige Rolle gespielt. Zudem müssen Mainboard und Grafikkarte in irgendeiner Weise im Gehäuse gesichert werden. Im alten Gehäuse wurden Abstandsmutter verwendet, um diese Teile festzuhalten. Das Problem konnte nun schneller gelöst werden, indem Erhöhungen mit Gewindebohrungen auf dem Gehäuse für das Mainboard vorgesehen werden. Für die Grafikkarte konnte ein Konstrukt vorgesehen werden, damit die Grafikkarte nicht direkt auf dem Boden liegt. Außerdem kann das Riser Kabel nur von unten eingesteckt werden und kann auch nur (am besten) von unten bis zum Mainboard verlaufen.

Das Gehäuse des neuen Roboters ist auf der Abbildung 15 zu sehen. Hier ergab sich eine Länge von 307mm. Somit konnten 50mm gespart werden, wodurch Platz für zum Beispiel Kabel

geschaffen werden konnte. Aus Platzgründen wurde der Schalter hier entfernt da einer vorne im OhmniBot bereits vorgesehen ist. Breite und Tiefe blieben unverändert enthalten.

Wie auf der Abbildung 15 zu sehen ist, haben sich die Designs vom unteren und oberen Teil stark verändert. Der untere Teil wurde als offene Box modelliert, während der obere Teil als flacher Deckel modelliert wurde. Grund dafür ist die Tatsache, dass die Teile gedruckt werden müssen. Es hätte technisch keinen Sinn ergeben, die Teile und vor allem den oberen Teil wie im alten Gehäuse zu modellieren, da es wesentlich mehr Stützmaterial gekostet hätte und nicht so stabil gewesen wäre.

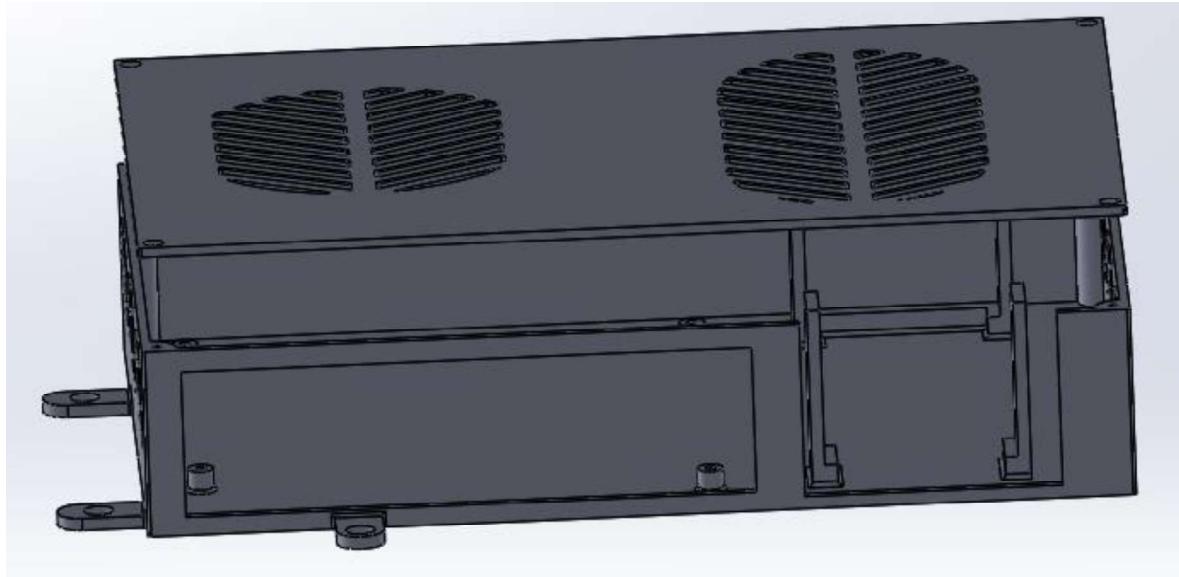


Abbildung 15: Design des neuen PC-Gehäuses

Da sich die Länge geändert hat, musste sich auch die Art der Befestigung des Gehäuses ändern. Im alten Roboter wurde die Befestigung durch das Bauteil AirGuide, siehe Abbildung 16, sichergestellt. Dies war in diesem Fall nicht mehr so möglich, zumindest nicht mehr von beiden Seiten. Aus diesem Grund wurden die drei in Abbildung 15 zu sehenden Laschen vorgesehen, damit das Gehäuse dadurch auf dem Roboterbase festgeschraubt werden kann. Auf der rechten Seite kann das AirGuide, welches auch modifiziert werden musste, wieder verwendet werden.

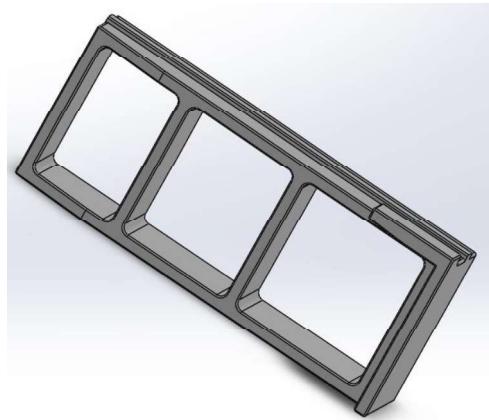


Abbildung 16: AirGuide

Abbildung 17 zeigt eine vollständige Darstellung des PC-Gehäusen mit seinen Komponenten.

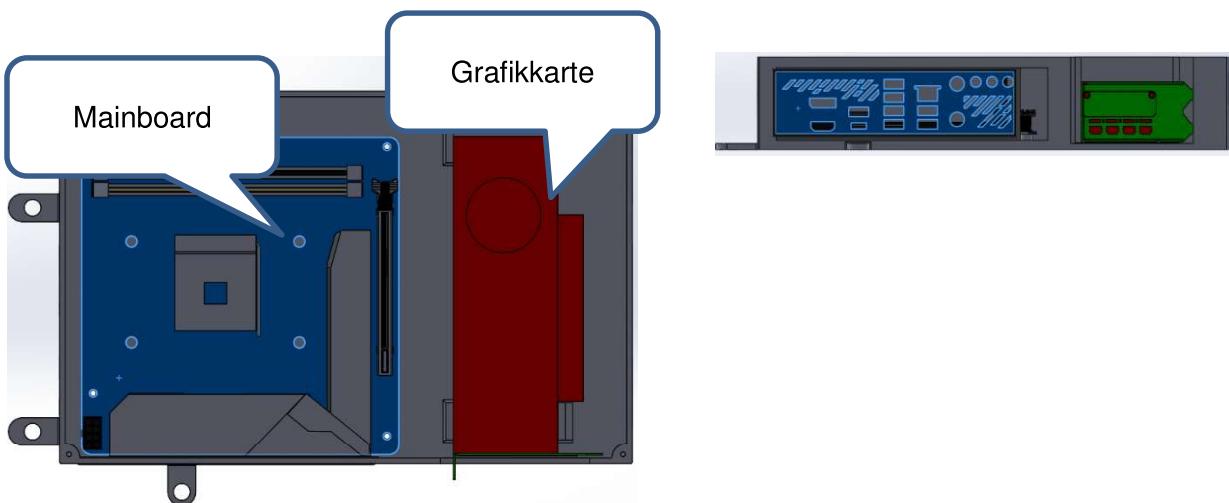


Abbildung 17: Vollständiges PC-Gehäuse (Ohne Deckel)

Zur Belüftung des Oberdecks und dem Abtransport der entstehenden Wärme sind vier Zusatzlüfter vorgesehen. Dabei wurde sich für das Modell MF60101V1-1000U-A99 von SUNON entschieden (siehe Abbildung 18). Ausschlaggebend hierbei ist die kompakte Größe sowie die niedrige Tiefe von lediglich 10mm. Dadurch können die Lüfter vollständig hinter den Aluminiumprofilen des Oberdecks verschwinden und tragen nicht zusätzlich auf.



Abbildung 18: Zusatzlüfter von SUNON

2.4 Operator-Block im Oberdeck

Im alten Oberdeck des OhmniBots waren fünf Boxen für Router-Antennen, zwei Lautsprecher, Bildschirm und Ohm-Symbol vorhanden, wie auf Abbildung 19 zu sehen ist. Nun mussten für den neuen OhmniBot einige Komponenten umgestellt werden. Diese waren:

- Die Peripherien, die mit dem Mainboard über Verlängerungskabel verbunden sind. Diese sind USB, HDMI, LAN-Anschlüsse und auch eine Ein-/Aus- Schaltertaste.
- Die Schalter, die vorne am alten Roboter eingebaut wurden. Diese sind PC-Schalter, Not-Aus-Schalter und Kippschalter, um die interne Hardware auszuschalten.



Abbildung 19: Operator-Block des alten Roboters

Diese Komponenten wurden auf den Operator-Block umgestellt und Abbildung 20 zeigt das jetzige Design. Dadurch soll die Handhabung durch einen zentralen Platz für die Bedienung sowie das optische Design verbessert werden. Der Block besteht aus einem einzigen Bauteil mit vier Fächern. Das erste Fach (von Links ausgehend) ist für die Router-Antennen vorgesehen. Bei dem zweiten Fach werden die Neutrik-Durchführungen für die Peripherien des Steuerrechners eingebaut. Wie alle Mainboards besitzt das ITX-Mainboard des Steuerrechners einen I/O-Bereich mit verschiedenen Buchsen, um externe Geräte zu verbinden. Da das

Mainboard im geschlossenen Raum liegt und es daher unmöglich ist, direkt auf diesem I/O-Bereich zuzugreifen, werden diese externe Peripherien eingesetzt, die mit dem Mainboard über Verlängerungskabel verbunden sind. Diese sind USB, HDMI, LAN-Anschlüsse und auch ein Ein-/Aus-Taster. Es wird ein USB 3.0 Adapter vom Typ A und B vom Hersteller Neutrik verwendet. Ebenfalls vom Hersteller NEUTRIK wird eine LAN- sowie HDMI-Buchse eingesetzt. Verwendung findet ein HDMI-Adapter FT vom Type A-A vom Hersteller Neutrik. In dem dritten Fach befindet sich ein Display. Das vierte Fach enthält den Not-Aus-Schalter, den PC-Taster und den Hauptschalter des Roboters.

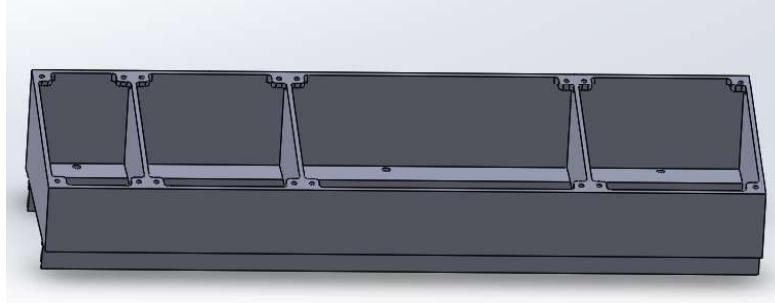
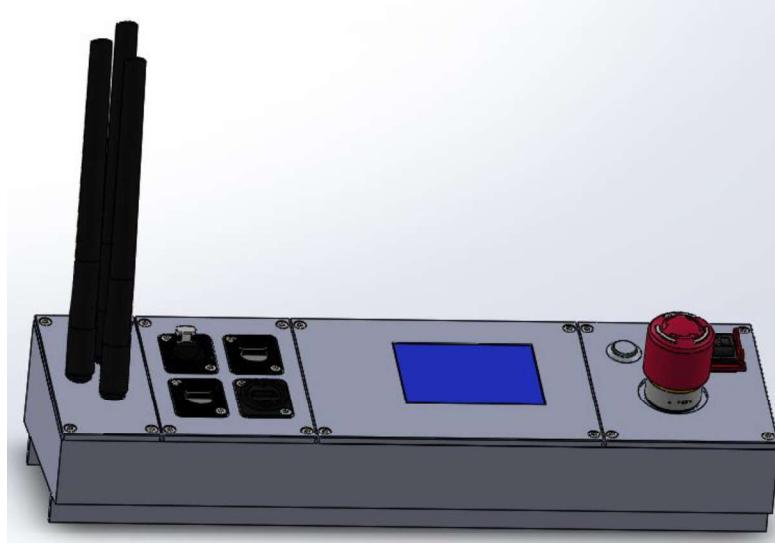


Abbildung 20: Operator-Block der neuen Roboterplattform

Das dritte Fach ist für den Bildschirm vorgesehen und hatte einen großen Einfluss auf die Breite und die Tiefe des Operator-Blocks. Hinten an dem Bildschirm befindet sich zur Steuerung ein Microcontroller, welcher die gesamte Tiefe des Bildschirms verlängert. Der Bildschirm muss von dem Deckel festgehalten werden, wodurch das folgende Design, siehe Abbildung 21, entstanden ist. Die vier Verlängerungsbeinchen dienen dazu, den Bildschirm einschließlich Arduino, festzuhalten. Das Gesamtpacket soll dann final mit Heißkleber geklebt werden.

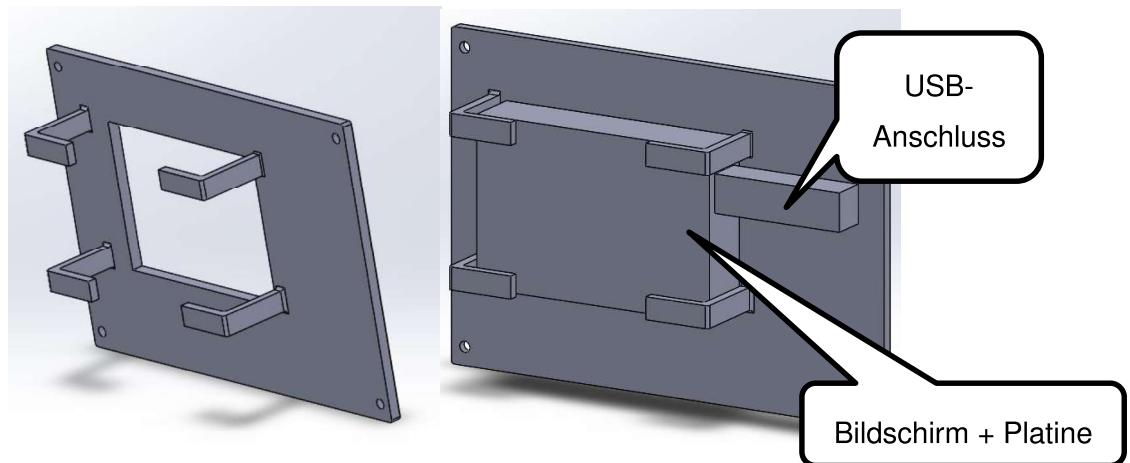


Abbildung 21: Coverplate Screen für den neuen Rovboter

Da sich die Breite des Operator-Blocks geändert hat, muss das obere Blech im Verhältnis zum alten OhmniBot größer ausgeschnitten werden. Die neuen Abmessungen sind der Abbildung 22 zu entnehmen.

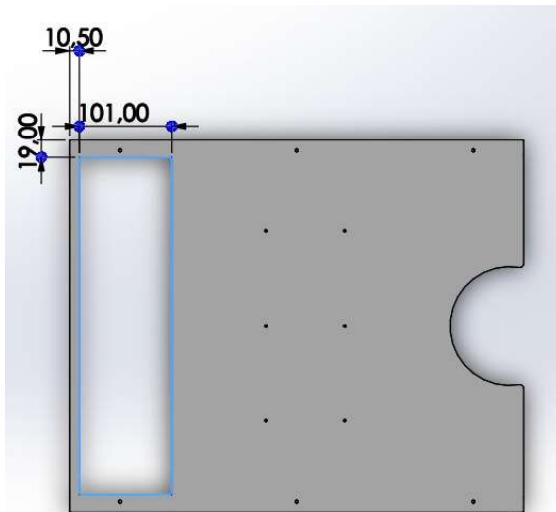


Abbildung 22: TopPlate Oberdeck für den neuen Roboter

3 Arbeitspaket 2 – Sensorik

3.1 Sensorikkonzept

In der bisherigen Version der Roboterplattform wurden drei 2D-LiDAR-Sensoren der Firma Sick eingesetzt. Die Sensoren haben dabei einen Arbeitsbereich von je 270° . Durch die Verteilung der Sensoren an der Vorder- und Rückseite, sowie in der Mitte, wurde somit die gesamte Umgebung erfasst.

In der optimierten Version soll die Erfassung von einem 360° 2D-LiDAR-Sensor (Modell: S2E) der Firma Slamtec, der in der Mitte unterhalb des Roboters befestigt ist, erfolgen. Durch die Positionierung ergeben sich mit den Mecanumrädern Bereiche, die vom Laserscanner nicht erfasst werden können. Hierfür werden an die Ecken der Roboterplattform je zwei Infraradarsensoren angebracht, welche von der Firma Evocortex bereitgestellt werden. Die Abdeckung der Sensoren wird in Abbildung 23 dargestellt.

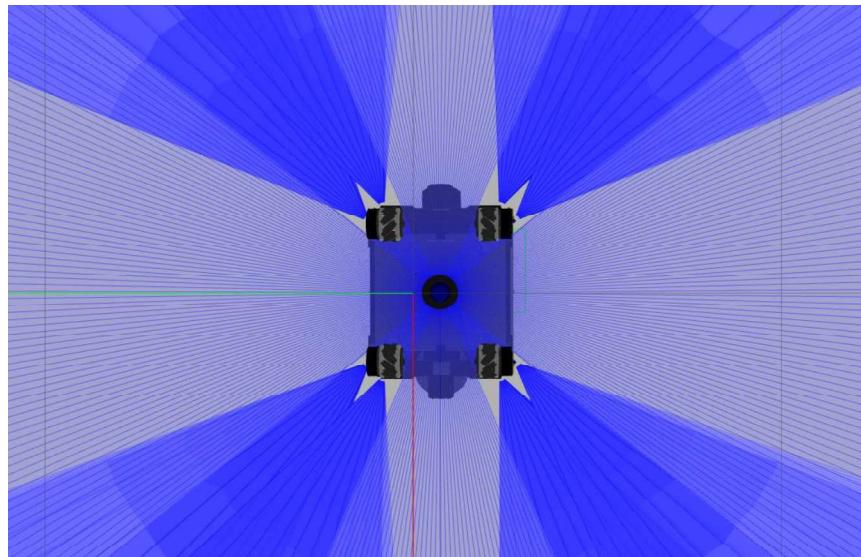


Abbildung 23: Abdeckung des Laserscanners (hellblau) und der Infraradarsensoren (dunkelblau)

3.2 Sensorhalterungen

Der Laserscanner ist mit vier Schrauben auf einer 3D-Druck Platte festgeschraubt. Diese ist wiederum über vier, durch Druckfedern hindurchgeführte, Sechskantschrauben mit einer Halterung verbunden, welche mit vier Zylinderkopfschrauben auf dem unterem mittlerem Abdeckblech mit der Roboterplattform verschraubt ist. Zudem liegt die Halterung durch die Schraubverbindung mit den beiden Schenkeln fest auf den Gewindestangen des Fahrwerks auf, wodurch Vibrationen durch das Abdeckblech minimiert werden (vgl. Abbildung 24).



Abbildung 24: Befestigung der Laserscanneraufnahme

Die Halterung des 360°-Sensors wurde so konstruiert, dass sich diese über die vier Sechskantschrauben in der Neigung verstellen lässt. Somit lässt sich die Ausrichtung des Laserscanners an die jeweiligen Anforderungen bzw. Bodenverhältnisse anpassen. Der Kopf der Sechskantschrauben ist hierbei formschlüssig in der 3D-Druck Platte eingesetzt, damit sich beim Verdrehen der Muttern zur Höhenverstellung die Schrauben nicht mit drehen. Zur Veranschaulichung dient hierbei Abbildung 25. Die Muttern besitzen einen Ring aus Polyamid (nach DIN 985), um ein Lösen durch Vibrationen zu vermeiden.

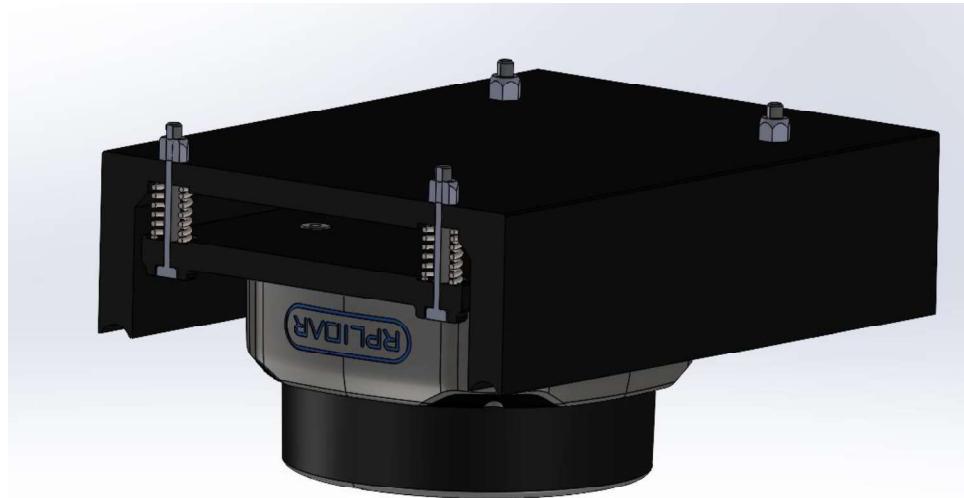


Abbildung 25: Funktionsdarstellung der Höhenverstellung des Laserscanners

An jeder Ecke sitzen zwei Infraradarsensoren, die um 23° bzw. 45° zur Hauptfahrrachse gedreht sind. Zusätzlich sind die Sensoren um 10° nach unten geneigt, um auch naheliegende Objekte erkennen zu können. Die beiden Verdrehwinkel zur Hauptfahrrachse ergeben sich dabei aus den Feichtenbeiner, Haag, Nguekeng Tsague, Preidt

Bereichen, die vom Laserscanner nicht erfasst werden können. An den Ecken der Roboterbase ist bereits eine Aussparung vorhanden, in die die Sensorhalterung eingepasst wurde. Hierfür wurde der bisher dort eingesetzte Platzhalter umkonstruiert, um die Sensoren den Vorgaben entsprechend befestigen zu können (vgl. Abbildung 26).

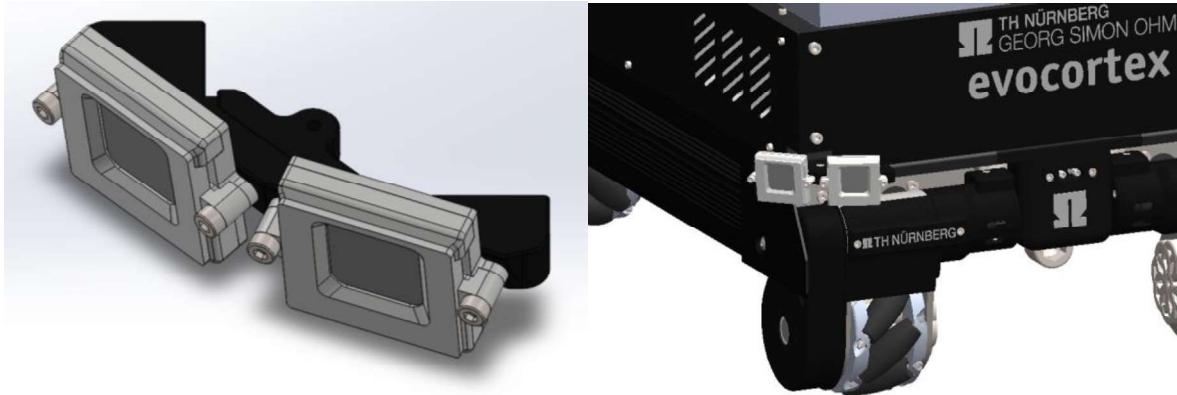


Abbildung 26: Sensorhalterung und deren Einbauort

Die bisherigen Halterungen der Laserscanner wurden überarbeitet und in der aktuellen Version verwendet, damit die Optik der Roboterplattform weitestgehend erhalten bleibt. Bei der Vorderen wurde lediglich die Aufnahme für den Laserscanner entfernt und das Design entsprechend angepasst. Bei der Hinteren wurde zusätzlich anstelle des Ein- und Austaster und des Not-Aus eine XT90-Buchse zum Laden des Roboters untergebracht.



Abbildung 27: Überarbeitete Laserscannerhalterung hinten (links) und vorne (rechts)

4 Arbeitspaket 3 – Spannungsversorgung

Wie bereits beschrieben, wird in der neuen Roboterplattform das Spannungslevel von 24 V auf 48 V angehoben. Die Spannungsversorgung des Systems erfolgt über zwei eigens dafür entworfene Platinen. Zum einen die sich um Fahrwerk befindliche Messplatine, auf der Spannung gewandelt, geschalten und gemessen wird. Anders dazu die Verteilerplatine, welche sich im Oberdeck befindet. Diese dient lediglich dazu die Verbraucher in diesem Bereich des Systems zu versorgen.

4.1 Schaltplan und Verbraucher

Dieses Kapitel befasst sich mit der Analyse und der daraus folgenden Planung für die Spannungsversorgung aller Verbraucher. Daraus leitet sich der Elektronikentwurf der notwendigen Platinen ab.

4.1.1 Fahrwerk

Zunächst wurde das Fahrwerk des aktuellen Roboters auf 24V-Ebene analysiert und daraus ein Schaltplan erzeugt. Dieser ist dargestellt in Abbildung 28. Zu sehen ist ein Motorcontroller, eine Platine welche Spannungen erzeugt und schaltet sowie die aktuelle Anbringung von Schaltern und Lampen. Der Motorcontroller ist hier über CAN-Bus mit einem CAN-Adapter angebunden. Weiterhin sind drei Laserscanner vorhanden und damit auch an der Versorgungsspannung angeschlossen.

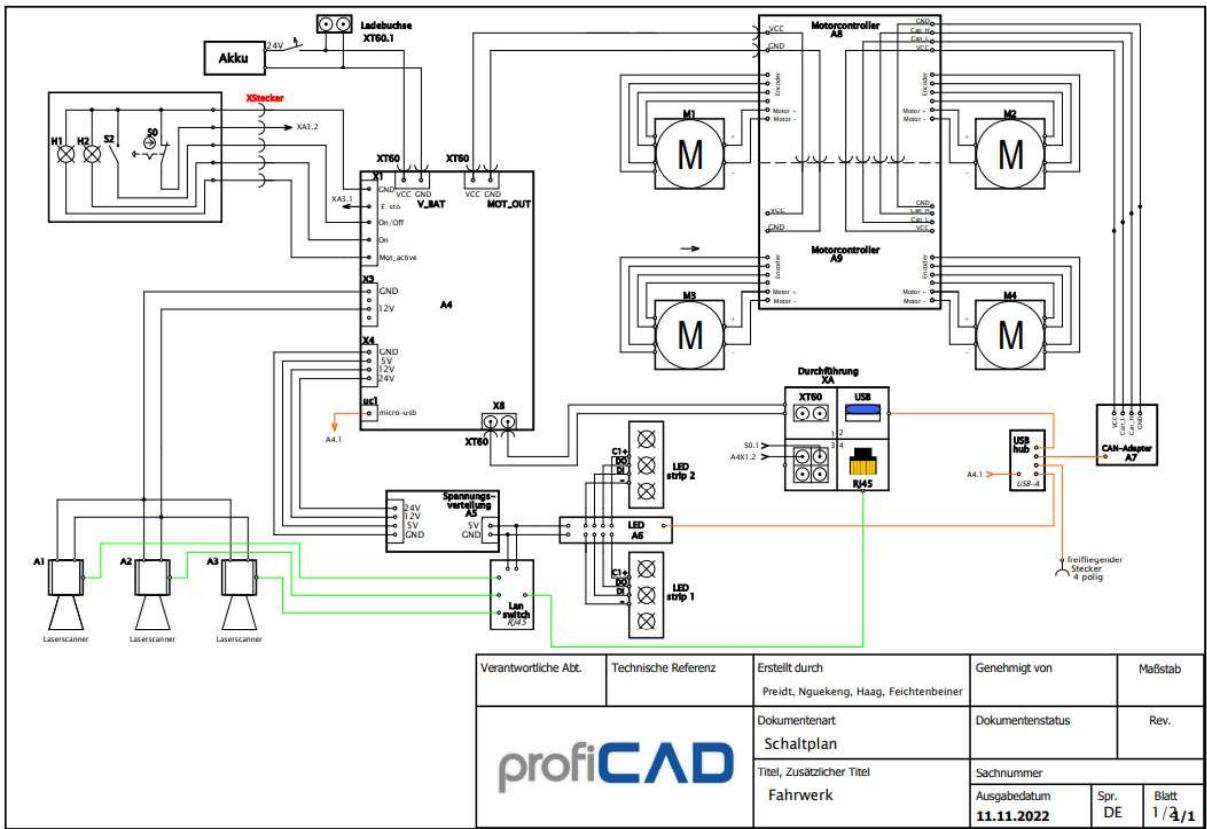


Abbildung 28: Alter Schaltplan des Fahrwerks

Danach sind die geplanten Änderungen einzupflegen. Der Motorcontroller wird in einer neuen Version eingebaut, dies beinhaltet das Spannungslevel sowie die Versorgung von Motoren mit 48V sowie die Anbindung über Ethernet. Somit entfällt der CAN-Adapter. Die Platine wird neu entworfen, um mit der geplanten Versorgungsspannung von 48V umgehen zu können und alle Anforderungen zu erfüllen. Es existieren nun zwei getrennte Anschlüsse für potenzielle Spannungsquellen, um das Hotplug-System zu realisieren. Weiterhin implementiert ist die Spannungswandlung auf 5V und 12V, um die notwendigen Verbraucher zu versorgen. Es ist mit nur noch einem Laserscanner geplant, dafür aber acht Infradar-Sensoren. Die Kommunikation mit Schaltern und Lampen findet nun durch eine vergrößerte Durchführung in dem Oberdeck statt. Gleiches gilt für die Leistungsumwandlung in das Oberdeck, sowohl für die Verteilerplatine als auch für Roboterarm und PC-Netzteil. Die maximal mögliche abrufbare Stromstärke für den Motorcontroller sowie den Roboterarm beträgt 20A@48V. Dargestellt ist der neue Schaltplan in Abbildung 29.

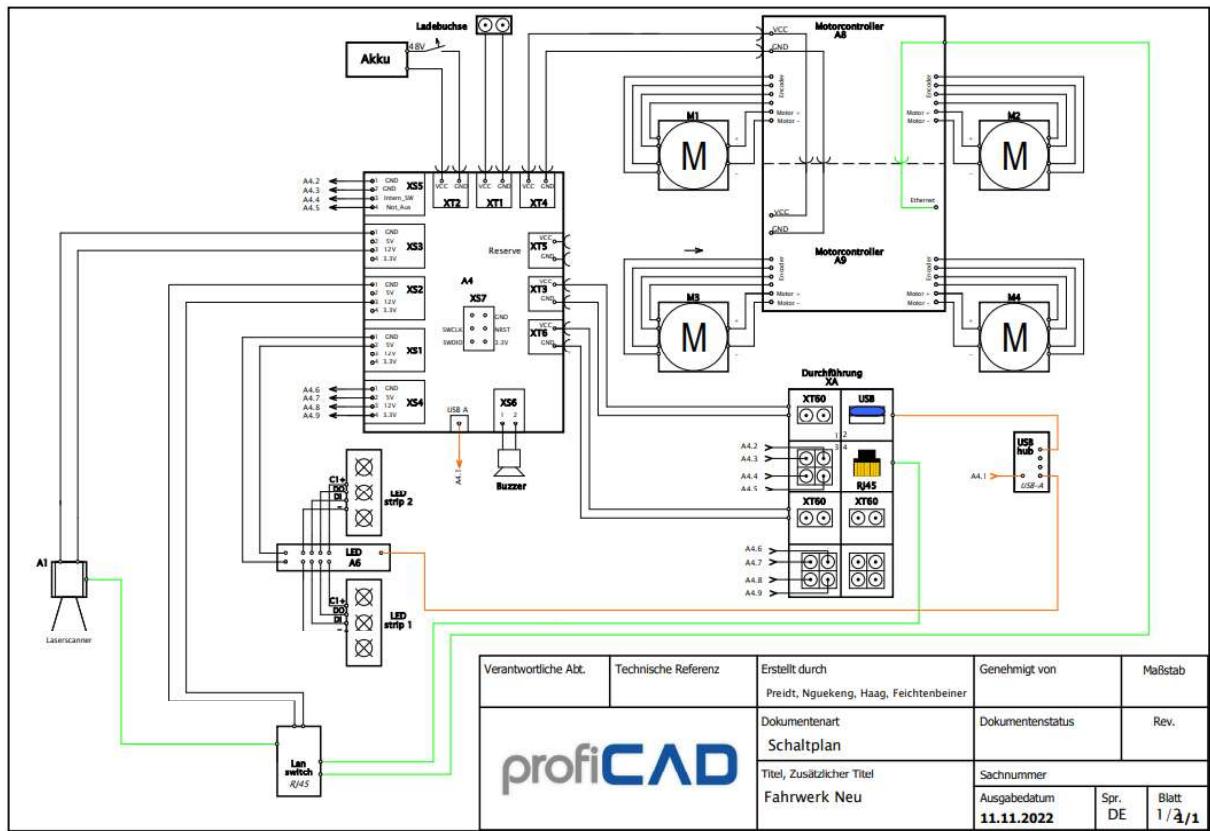


Abbildung 29: Neuer Schaltplan des Fahrwerks

4.1.2 Oberdeck

Das Oberdeck der vorherigen Version des Ohmnibots besteht aus verschiedenen Komponenten, welche durch die Spannungsverteilungsplatine gespeist werden. Anzumerken ist hierbei, dass auch auf dieser Platine dafür die 24V Spannung gewandelt wird in die benötigten Spannungslevel. Damit existieren im Gesamtsystem Roboter für gleiche Spannungslevel zwei verschiedene Quellen abhängig davon, ob man sich im Oberdeck oder dem Fahrwerk befindet. Es findet hinsichtlich der Spannungsverteilungsplatine im Oberdeck lediglich eine Einspeisung von 24V durch das Fahrwerk statt. Die notwendige Peripherie für das System befindet sich seitlich in der Wand des Oberdecks. Lediglich das Display ist gut sichtbar auf der Oberseite verbaut. Dargestellt ist der Schaltplan in Abbildung 30.

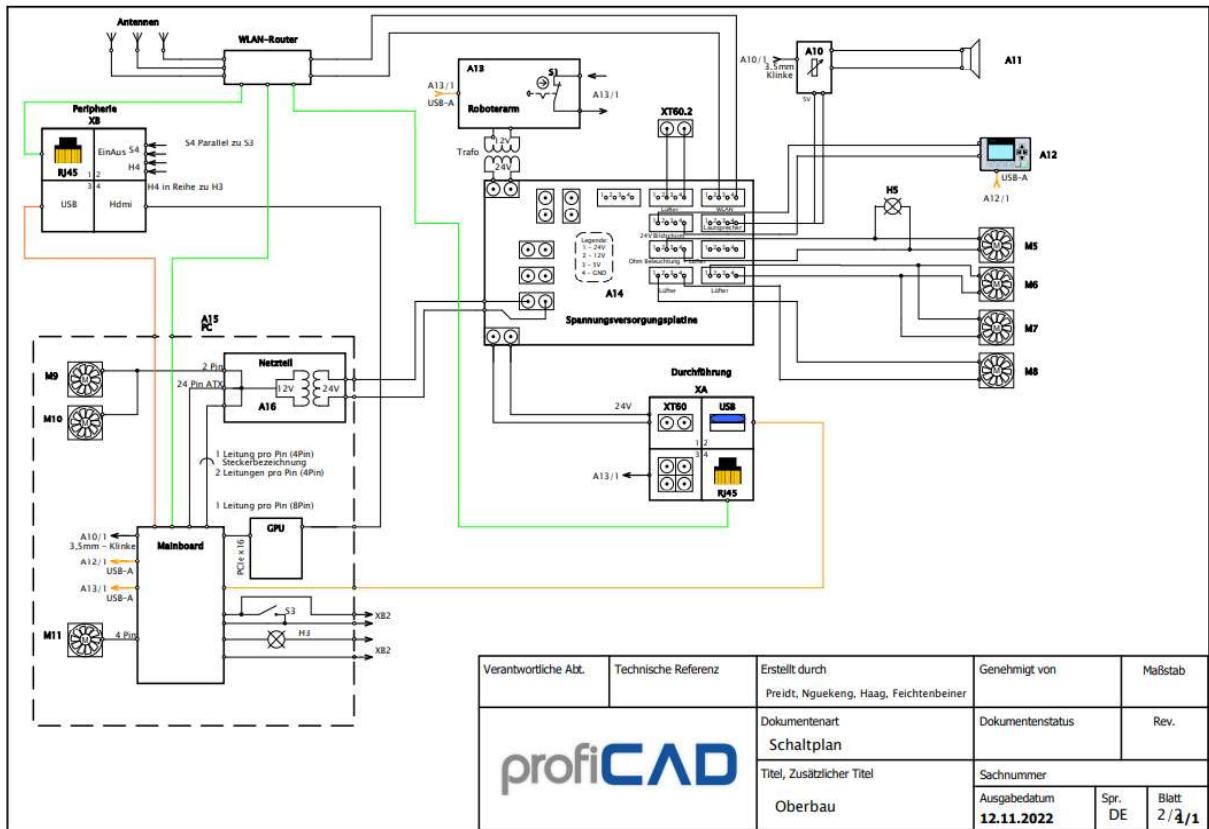


Abbildung 30: Alter Schaltplan des Oberdecks

Mit den notwendigen Informationen aus dem aktuellen System wird die Planung des neuen Systems umgesetzt. Ein signifikanter Unterschied ist die Tatsache, dass zukünftig im Oberdeck keine Spannung für Verbraucher außer für den PC gewandelt wird. Die Einspeisung erfolgt durch die Messplatine im Fahrwerk. Die Spannungsverteilungsplatine dient lediglich zur gleichzeitigen Versorgung der Verbraucher mit dem Spannungslevel von 5V und 12V und des PC. Es besteht die Analogie zu einer Mehrfachsteckdose. Vorteil der zentralisierten Spannungswandlung im Fahrwerk ist die Reduzierung von Fehlerquellen, erhöhte Übersichtlichkeit sowie Nachverfolgbarkeit. Die Peripherie wird neben das Display auf die Oberseite des Roboters verlegt, zusammen mit den Schaltern, welche vorher am Fahrwerk angebracht waren. Hiervon verspricht man sich eine optische Verbesserung sowie ein intuitiveres Bediensystem, wenn alle notwendigen Schnittstellen an einem Ort angebracht sind. Geplant ist ein Kippschalter, welcher das System komplett spannungsfrei schaltet. Weiterhin sind ein Not-Aus-Schalter und der Taster für den PC notwendig. Der Not-Aus-Taster sorgt dafür, dass die Spannungsversorgung für die Antriebe und den Roboterarm abgeschaltet wird, die interne Spannung für PC und weitere Komponenten jedoch erhalten bleibt. Es müssen zusätzlich acht Infradar-Sensoren versorgt werden, welche die zwei vorher verwendeten Laserscanner kompensieren sollen. Für den Roboterarm von NEURA werden maximal abrufbare Stromstärken von 20A@48V, 5A@5V und 5A@12V zurückgestellt. Dargestellt ist der neue Schaltplan in Abbildung 31.

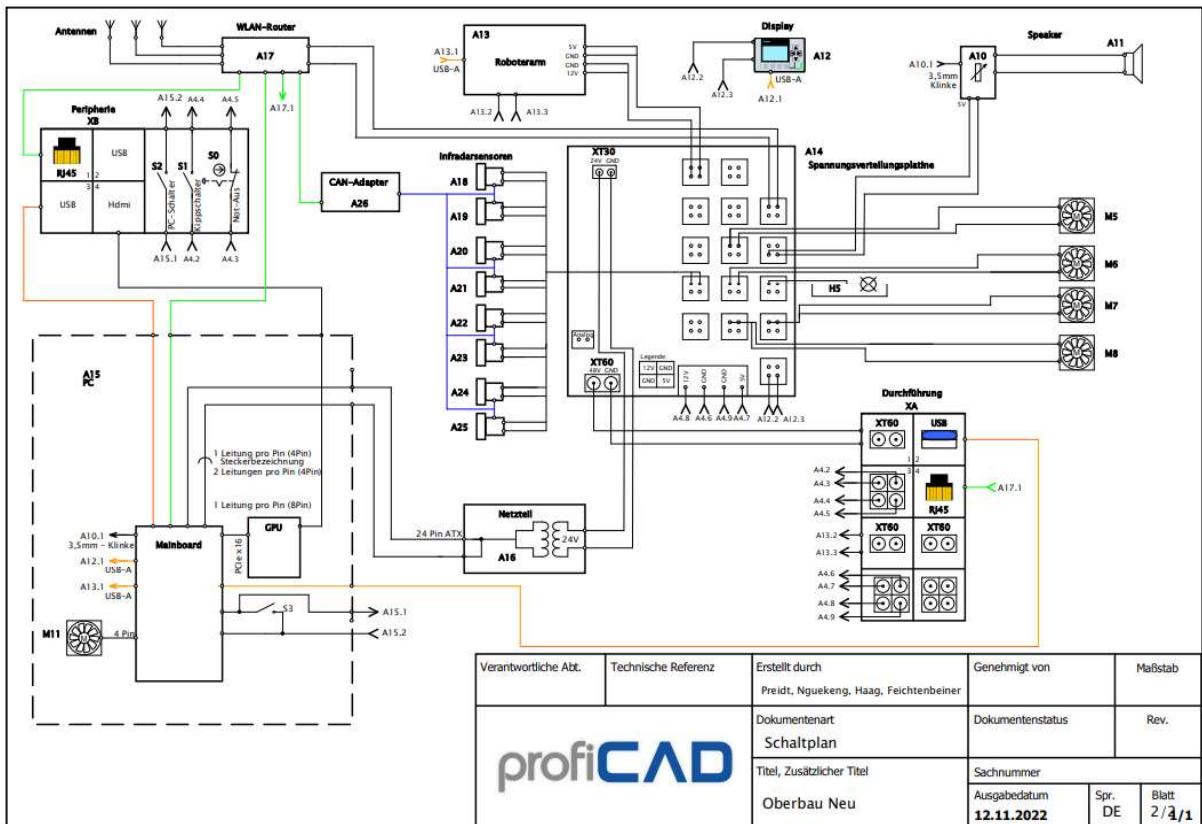


Abbildung 31: Neuer Schaltplan des Oberdecks

4.2 Netzteil für den Steuercomputer

Bei einem eigens konfigurierten PC mit Mini-ITX-Mainboard (siehe Kapitel 5.2.2), welches hier bei diesem Projekt zum Einsatz kommt, wird im Gegensatz zu anderen PC-Konzepten mit geringem Formfaktor wie zum Beispiel Nuc oder Jetson ein externes PC-Netzteil benötigt. Dieses stellt hier die für das Mainboard notwendigen, verschiedenen Spannungslevel mittels dem 24Pin-ATX-Stecker und einem 4Pin FDD-Stecker zur Verfügung. In dem aktuellen bzw. alten OhmniBot besteht hinsichtlich dessen eine geringere Problematik, da PC-Netzteile im Gleichspannungsbereich zwar immer unter die exotischeren Varianten fallen, jedoch eine Auswahl an PC-Netzteilen im Eingangsspannungsbereich von 24 Volt existieren. Durch den Umstieg auf 48 Volt hat es sich jedoch als noch deutlich schwieriger herausgestellt, passende PC-Netzteile zu finden, da es sich hierbei um nicht marktgängige und wenig gefragt Produkte handelt. Um mit der Spannungsänderung umzugehen, können zwei Lösungen bzw. Alternativen eingesetzt werden. Die erste Lösung wäre, den DC-DC Wandler von 48V auf 24V der Modellnummer i7A4W033A033V-0F1-R von TDK mit einem kleineren 250W PC-Netzteil des Modells M4-ATX 6-30V DC/DC von cartft einzusetzen. Ein großer Vorteil dabei wären die niedrigeren Kosten, und die deutlich kleineren Abmaße. Ein Nachteil davon ist jedoch, dass man nur für dieses Netzteil wieder ein Spannungslevel von 24V geschaffen werden müsste und sich die Fehleranfälligkeit durch die verdoppelte Anzahl an notwendigen Komponenten erhöht.

Die zweite Lösung wäre, das einzige PC-Netzteil mit 48V Eingangsspannung von cartft einzusetzen, welches bei der Marktrecherche als den Anforderungen entsprechend identifiziert werden konnte. Somit lässt sich das Problem mit einem einzigen Bauteil lösen und es hätte mit 750W eine deutlich größere Leistung. Der Nachteil bei dieser Vorgehensweise ist, dass dieses PC-Netzteil sehr groß ist und von nicht vielen Herstellern angeboten wird. Dargestellt sind die beiden Netzteile in Abbildung 32.



Abbildung 32: 24V PC-Netzteil mit 250W (links) und 48V PC-Netzteil mit 750W (rechts)

Die Entscheidung ist vor allem aus platztechnischen Gründen auf das kleinere Netzteil gefallen. Die Leistung dessen ist ausreichend, um den PC zu versorgen und die Spannungswandlung auf 24 Volt wird in der Elektronik des Oberdecks integriert.

4.3 Platzierung des Akkus im Fahrgestell

Mit dieser Veränderung wird ein neuer Akku des Herstellers JiangmenSunbang Technology Co. eingeführt, der eine Spannung zwischen 35 V und 51,3 V liefert. Der Spannungsbereich ergibt sich dadurch, dass der Akku je nach Ladezustand eine höhere beziehungsweise eine geringere Spannung als die Nennspannung ausgibt. Der Akku versorgt den gesamten Roboter mit Spannung und ist somit eine wichtige Kernkomponente der Roboterplattform. Die technischen Angaben des Akkus sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Technische Angaben des Akkumulator [4]

Rechargeable LiFePo4 Battery	
Nennspannung	44,8 V
Ladeschlussspannung	51,1 V \pm 0,2 V
Entladeschlussspannung	35 V
Normalladestrom	2 A
Maximaler Ladestrom	3 A
Maximaler Entladestrom	15 A
Nennkapazität	6 Ah
Gespeicherte Energie	268,8 Wh
Überwachung	BMS ($PL_r = c$)
Anzahl Zellen	14
Gewicht	3 kg

Der neue Akku besitzt nicht nur eine andere Nennspannung, sondern auch andere Abmessungen. In Abbildung 33 und Tabelle 4 sind die Abmessungen des alten 24 V Akkus und des neuen 48 V Akkus vergleichend dargestellt. In der Länge wird der Akku um 2 mm kürzer, was zu keinen Problemen führt. In der Breite und der Höhe wächst der Akku jedoch um 6 mm und 12 mm was dazu führt, dass der Akku nicht mehr ohne weiteres in das vorgesehene Fach im Fahrgestell passt (siehe Abbildung 34). Die Abmessungen wurden am vorhandenen Akku nachgemessen und weichen nur minimal von den im Datenblatt [4] angegebenen Abmessungen ab.

Tabelle 4: Abmessungen des alten und neuen Akkumulator

	Alter 24 V Akku	Neuer 48 V Akku
Länge	212 mm	210 mm
Breite	98 mm	104 mm
Höhe	69 mm	81 mm

*Abbildung 33: Vergleich des alten 24 V Akku (rot) und des neuen 48 V Akku (blau) im CAD in der Front- und Seitenansicht*

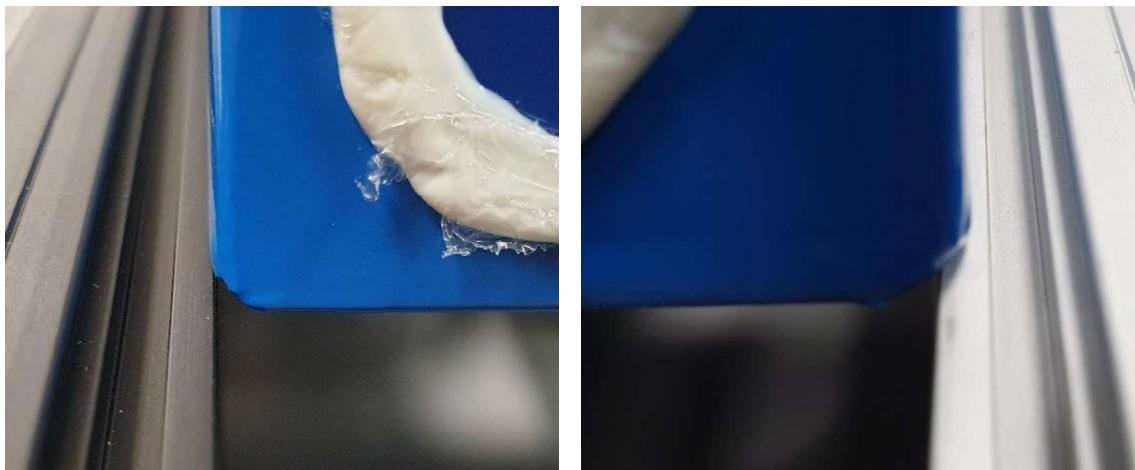


Abbildung 34: Problemdarstellung des nicht passenden Akkus

Da die Positionierung der Aluminiumprofile, die das Fach für den Akku seitlich begrenzen, nicht angepasst werden kann, ohne einen großen Teil der Fahrwerkkonstruktion anzupassen, werden die Aluminiumprofile selbst bearbeitet. Die Aluminiumprofile besitzen eine Art C-Form, wodurch die Breite des Fachs an der Rahmenober- und -unterseite eingeschränkt wird (siehe Abbildung 35). Die Bearbeitung der Aluminiumprofile besteht darin, die in Abbildung 35 rot markierten Bereiche über die gesamte Länge des Akkus um 3,35 mm aufzufräsen. Die entstehende Tasche ist in Abbildung 36 dargestellt. Abbildung 37 zeigt die Innenkanten der Tasche in einer Detailansicht.

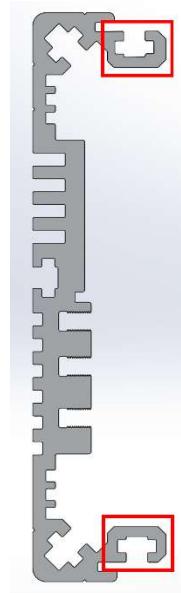


Abbildung 35: Seitenansicht der Aluminiumprofile mit Kennzeichnung der kritischen Bereiche



Abbildung 36: CAD-Modell der aufgefrästen Tasche an den Aluminiumprofilen in der Draufsicht

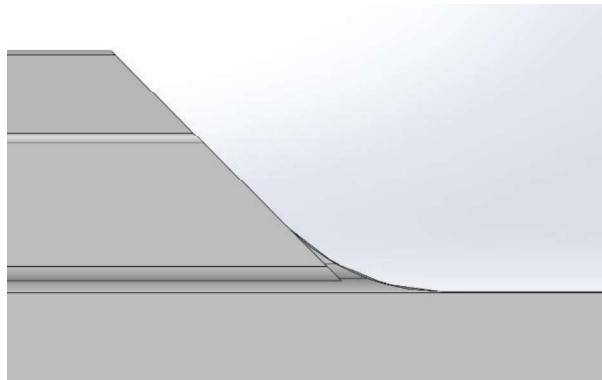


Abbildung 37: Detailansicht der Innenkante der Tasche im CAD-Modell

Durch die Bearbeitung der Aluminiumprofile wird zudem erreicht, dass der Akku auch in Bezug auf seine Höhe in das vorhergesehene Fach passt. Da der Akku jedoch zum Beispiel mit einem Klettband im Fach fixiert werden soll ist auch hier eine Bearbeitung nötig. Sie besteht darin, einen rechteckigen Bereich von 40 mm x 110 mm mittig aus dem unteren Abdeckblech des Akkufachs auszuschneiden (siehe Abbildung 38). Der Ausschnitt dient dazu, Platz für den Verschluss der Akkufixierung zu schaffen und ein aneinanderreiben der Komponenten zu verhindern. Um ein Eindringen von Schmutz durch das entstandene Loch zu verhindern, wird eine zusätzliche Abdeckung von unten an das Abdeckblech angeschraubt. Die Abdeckung besitzt hierbei ein möglichst flaches Profil, um den Laserscanner des Roboters nicht oder nur minimal zu beeinflussen. Die Abdeckung selbst wird mittels 3D-Druck hergestellt und mit vier M3-Senkkopfschrauben befestigt. Die Kombination des unteren Abdeckblechs und der Abdeckung sind in Abbildung 38 dargestellt.

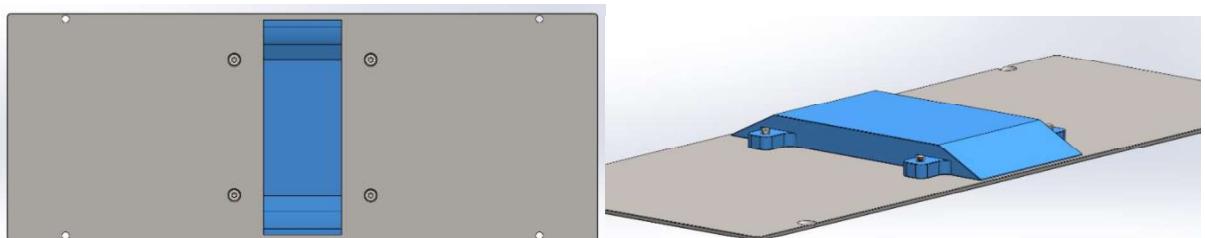


Abbildung 38: CAD-Modell der Kombination aus unterem Abdeckblech und Abdeckung für das Akkufach

In Abbildung 39 ist ein Schnitt durch das CAD-Modell des Akkufachs dargestellt, in dem alle Komponenten, die das Fach in der Breite und Höhe begrenzen. Die Aluminiumprofile sind hierbei gelb dargestellt, das obere und untere Abdeckblech in grün und die zusätzliche Abdeckung in rosa. Die Fixierung mittels Klettband des Akkus im Akkufach ist ebenfalls in Rot dargestellt.



Abbildung 39: Schnitt durch das Akkufach im CAD-Modell mit farblich markierten Begrenzungen

Durch die neuen Abmessungen des Akkus mussten auch die Akkuhalter selbst angepasst werden. Durch die geänderten Rahmenbedingungen und der verstrickten Beziehungen innerhalb des bestehenden CAD-Modells, mussten die Halter gänzlich neu konstruiert werden. Das Grundkonzept und -design von den Haltern des bereits existierenden Ohmnibot wurden hierbei übernommen. In Abbildung 40 bis Abbildung 42 sind die alte und die neue Akkuhalterung verglichen gegenübergestellt. Die markantesten Änderungen sind zum einen das Wegfallen des oberen Anschlags, die Geometrieanpassung und Verlängerung der Rückwand unter die Höhe der seitlichen Befestigungen und zum anderen die Anpassung diverser Wandstärken.

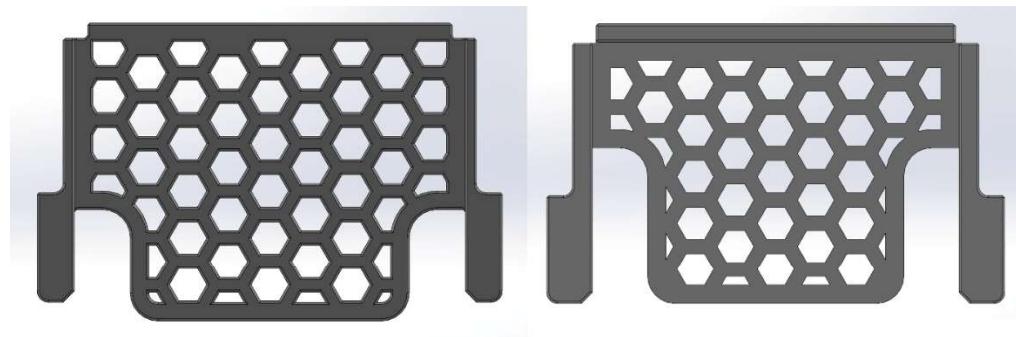


Abbildung 40: Vergleich der neuen (links) und alten (rechts) Akkuhalterung in der Frontansicht im CAD-Modell

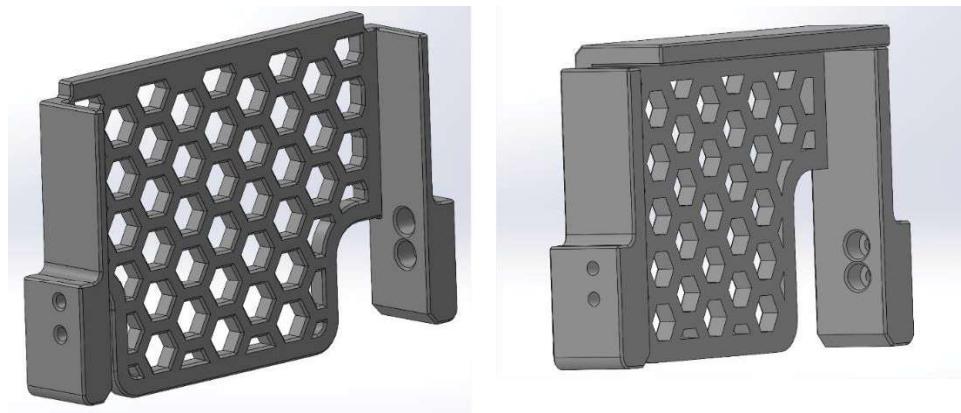


Abbildung 41: Vergleich der neuen (links) und alten (rechts) Akkuhalterung in gewinkelte Ansicht im CAD-Modell

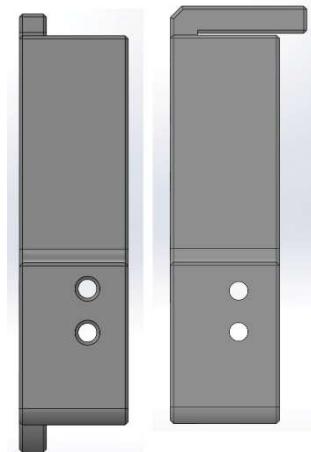


Abbildung 42: Vergleich der neuen (links) und alten (rechts) Akkuhalterung in der Seitenansicht im CAD-Modell

Der obere Anschlag musste entfernt werden, da der Akku andernfalls nicht mehr in das Akkufach gepasst hätte. Durch die Anpassung der Breite des Halters mussten diverse Feichtenbeiner, Haag, Nguekeng Tsague, Preidt

Wandstärken angepasst werden, um ausreichend Platz zu schaffen. Damit eine möglichst hohe Stabilität erhalten bleibt, wurde die Geometrie der Rückwand angepasst, um einen größeren Übergangsbereich zwischen Rückwand und seitlicher Befestigung zu ermöglichen. Die Verlängerung der Rückwand nach unten hin dient dazu, den Akku über seine gesamte Seitenfläche zu fixieren. Die Breite der ausgeschnittenen Bereiche über den seitlichen Befestigungen wurde unverändert übernommen, um das Durchführen von Kabel an diesen Stellen nicht zu behindern. Die Akkuhalterungen werden jeweils an den Stirnflächen des Akkus verbaut und werden mittels 3D-Druck hergestellt. Befestigt werden sie in den Aluminiumprofilen mit M3-Zylinderkopfschrauben. Ein Vergleich des Akkufachs zwischen dem bestehenden Ohmnibot und der neuen Roboterplattform ist in Abbildung 43 gegeben. Aus Abbildung 43 ist zu erkennen, dass im Akkufach der neuen Roboterplattform deutlich mehr Platz für Kabel oder ähnlichem vorhanden ist.



Abbildung 43: Vergleich der Akkufächer des bestehenden Ohmnibot (links) und der neuen Roboterplattform im CAD (rechts)

4.4 Messplatine

4.4.1 Topologie

Um zunächst einen Eindruck über das System zu erlangen zeigt Abbildung 44 den abstrahierten Stromverlauf und die Funktionen des Systems. Einerseits sind hier in Grün die Eingänge des Systems zu sehen, dabei handelt es sich um einen 48Volt Akku und ein Ladegerät. Es muss nicht beides zwangsläufig vorhanden sein, dafür ist das Hotplug-System vorhanden. Dieses erkennt, an welchem Eingang die höhere Spannung anliegt, und verwendet anschließend die zugehörige Quelle. Hintergrund ist ein mögliches Wechseln des Akkus, ohne dafür das System

ausschalten zu müssen. Danach befinden sich drei Mosfet, welche die Stromversorgung und -verteilung auf 48V-Ebene bestimmen. Hier in Orange dargestellt sind die Ausgänge des Systems als eine Schnittstelle zu den jeweiligen Komponenten. Die interne Versorgung mit 48V untergliedert sich anschließend in die Erzeugung von Spannungen und die Versorgung des PC.

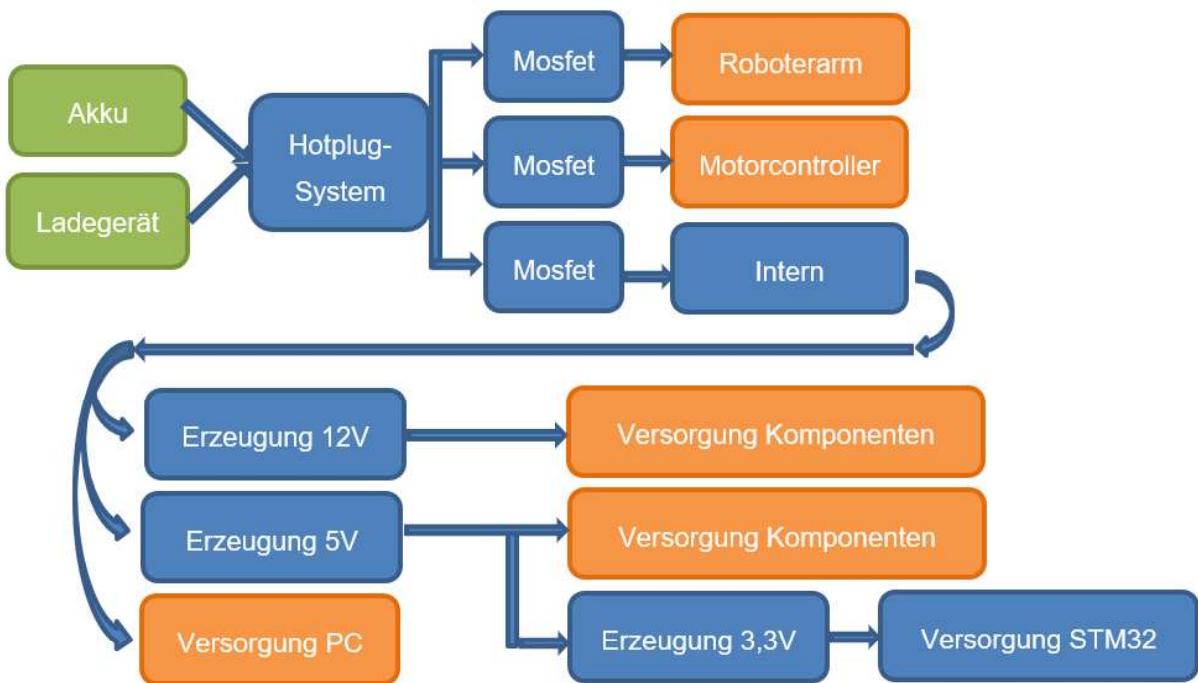


Abbildung 44: Topologie der Spannungsversorgung

4.4.2 Hotplug-System

Das in Abbildung 45 dargestellte Hotplug-System besteht aus dem IC LTC4355 von Linear Technology als Kernstück der Applikation und zwei dazugehörigen Mosfet, welche die als Schalter für die Last fungieren. Der LTC4355 ist mit den Monitoring-Widerständen R3, R4, R5 und R10 versehen. Diese stellen einen Spannungsteiler dar und sorgen für die Erkennung, an welchem Eingang (IN1 oder IN2) die höhere Spannung anliegt. Als Statusanzeige dienen drei zusätzliche LED. FUSELT1 und FUSELT2 zeigen an, ob an dem jeweiligen Eingang Spannung anliegt, während VDSFLT veranschaulicht ob an dem Drain der geschalteten Mosfet (Q1 und Q2) auch Spannung anliegt. Ist dies nicht der Fall, liegt ein Fehler vor.

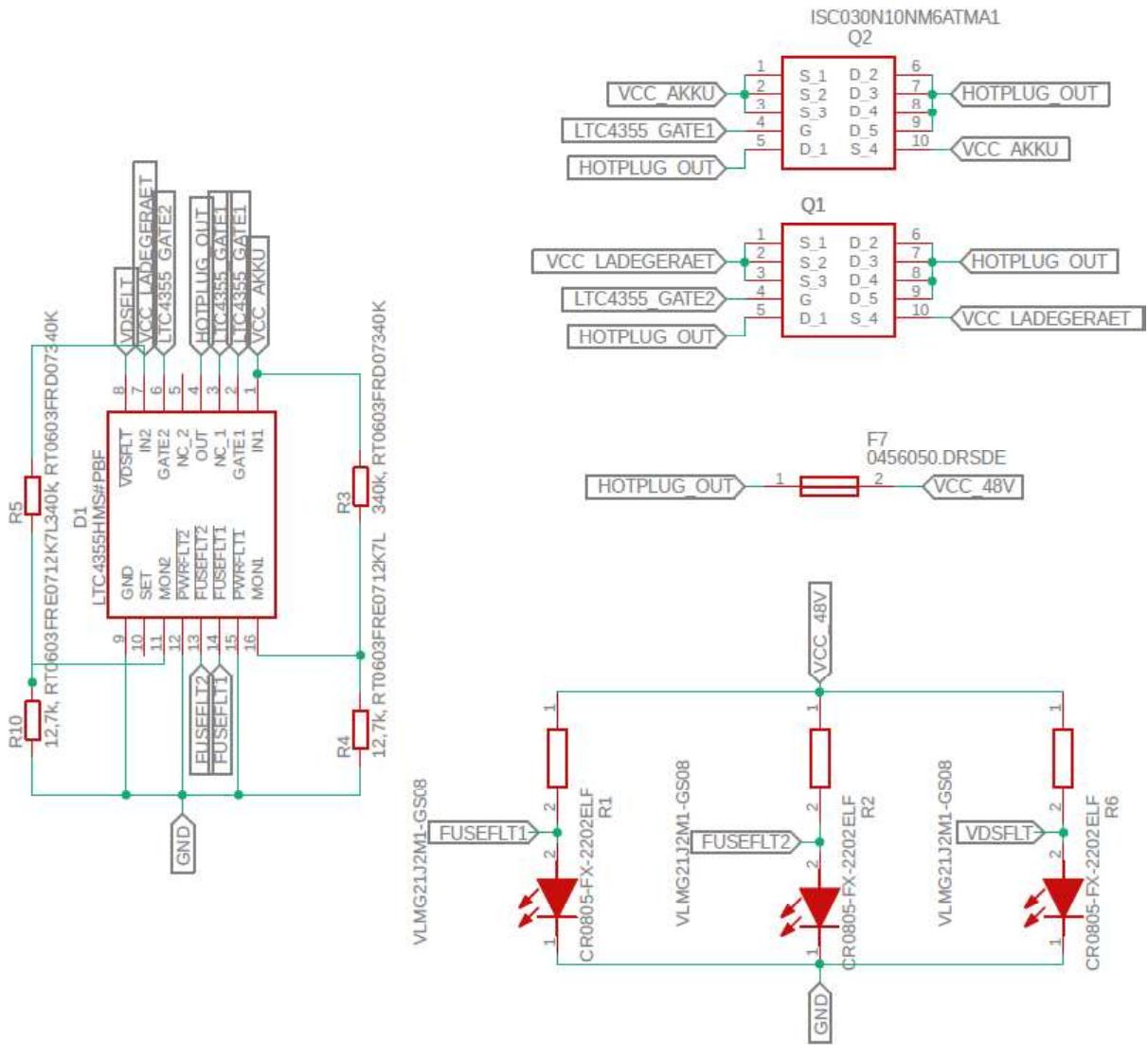


Abbildung 45: Verschaltung und Absicherung des Hotplug-Systems

Nachgelagert an dem Ausgang der Mosfet befindet sich die Sicherung F7, welche den maximal möglichen Strom auf 50 Ampere begrenzt. Dies wurde als Grenze für das vorliegende System definiert.

4.4.3 Messen und Schalten

Die in der Topologie zu findenden Mosfet, welche die Stromversorgung auf 48V-Ebene übernehmen, sind dargestellt in Abbildung 46 (U1 bis U4). Es wurde hierbei das Modell BTS50085-1TMA von Infineon gewählt. Der Mosfet U4 ist als Reserve vorgesehen. Sie verfügen auch über eine Messfunktion, welche den über sie fließenden Strom als Analogsignal (STM_..._Sense) ausgibt. Das Signal wird dann von dem eingesetzten Microcontroller ausgewertet, und kann somit auch softwaretechnisch die Information darüber gewinnen, welche Leistung die jeweiligen Verbraucher gerade aufnehmen und ob die als Belastbarkeitsgrenze festgelegten 50 Ampere überschritten werden. Somit besteht ein zusätzlicher softwareseitiger

Schutz der Komponenten. Die zwei Mosfet für die Motorcontroller und der Mosfet für den Arm werden von dem Microcontroller geschalten, während der für die interne Spannung und die damit verbundene Funktion des Microcontroller selbst wichtige Mosfet von einem externen Schalter am Gehäuse des Roboters geschalten wird. Dieser ist somit in der Funktion eines Ein- und Ausschalters. Damit der Mosfet die anliegende 48V-Spannung durchschaltet, muss dessen Eingang „SW“ auf Ground liegen

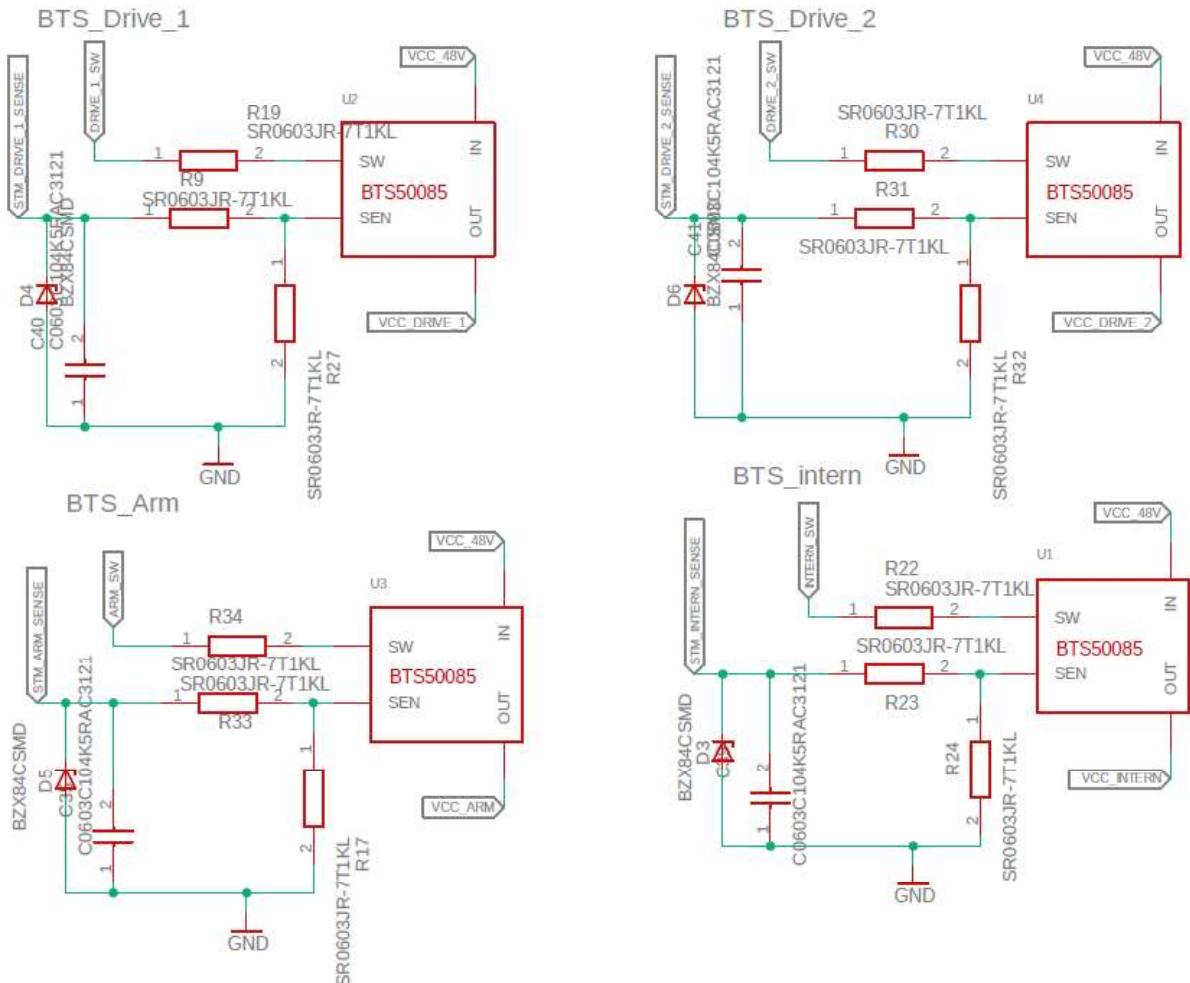


Abbildung 46: Verschaltung der BTS50085-1TMA

Hierbei wurde auch der Not-Aus-Schalter mit eingebunden. Sollte dieser betätigt werden, müssen schnellstmöglich alle Antriebe und der Roboterarm abgeschalten werden, um eine Gefährdung von Personen zu vermeiden. Dies wird über die Sperrung der Mosfet umgesetzt. Daher werden diese nicht direkt vom Microcontroller geschaltet, sondern über je einen Transistor (Q3 bis Q5). Dargestellt ist dies in Abbildung 47. Somit ergeben sich zwei Bedingungen für das Durchschalten des Mosfet. Zum einen, dass der Drain des Transistors auf High geschalten ist, was bedeutet der Microcontroller möchte den Mosfet schalten. Zum anderen, als Grundvoraussetzung, dass vom Not-Aus kommend das Signal-Level Ground vorliegt. Sollte nun der als Öffner ausgeführte Not-Aus betätigt werden, ist die Verbindung

getrennt und der Eingang des Mosfet liegt nicht mehr auf Ground, wodurch die 48 Volt Versorgung der Antriebe und des Armes nicht mehr vorhanden ist.

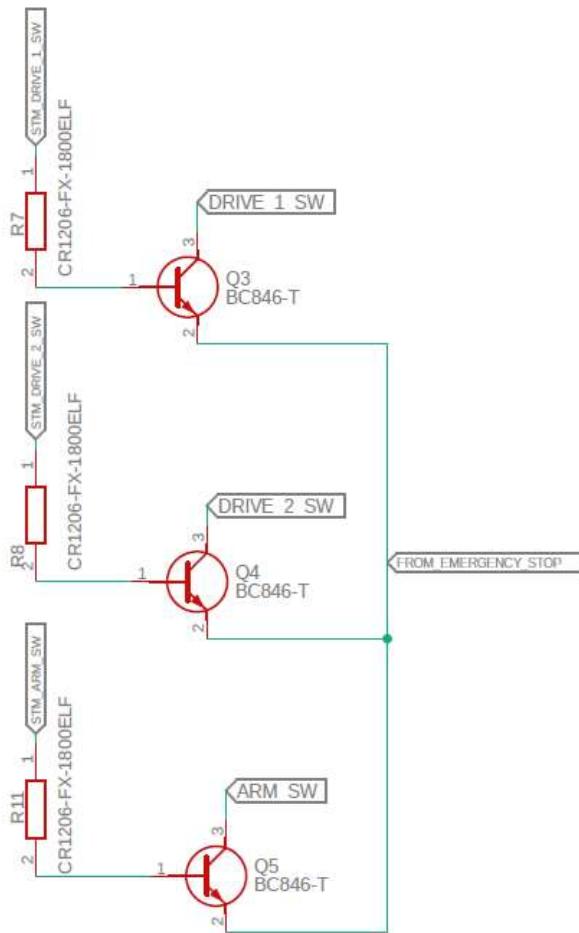


Abbildung 47: Verschaltung der Transistoren BC846 mit dem Not-Aus

Die Messung der Spannungslevel erfolgt über jeweilige Spannungsteiler. Dargestellt in Abbildung 48. Hierbei galt es zu beachten, dass die mögliche maximale Spannung an dem Analog-Pin „STM_48V_Sense“ selbst bei maximaler Ladeschlussspannung des Akkus nicht die 3,3V übersteigt. Die jeweiligen Signale der Spannungsteiler werden vom Microcontroller als Analogsignale ausgewertet. Während dies im Bereich von 12 Volt und 5 Volt vorrangig Monitoring-Zwecke erfüllt stellt es auf 48V-Ebene einen wichtigen Hinweis dar in welchem Ladestatus sich der Akku befindet. Sollte die Spannung hier unter einen spezifischen Wert fallen, können Antriebe deaktiviert werden, um eine vollständige Entladung des Akkus zu vermeiden.

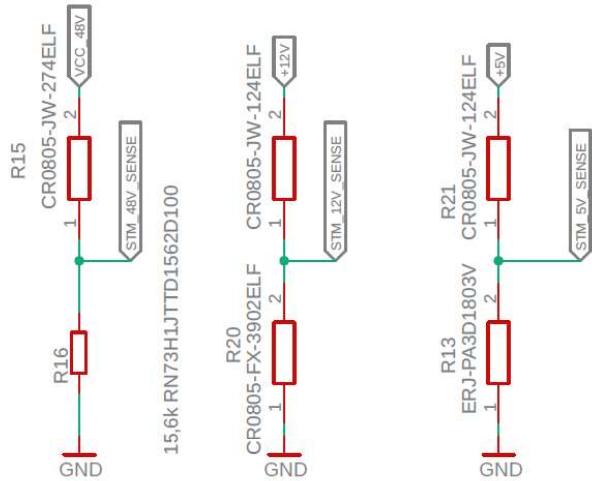


Abbildung 48: Spannungsmessung von 48V, 12V, 5V

Weiterhin wurde, um dies auch durch Audiosignale erkennbar zu machen ein Buzzer mit eingesetzt. Dieser sollte, je kritischer der Ladestand des Akkus ist sein Signal verändern.

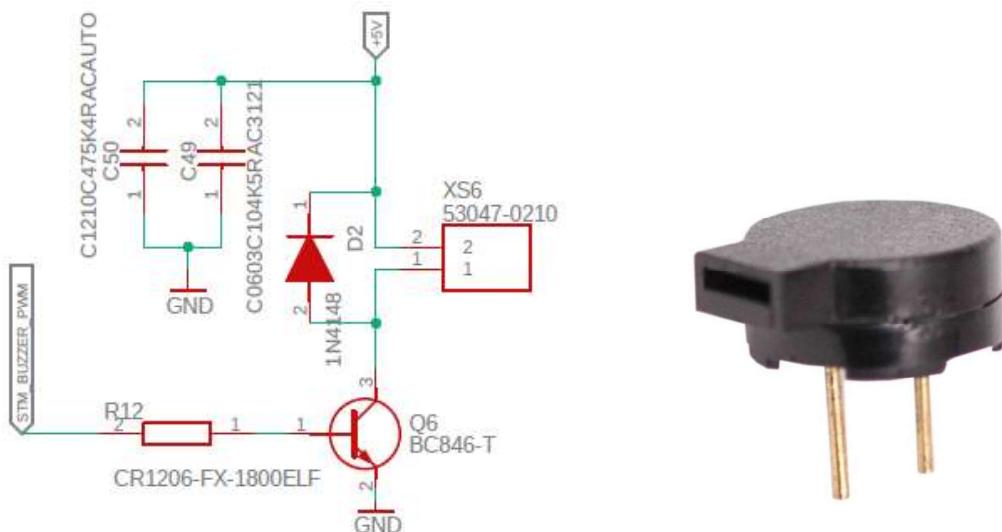


Abbildung 49: Buzzer für Audiosignal

Realisiert wird das über ein vom Microcontroller kommendes PWM-Signal, welches über einen Transistor weitergegeben wird. Der Buzzer kann flexibel im Gehäuse verbaut werden, da die Anbindung über einen Steckverbinder (XS6) erfolgt. Die Auswahl des Buzzers fiel hierbei auf das Modell CST-951RP-A.

4.4.4 Spannungswandlung

Es werden als Spannungslevel sowohl 5 Volt als auch 12 Volt erzeugt. Diese dienen dazu, die elektronischen Komponenten in dem Roboter zu versorgen. Die Auswahl für diesen Zweck fiel auf die Modelle PI3525-00 und PI3526-00 von VICOR. Vorteil davon ist, dass diese mit einem

großen Bereich an Eingangsspannung umgehen können und umgehend lieferbar sind. Weiterhin kann ein ähnlicher Aufbau der ICs erfolgen. Die einzigen Differenzen befinden sich in der Auswahl der Parameter in den mit zu verschaltenden Komponenten.

Wie in Abbildung 50 zu sehen, benötigt der IC einen Spannungsteiler durch die Widerstände R35 und R36, um damit die Ausgangsspannung auf den gewünschten Wert zu regeln. Weiterhin ist für die korrekte Funktionsweise des IC eine bestimmte Kapazität und Induktivität notwendig. In dem Strukturbild aus dem Datenblatt zu sehen ist dies „L1“ und „Cout“. Umgesetzt ist das im Schaltplan mit der Induktivität „L3“ und „L4“ (Modell FP0404 von Eaton) und den Kondensatoren zwischen VOUT und GND. Wichtig zu beachten ist, dass die Komponenten eine geeignete Strombelastbarkeit aufweisen. Der maximale Ausgangsstrom bei 5 Volt beträgt 22 Ampere, während er bei den 12 Volt des PI3526-00 noch 18 Ampere beträgt. Daher ist nachgelagert jeweils eine Sicherung verbaut, welche den Strom begrenzt (F3 und F4).

5V_Supply

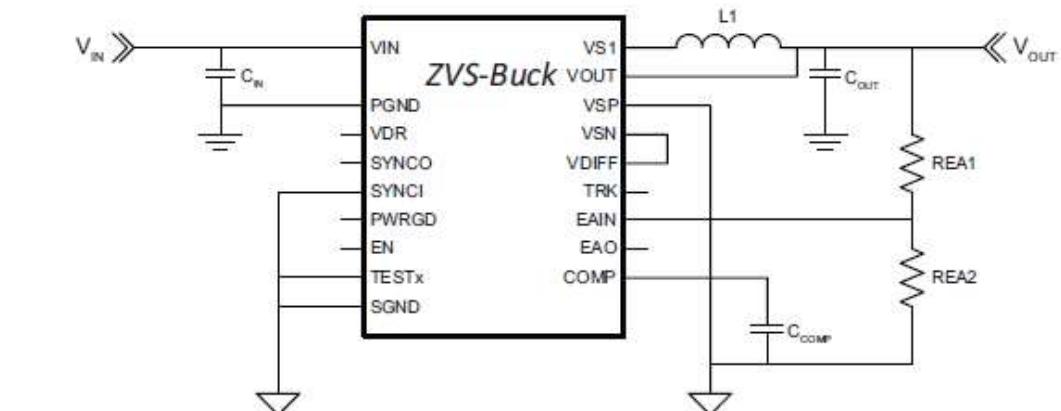
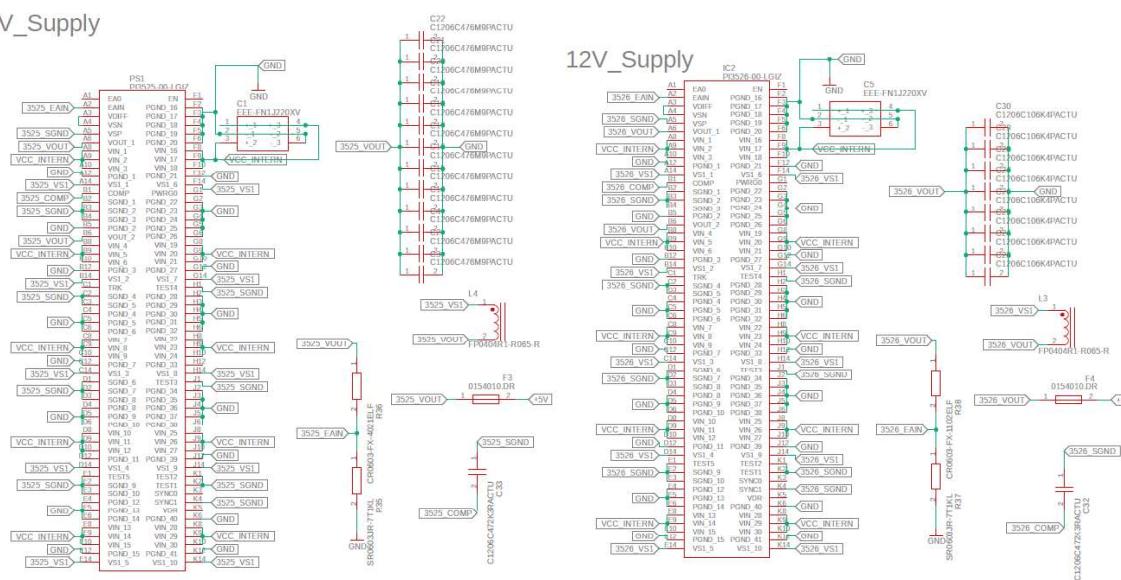


Abbildung 50: Verschaltung der Spannungswandler auf 5V und 12V

Weiterhin werden noch 3,3 Volt für den Microcontroller benötigt. Diese werden aus 5 Volt gewandelt. Zum Einsatz kommt hier der IC von Diodes Incorporated mit der Modellnummer

AP7365-33YG-13. Die maximale Strombelastbarkeit beträgt 0,6 Ampere, was für diesen Zweck ausreichend ist. Dargestellt ist die Verschaltung in Abbildung 51.

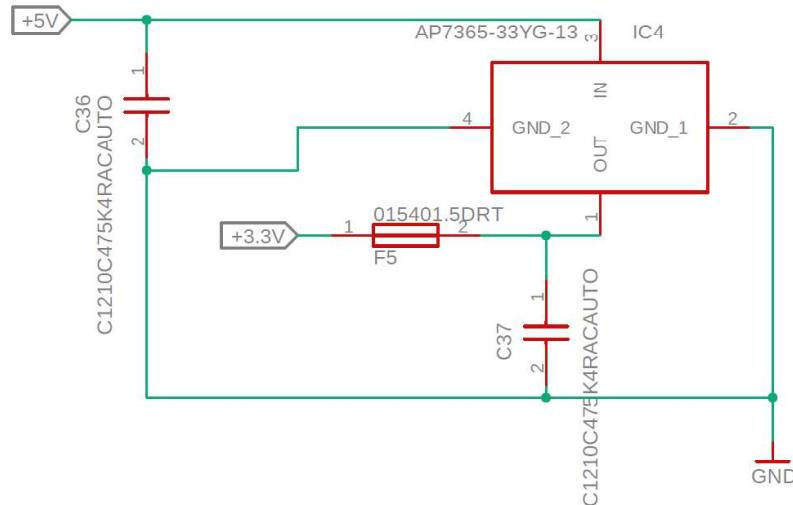


Abbildung 51: Spannungswandlung 3,3V

Weiterhin wird eine Sicherung verwendet, um den IC im Falle einer zu hohen Strombelastung zu schützen.

4.4.5 Microcontroller

Der verwendete Microcontroller ist das Modell STM32F303CCT6 des Herstellers STMicroelectronics. Die Wahl ist auf dieses Modell gefallen, da es die Anforderung nach einer USB-Schnittstelle, ausreichend Analog-Digital-Converter, einer kleinen Bauform und sofortiger Lieferbarkeit erfüllt. Weiterhin ist mit den Produkten dieses Herstellers am meisten Erfahrung vorhanden. Anschließend wurde in der STM32CubeIDE die Hardwarekonfiguration des Microcontrollers übernommen, was die Festlegung der Pins ermöglicht. Zwischen den 3,3V- und Ground-Pins welche als Versorgungsspannung dienen, sind wie in Abbildung 52 zu sehen, Kapazitäten eingefügt. Dies dient der Stabilisierung der Eingangsspannung. Die Taktfrequenz für den Microcontroller wird durch den Oszillator ECS-160-16-33B-CKM-TR erzeugt. Zur Bedienung im Fehlerfall und der Konfiguration des Microcontrollers werden gewisse, von außerhalb der Platine zugängliche Eingänge benötigt. Daher gibt es die Programmier-Schnittstelle XS7, welche das ermöglicht.

Microcontroller STM32

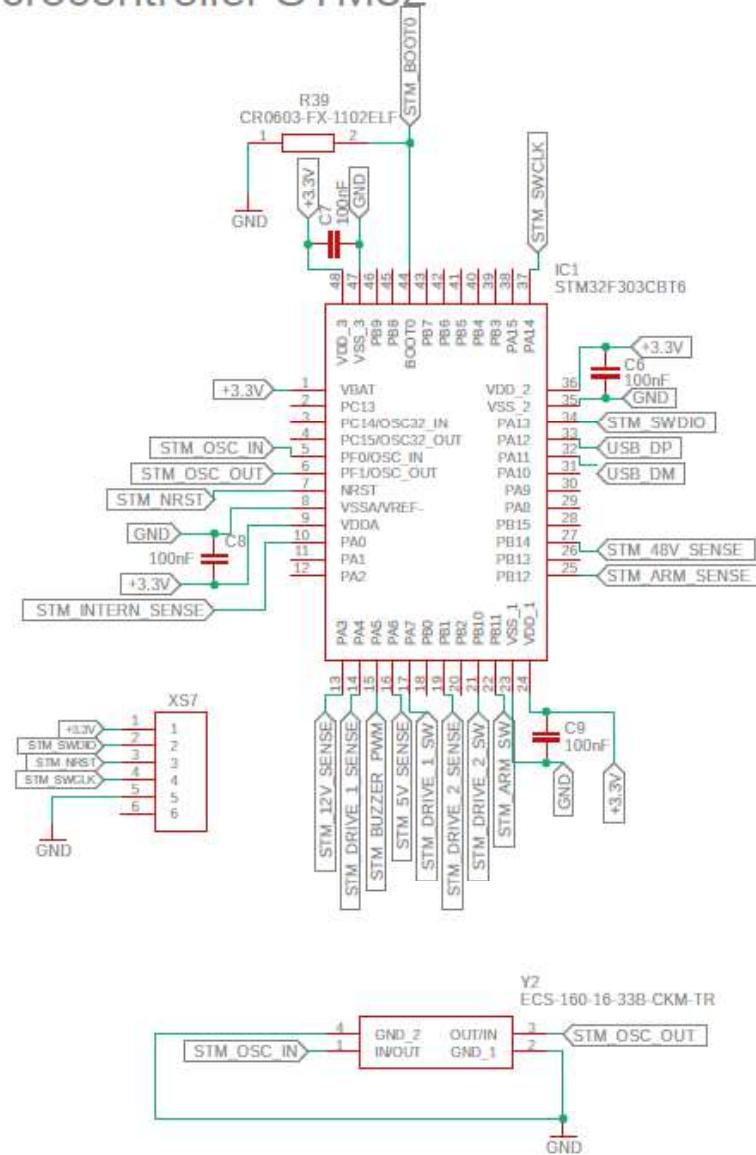


Abbildung 52: Verschaltung des Microcontrollers STM32F303CCT6

4.4.6 Konnektivität, Buchsen und Sicherungen

Ein essenzieller Bestandteil ist die Möglichkeit via einer USB-Schnittstelle mit dem Hauptrechner zu kommunizieren. Hierfür wird ein USB-Isolator eingesetzt, zu sehen in Abbildung 53. Dafür verwendet wird der IC ADUM3160BRWZ von ANALOG DEVICES. Die Beschaltung erfolgt hierbei nach Datenblatt des Herstellers. Als USB-Buchse kommt das Modell USB1030-GF-P-B-B von GCT zum Einsatz.

USB Isolator

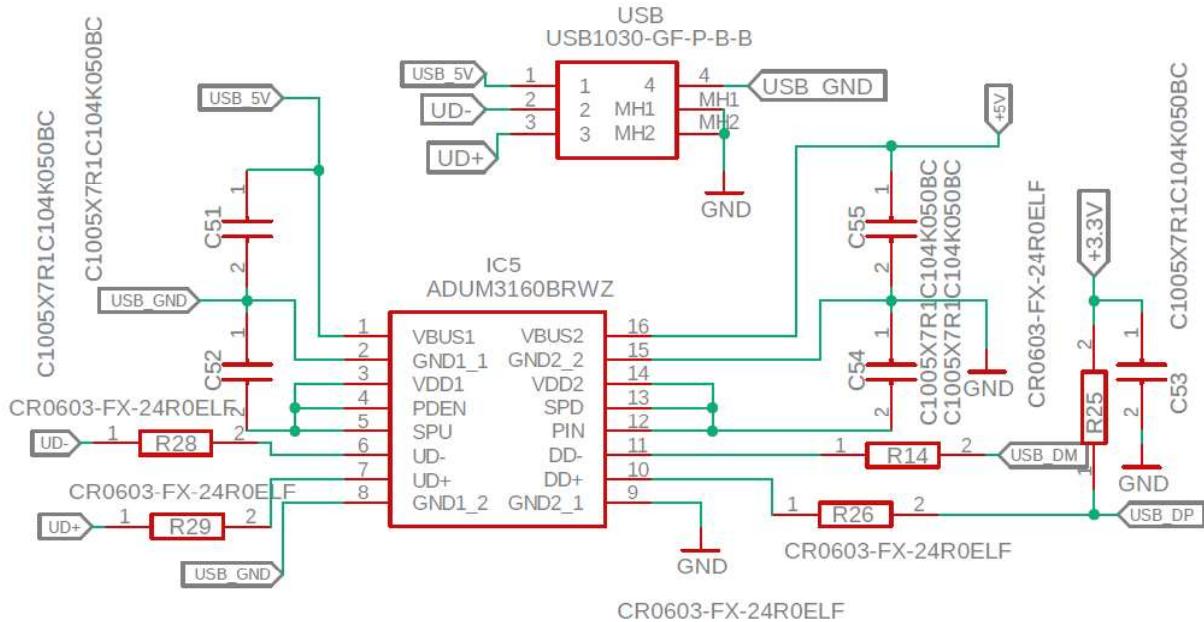


Abbildung 53: Verschaltung des USB-Isolators ADUM3160BRWZ und der USB-Buchse

Zur Leistungsübertragung wurde als Buchse in dem folgenden Platinendesign die Microfit-Serie von Molex verwendet (Teilenummer 0430450412). Vorteil hiervon ist eine kleine Bauform und eine durch das Poka-Yoke-Prinzip verdrehsichere Verbindungsposition von Buchse und Stecker. Diese befinden sich im Bereich der Lastverteilung auf 5V- und 12V-Ebene. Die Beschaltung ist, wie in Abbildung 54 zu sehen, immer gleich. Somit kann durch ein Vertauschen der einzelnen Stecker und Buchsen kein Fehler entstehen.

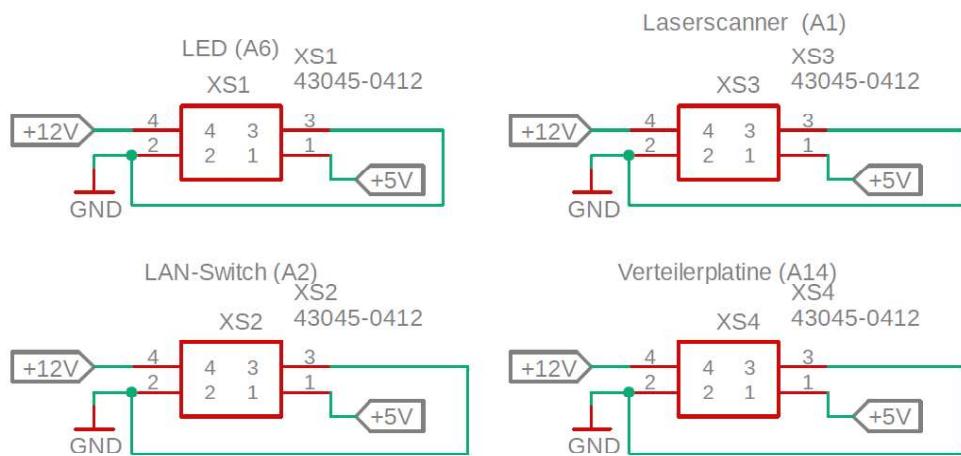


Abbildung 54: Molex Microfit

Durch die größere zu übertragende Leistung und um ein unbeabsichtigtes Vertauschen zu vermeiden ist im Bereich von 48 Volt das XT-Stecksystem zum Einsatz gekommen. Hierbei

werden für die Eingänge von Akku und Ladegerät mit den XT90PW-M die Male-Versionen der Buchsen verwendet. Hintergrund ist eine Vermeidung von Kurzschläßen durch Vertauschen von Ein- und Ausgängen sowie die durch Plastik getrennten Kontakte bei den Female-Versionen der Stecker. Bei den Ausgängen liegen mit Buchsen des Modells XT60PW-F die Female-Versionen vor, wodurch die Stecker wiederum Male-Versionen sein müssen und somit die Buchsen selbst schon die Isolation bieten.

Auf Signal-Ebene wird die PicoBlade-Serie von Molex (Teilenummer 0530470410) verwendet. Dies bietet eine zusätzliche Abgrenzung von der Last-Ebene, wodurch ein Vertauschen unmöglich und somit eine potenzielle Fehlerquelle ausgeschlossen wird.

Als Sicherungen kommt die Serie 451/453 sowie 154 für kleinere Ströme von Littelfuse zum Einsatz. Vorteil ist die wie in Abbildung 55 zu sehende, äußerst kleine Bauform der Sicherungen selbst, sowie der Sicherungshalter.



Abbildung 55: Sicherungen LittelFuse

Die Absicherung der Spannungslevel befindet sich in der Tabelle 1.

Tabelle 5: Absicherung der Spannungslevel

Spannungslevel	Absicherung
48 V	50 A
12 V	10 A
5 V	10 A
3,3 V	1,5 A

4.4.7 Platinendesign

Zur Erstellung der Verschaltung und des Hardwaredesigns wurde die Software EAGLE von Autodesk verwendet. Das Design der Platine ist in Abbildung 56 dargestellt. Auf der unteren linken Seite befinden sich die Eingänge von Akku und Ladegerät, sowie direkt das Hotplug-System. Da hier Ströme von bis zu 50 Ampere fließen können, sind Polygonformen als Leiterbahnen verwendet worden. Diese ziehen sich am linken Rand weiter nach oben hin zu den XT60-Buchsen für die Antriebe und den Roboterarm, da hier die meiste Leistung benötigt wird. Direkt rechts daneben ist die USB-Buchse zu sehen. In der Ecke rechts unten befindet

sich die Buchse, welche in das Oberdeck führt, um den PC zu versorgen. Die Linke der unteren beiden XT60-Buchsen ist die Reserve für mögliche zukünftige Anwendungen, bei denen eine schaltbare 48V-Quelle benötigt wird. Auf der Unterseite der Platine befindet sich eine Groundplane, hier zu sehen in Blau, welche die Stromrückführung zum Eingang gewährleistet. Am rechten Rand der Platine ziehen sich die Leiterbahnen für 5 Volt und 12 Volt nach oben hin zu den Microfit-Buchsen für Komponenten im Fahrwerk und die Durchführung in das Oberdeck. Im zentralen Bereich der Platine befindet sich der Microcontroller sowie passive Komponenten für die notwendige Beschaltung der ICs. Des Weiteren sind zwei Bohrungen für die Befestigung der Platine vorgesehen. Die Buchsen sind soweit es platztechnisch möglich ist, gewinkelt und seitlich an der Platine angebracht, um die Bauform möglichst flach zu halten.

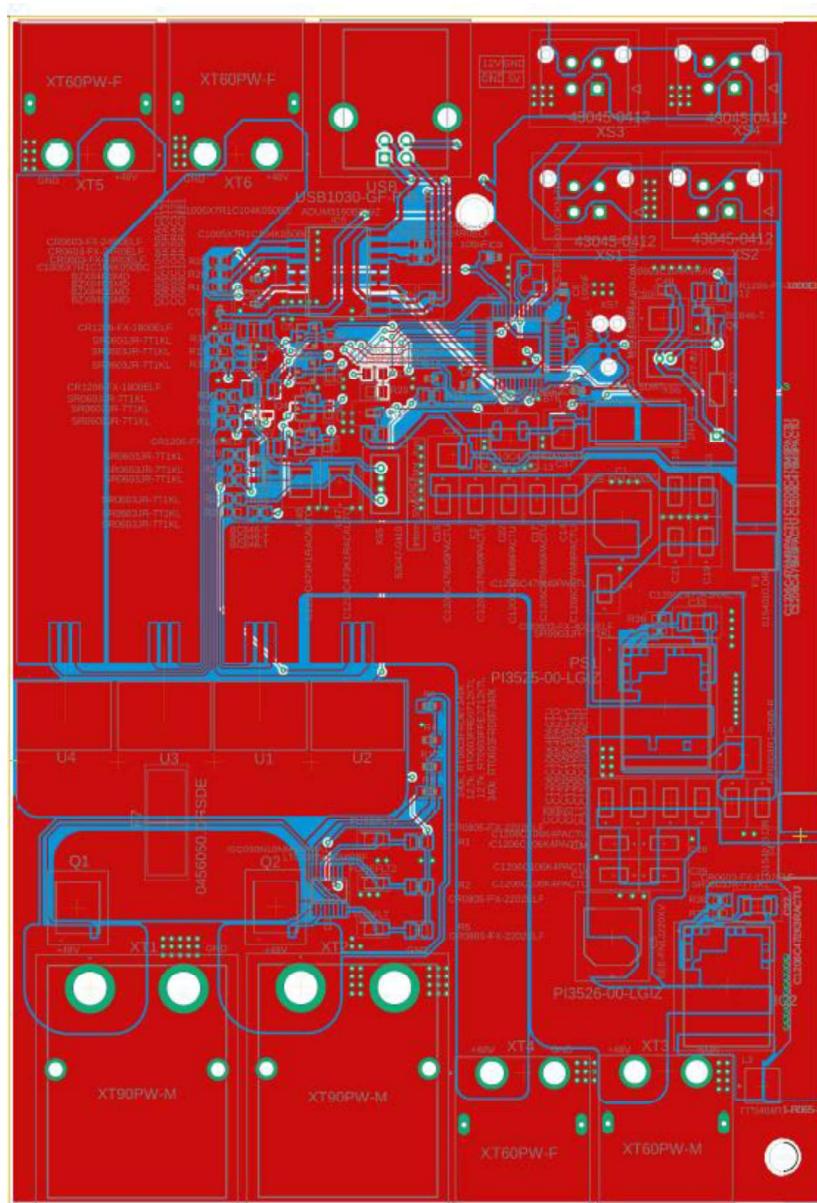


Abbildung 56: Darstellung Routing Messplatine

4.5 Verteilerplatine

Die im Vergleich zur Messplatine simple Aufgabe dieser Platine ist es, im Oberdeck die Spannungsversorgung der Komponenten sicher zu stellen. Dies geschieht durch eine Einspeisung von der Messplatine und umfasst ein Stecksystem, welches es ermöglicht durch die Konfiguration eines passenden Steckers das gewünschte Spannungslevel für einen Verbraucher abzugreifen. Dieses Stecksystem ist in der rechten Hälfte der Platine in Abbildung 57 zu sehen.

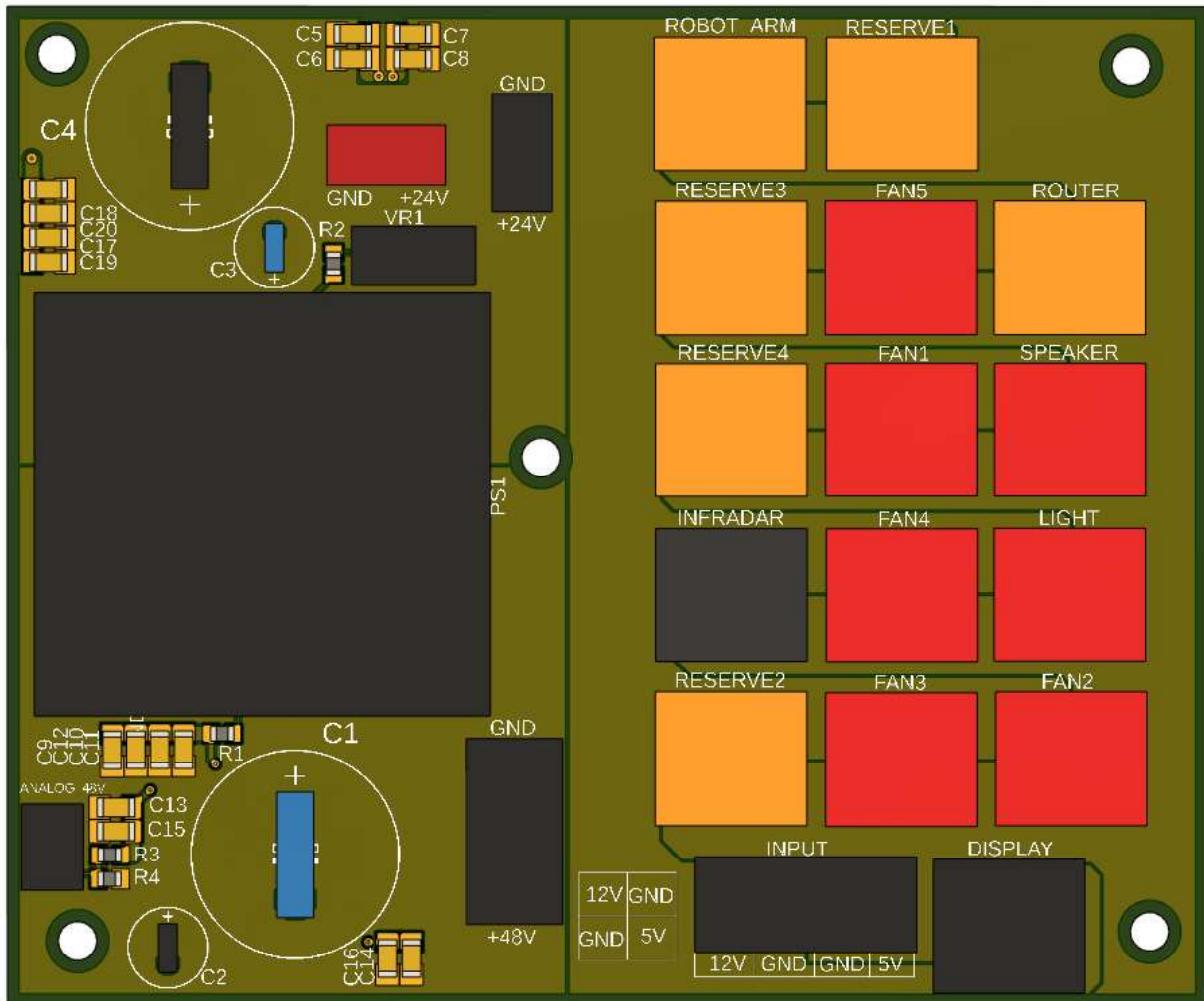


Abbildung 57: Darstellung der Verteilerplatine

Durch die gleiche Beschaltung der Buchsen auf der Platine ist es nicht möglich durch ein Vertauschen der Stecker und Buchsen einen Fehlerfall zu verursachen. Lediglich bei der Einspeisung liegt eine einreihige Buchse vor. Hier wird wieder das Microfit-Stecksystem der Firma Molex verwendet. Es liegen pro Stecker die Spannungslevel Ground, 5V und 12V vor. Zur korrekten Konfiguration des Steckers ist die Einteilung mittig unten aufgedruckt.

Auf der linken Hälfte befindet sich die Umwandlung der 48V zu 24V. Dies dient lediglich der Versorgung des PC-Netzteil. Hierzu wird der DC/DC-Wandler (PS1) mit der Modellnummer i7A4W033A033V-0F1-R von TDK benutzt. Die Leistung von 500 Watt genügt, um den PC zu versorgen und das Spannungslevel ist variabel verstellbar. Die Verschaltung besteht aus diversen Kondensatoren und einem Trimm-Widerstand (VR1) zur Regulierung des Spannungslevels. Dargestellt in Abbildung 58.

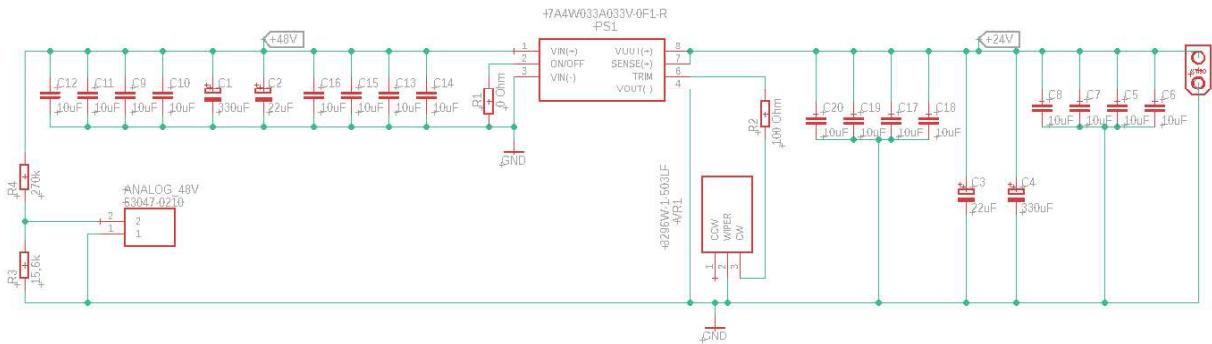


Abbildung 58: Spannungswandlung für das PC-Netzteil

Zusätzlich wurde mit den Widerständen R3 und R4 ein Spannungsteiler vorgesehen welcher über den Stecke mit der Beschriftung "Analog_48V" ein Analogsignal von 0V bis 3,3V abhängig von der anliegenden Akkusspannung liefert. Das ermöglicht ein einfaches Auslesen mittels zusätzlicher Peripherie und lässt auf den Ladezustand des Akkus schließen. Diese Aufgabe wird auch von der Messplatine im Fahrwerk übernommen, welche über USB mit den anderen Komponenten im Roboter kommuniziert, jedoch dient diese einfache Art der Messung als Redundanz für mögliche zukünftige Anwendungen.

4.6 Platine für Display

Das verwendete und in Abbildung 59 links dargestellte 2,8 Zoll Touch-Display von TRU Components passt bezüglich seines Footprint mit den Steckern genau auf einen Arduino Uno R3. Allerdings reicht dessen Arbeitsspeicher nicht für die gewünschte Anwendung aus. Daher findet bei dem aktuellen Roboter ein in der Abbildung rechts dargestellter Teensy 4.0 Verwendung, welcher allerdings mit einzelnen Drähten angelötet worden ist.

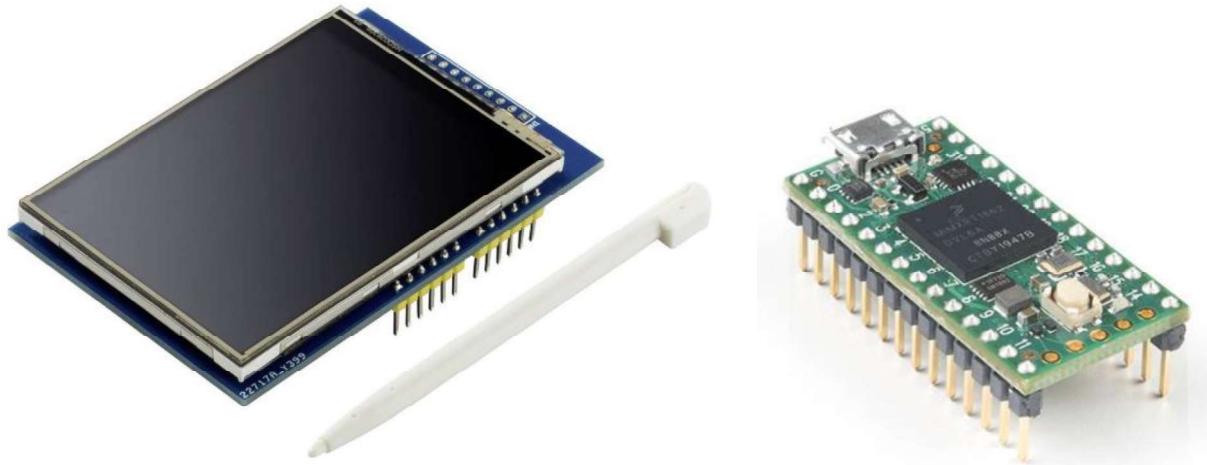
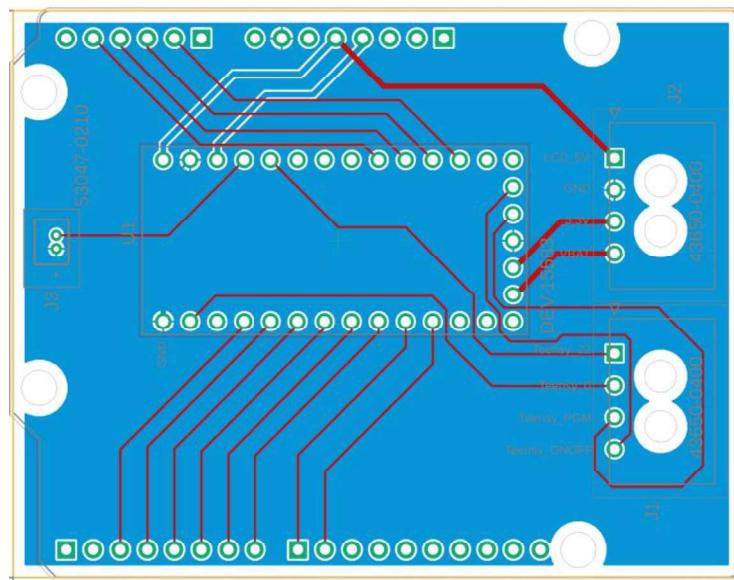


Abbildung 59: Display (links) und Teensy 4.0 (rechts)

Um diesen Zustand zu verbessern und eine gewisse Flexibilität zu schaffen, wurde eine Adapterplatine entworfen. Dargestellt ist das Routing in Abbildung 60. Die Geometrie eines Arduino UNO sowie dessen Steckplätze wurden beibehalten, während mittig der Teensy gesockelt wird. Das bietet eine Auswechselbarkeit der Hardware. Falls zukünftig doch ein Arduino oder eine neuere Version des Teensy verwendet werden soll, können alle Teile zerstörungsfrei voneinander getrennt werden. Links befindet sich eine Buchse für ein Analogsignal und rechts weitere mögliche Konnektivitäten für zukünftige Anwendungen. Das System wird über den USB-Anschluss des Teensy versorgt.



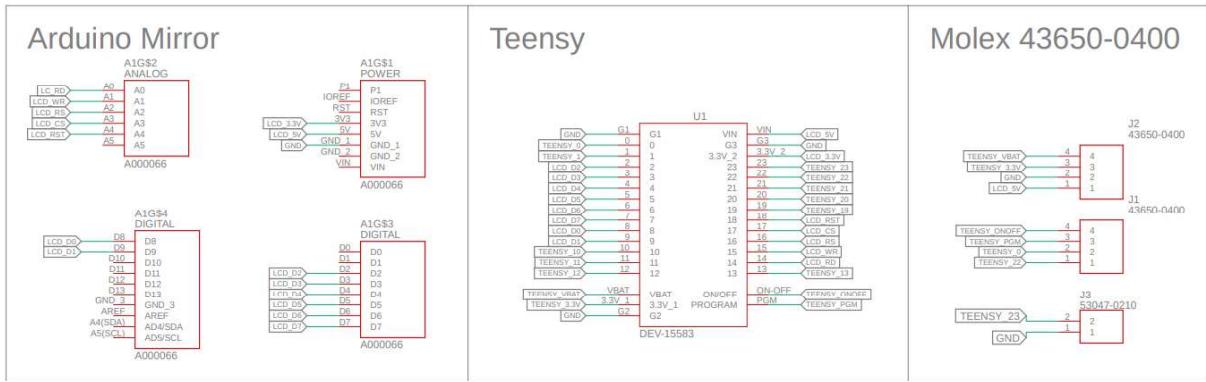


Abbildung 61: Darstellung Verschaltung der Platine für Display

4.7 Gehäuse der Messplatine und der Verteilerplatine

4.7.1 Gehäuse der Messplatine

Das Design sowohl von der Messplatine als auch von ihrem Gehäuse ist durch den Platz im Roboterbase eingeschränkt. Deshalb konnten nicht alle Stecker an der Seite angebracht werden, sodass einige nach oben gerichtet werden mussten. Die Abbildung 62 zeigt das CAD-Modell der Messplatine mit (ausschließlich) den entsprechenden Steckern, weil diese für die Konstruktion des Gehäuses wichtig waren.

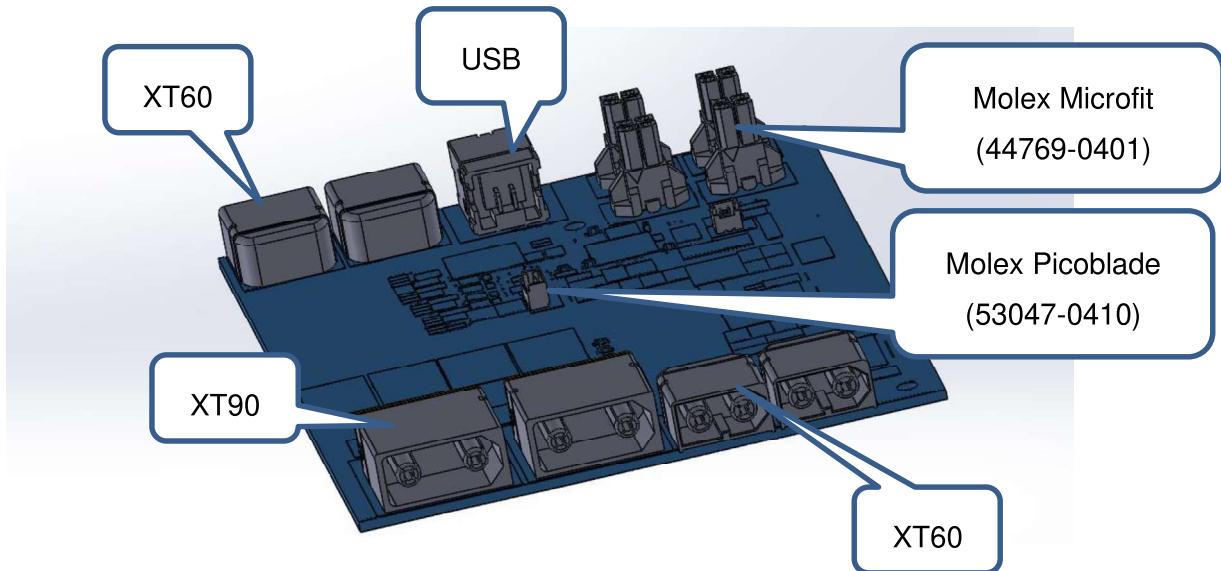


Abbildung 62: Messplatine mit den Steckern

Basierend darauf konnte das Gehäuse aus der Abbildung 63 konstruiert werden. Es besteht aus zwei Teilen. Der untere Teil, der für die seitlichen Stecker mit seitlichen rechteckigen Öffnungen versehen ist und mittels 3mm großen runden Öffnungen einen gewissen Luftaustausch gewährleistet. Genau 3mm wurden hier ausgewählt, weil kleinere Öffnungen problematisch zu Drucken wären und größere die Sicherheit gegen Berühren nicht

gewährleisten könnten. Zudem wurden vier Befestigungsbeinchen vorgesehen, damit das Gehäuse am innen Rande des seitlichen Faches der Roboterbase befestigt werden kann. Der zweite Teil ist der Deckel des Gehäuses. Es sind zwei Öffnung zum Einsticken vorgesehen worden die groß genug sind damit die Stecker Platz haben und klein genug sind damit der gesamte Deckel nicht offen ist. Auch hier wurden Lüftungsschlitz (Dreieckförmig) vorgesehen.

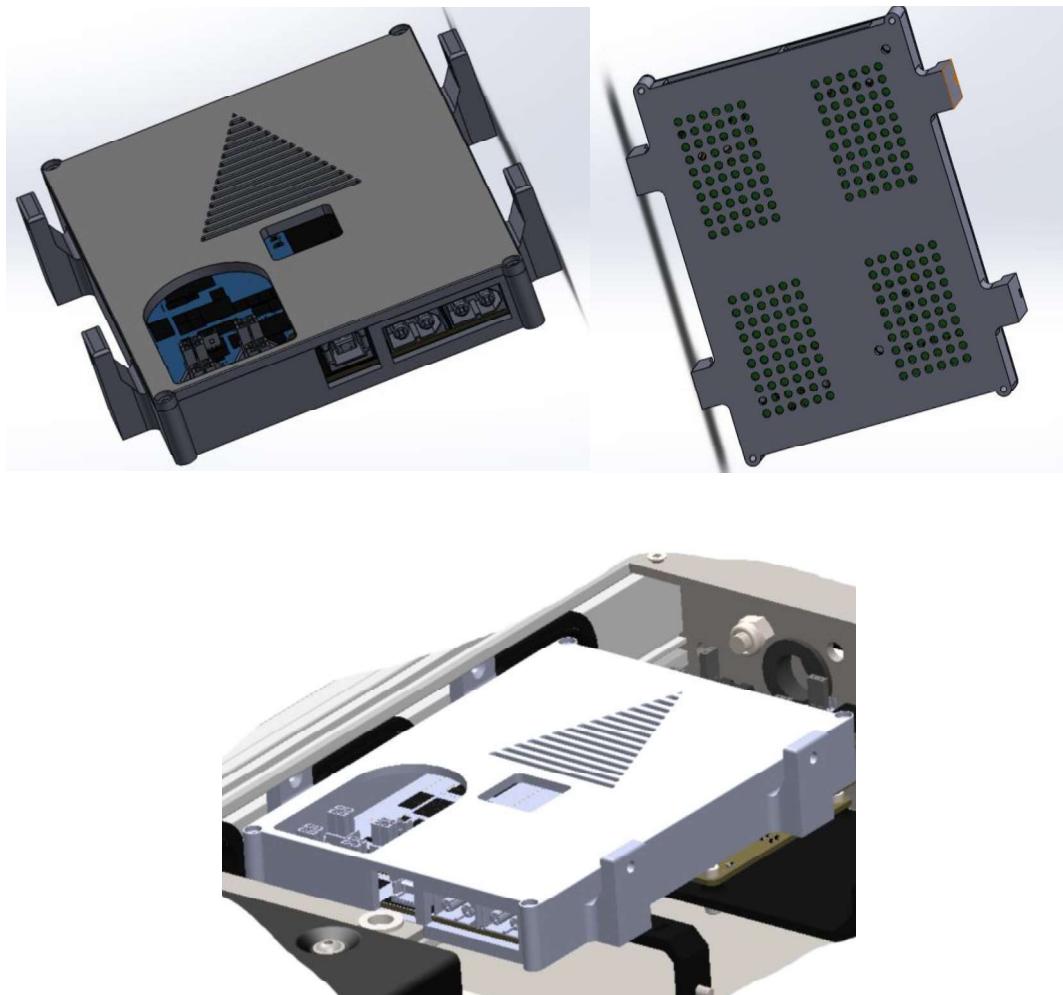


Abbildung 63: Gehäuse der Messplatine

4.7.2 Gehäuse der Verteilerplatine

Um die Spannungsverteilung im Oberdeck ausfallgeschützt sicherzustellen, wird ein Gehäuse für die Verteilerplatine entworfen. Im Gegensatz zur Messplatine werden hier alle Stecker nach oben gerichtet. Das heißt, dass kein Deckel für das Gehäuse vorgesehen wird. Basierend auf den Abmessungen der Verteilerplatine wurde das CAD-Modell, wie in Abbildung 64 zu sehen, modelliert.

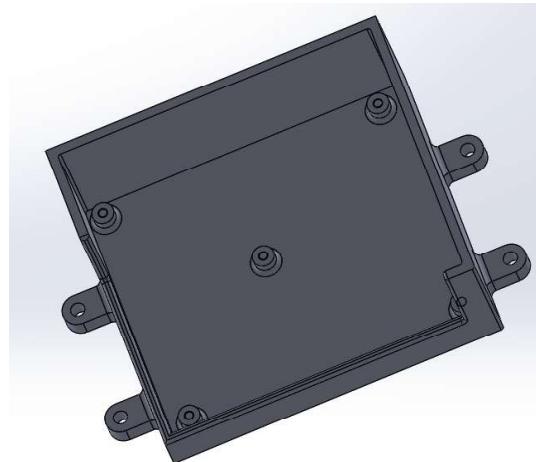


Abbildung 64: Gehäuse für die Verteilerplatine

Das Gehäuse wurde so tief aufgebaut, damit die Stecker nicht außerhalb des Gehäuses stehen und somit bestmöglich geschützt sind. Zur Befestigung der Platine wurden Erhöhungen mit M3 Gewindebohrungen vorgesehen. Zudem sollte das Gehäuse selbst am Oberdeck befestigt werden. Dazu wurden seitliche Verlängerungen mit Stirnsenkung für M3 eingebaut. Abbildung 65 zeigt den Einbau des Gehäuses samt Platine im Oberdeck.

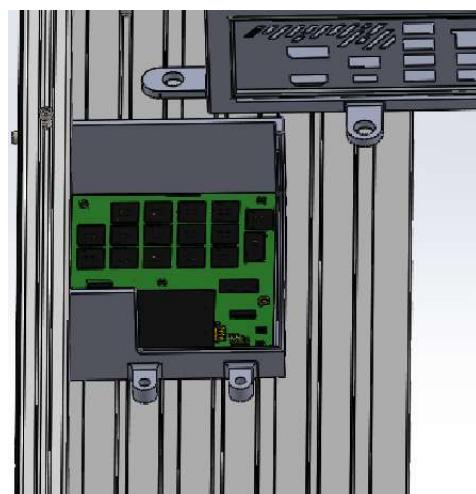


Abbildung 65: Einbau des Gehäuses im OhmniBot

5 Arbeitspaket 4 – Kommunikation

Das vierte Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Kommunikation und Datenverarbeitung des Roboters. In diesem Kapitel werden besonders die Komponenten für die externe als auch die interne Kommunikation betrachtet. Hierzu zählen zum Beispiel der Steuerrechner, Kopplungselemente für LAN- und USB-Verbindungen, WLAN-Router und diverse weitere Komponenten. Im folgenden Kapitel wird auf jedes Element einzeln eingegangen und die Verwendung im Gesamtkonzept der Roboterplattform erläutert.

5.1 Analyse der bisherigen Peripheriegeräte für Kommunikation und Datenverarbeitung des alten OhmniBot

Im folgenden Abschnitt wird dargestellt, welche Peripheriegeräte für die Kommunikation und die Datenverarbeitung des bestehenden OhmniBot genutzt werden. Zusätzlich wird deren Aufgabe und das Zusammenspiel dieser Komponenten analysiert.

5.1.1 Datenverarbeitung OhmniBot

Für die Datenverarbeitung besitzt der Ohmibot einen Steuercomputer. Dieser ist sowohl über ein LAN- als auch über ein USB-Netzwerk mit allen Komponenten, die für die Kommunikation, Datenerhebung oder Steuerung zuständig sind, verbunden. Durch die Komplexität der Daten, die verarbeitet werden müssen, ist ein leistungsfähiger Computer nötig. Die Komponenten des Steuercomputers aus dem OhmniBot sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Besonderheiten des Steuercomputers sind zum einen die Größe, weshalb das Mainboard mit einem Mini-ITX Formfaktor ausgeführt ist und zum anderen die passive Spannungsversorgung der Grafikkarte. Die Grafikkarte wird demnach ausschließlich mit 75 Watt über die PCIe 3.0 x16 Schnittstelle vom Mainboard versorgt und besitzt keine externe Stromversorgung. Um von außen Peripheriegeräte an den Steuercomputer anschließen zu können sind Steckerbuchsen an der Außenhülle des OhmniBot angebracht, die innerhalb des Robotergehäuses mit Kabeln an den Computer angeschlossen sind.

Tabelle 6: Komponenten vom Steuercomputer des OhmniBot

Komponente	Bezeichnung
Prozessor	AMD Ryzen 7 3700X
CPU-Kühler	Noctua NH-L9a-AM4
Mainboard	ASUS ROG STRIX B450-I GAMING
Grafikkarte	MSI GeForce GTX 1650 Ventus XS 4G OC
Arbeitsspeicher	Corsair DIMM 32GB DDR4-3200 Kit
Festplatte	Samsung 970 EVO Plus 500 GB
Stromkabel	goobay Internes Stromkabel ATX 8p auf 4p
Riser-Kartenadapter	LINKUP – ULTRA Umgekehrter GPU-Sockel

5.1.2 Externe Kommunikation OhmniBot

Um von außen auf den Steuercomputer des OhmniBot zugreifen zu können, ohne eine Tastatur, eine Maus und einen Bildschirm anschließen zu müssen, wird durch einen verbauten WLAN-Router ein eigenes Netzwerk aufgebaut, welches keine Verbindung zum Internet besitzt. In das WLAN-Netzwerk kann sich jedoch ein Benutzer einwählen und die Steuerung über den OhmniBot übernehmen.[5, S. 22]

Um ein eigenes Netzwerk aufzubauen und im gewünschten Anwendungsfall nutzen zu können, wurde der Router softwaretechnisch mit DD-WRT modifiziert. DD-WRT ist eine kostenlose Open-Source Firmware, die auf einem Linux Betriebssystem arbeitet und die Originalfirmware des Herstellers auf dem Router ersetzt. Durch die Firmware erhält der Router diverse zusätzliche Funktionen, die zuvor nicht in der Firmware des Herstellers enthalten waren. Die für den Anwendungsfall entscheidende ist das Verwalten drahtloser Zugriffspunkte.[6], [7]

Als WLAN-Router wird im OhmniBot das Modell Archer C7 des Herstellers TP-LINK genutzt. Der Router besitzt ein simultanes Dualband und kann 450 Mbit/s auf dem 2,4 GHz Band und 1300 Mbit/s auf dem 5 GHz Band übertragen. Für die Übertragung nutzt der Router drei Antennen, die im OhmniBot nicht direkt am Router, sondern mit Verlängerungskabeln an der Außenhülle des Roboters angebracht sind. Der Router besitzt vier LAN- und einen USB-Anschluss. Um Platz zu sparen wurde im OhmniBot das originale Gehäuse des Routers durch ein 3D gedrucktes Gehäuse ersetzt.[8]

Eine weitere externe Kommunikationsform des OhmniBot stellt die RGB-Unterbodenbeleuchtung dar. Diese dient als visuelle Kommunikation des Roboters mit einem Beobachter, da der Roboter mit verschiedenen Lichtmustern mitteilen kann, in welchem Zustand sich seine Statemachine befindet beziehungsweise welche Aufgabe er gerade ausführt [5, S. 12]. Für die Erzeugung der Lichtmuster werden LED-Lichtstreifen genutzt, die am Unterboden befestigt sind. Gesteuert werden diese von einer Steuerplatine, die eine USB-Schnittstelle besitzt, durch die das Signal für das gewünschte Lichtmuster übertragen wird.

5.1.3 Interne Kommunikation OhmniBot

Für die interne Kommunikation der Komponenten untereinander, werden im OhmniBot verschiedene Datenübertragungssysteme (LAN, USB, CAN) genutzt. Durch die große Anzahl an Komponenten werden für das LAN- und das USB-Netzwerk Kopplungselemente benötigt:

- LAN-Switch

Der LAN-Switch wird im OhmniBot benötigt, um drei Laserscanner mit drei separaten Ethernet Kabeln auf ein Ethernet Kabel zu bündeln. Dadurch kann ein Kabel genutzt werden, um die LAN-Verbindung zum Oberdeck via eine Durchführung herzustellen. Genutzt wird im OhmniBot der LAN-Switch DGS-105 des Herstellers D-Link, bei dem das originale Gehäuse des Routers durch ein 3D gedrucktes Gehäuse ersetzt wurde.

- USB-Hub

Der USB-Hub wird im OhmniBot benötigt, um diverse Komponenten (zum Beispiel die Messplatine oder die LED-Ansteuerung), die mit dem USB-Netzwerk arbeiten von mehreren USB-Kabeln auf eine USB-Kabel zu bündeln. Dadurch kann ein Kabel genutzt werden, um die USB-Verbindung zum Oberdeck via eine Durchführung herzustellen. Genutzt wird im OhmniBot der 4-Port USB-Hub des Herstellers Sharkoon, bei dem das originale Gehäuse des Routers durch ein 3D gedrucktes Gehäuse ersetzt wurde.

Für den Antrieb des OhmniBot werden eigens entwickelte Motorcontroller genutzt. Die beiden Motorcontroller sind als Stack ausgeführt und werden durch eine CAN-Schnittstelle angesteuert. Ein Mikroprozessor auf den Motorcontrollern verarbeitet die Regelparameter und Steuerbefehle und setzt diese in einer Regelschleife um. Als Ergebnis geben die Motorcontroller an den Motorausgängen errechnete Spannungswerte aus, die der gewünschten Fahrbewegung des OhmniBot durch die Motoren entsprechen.[5, S. 28]

Der Motorcontroller arbeitet als Regelgröße mit den vom am Motor befestigten Drehgebern. Diese werden auf den Motorcontroller geführt und geben Informationen über die genaue Position der Antriebswelle des Motors.

5.2 Peripheriegeräte für Kommunikation und Datenverarbeitung der neuen Roboterplattform

Im folgenden Abschnitt wird dargestellt, welche Peripheriegeräte für die Kommunikation und die Datenverarbeitung der neuen Roboterplattform genutzt werden. Zusätzlich wird deren Aufgabe und das Zusammenspiel dieser Komponenten analysiert.

5.2.1 Kommunikationsplan der neuen Roboterplattform

Zum besseren Verständnis der Kommunikation wird ein Kommunikationsplan erstellt. Dieser unterscheidet sich deutlich von dem der alten Roboterplattform. Das Fahrwerk ist dargestellt in Abbildung 66. Der Motorcontroller ist per Ethernet am LAN-Switch verbunden, somit entfällt der zusätzliche CAN-Adapter. Dafür ist bei dem aktuellen Roboter nur ein Laserscanner vorhanden. Die Kommunikation mittels USB findet zwischen der Messplatine, LED-Steuerung und dem Steuerrechner durch einen USB-Hub und der Durchführung statt.

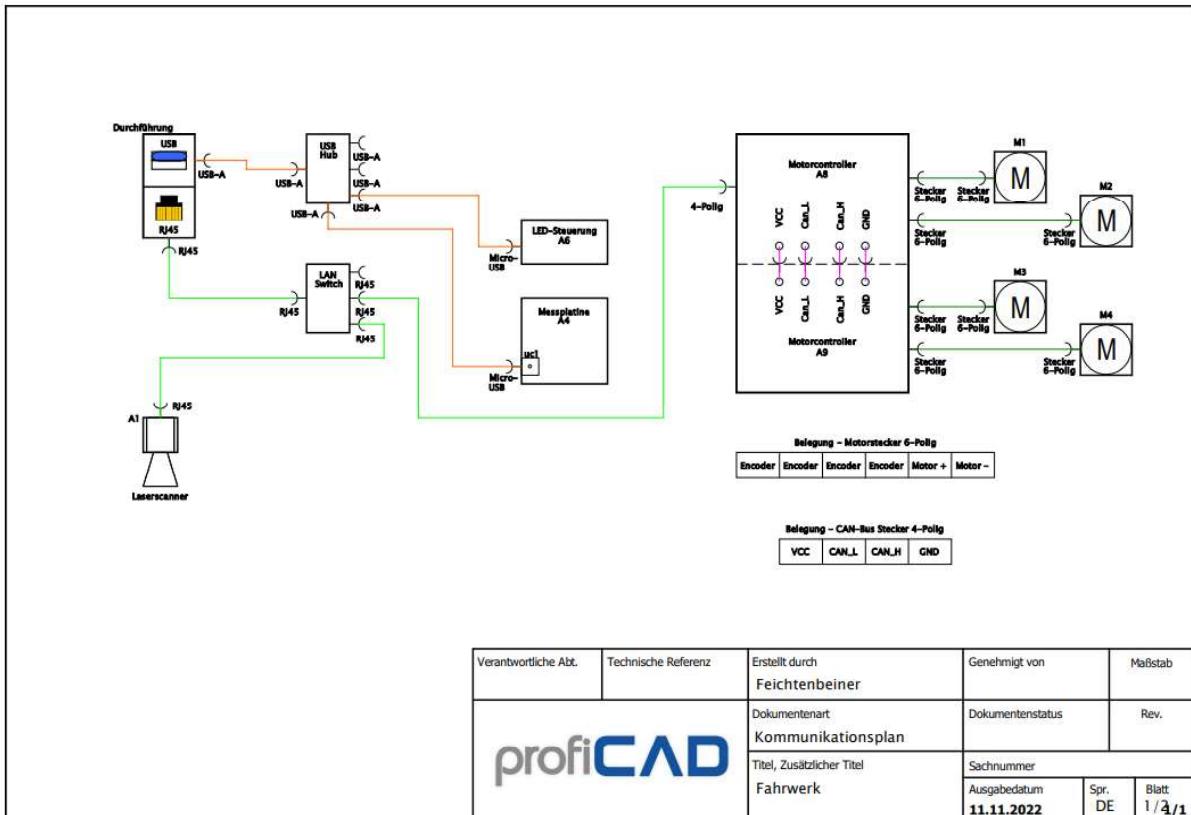


Abbildung 66: Kommunikationsplan für das Fahrwerk der neuen Roboterplattform

Die zentrale Komponente im Oberdeck ist der Steuerrechner. Dieser kommuniziert via Ethernet und USB mit den anderen Komponenten. Durch die zwei USB-Anschlüsse und die HDMI-Buchse in der Peripherie ist es möglich Maus, Tastatur und Bildschirm anzuschließen. Somit kann der PC auch bei Verbindungsstörungen vollwertig benutzt werden, ohne dass eine Demontage des Chassis notwendig ist. Die Infradar-Sensoren kommunizieren nativ per CAN-Bus, was einen Adapter benötigt. Dargestellt in Abbildung 67.

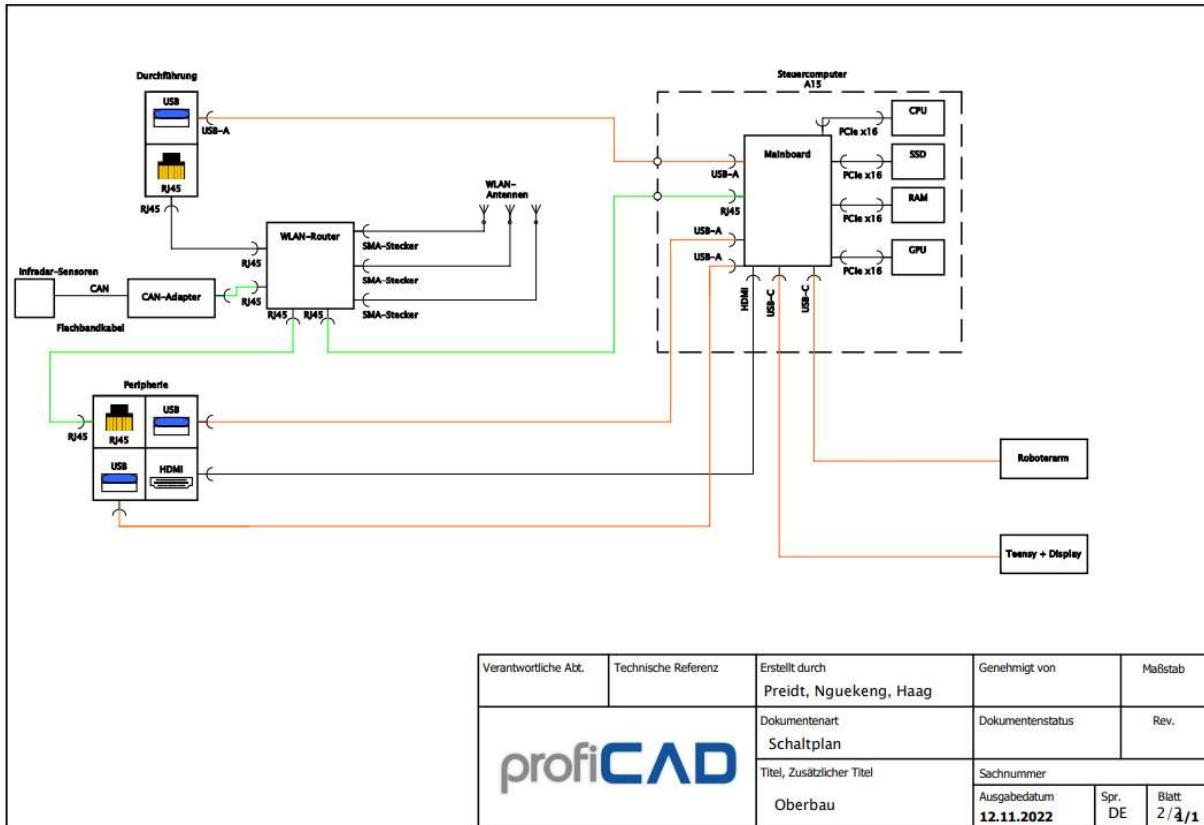


Abbildung 67: Kommunikationsplan für das Oberdeck der neuen Roboterplattform

5.2.2 Datenverarbeitung

Wie auch der OhmniBot wird in der neuen Roboterplattform ein Steuercomputer zur Datenverarbeitung verbaut. Gründe hierfür wurden in Kapitel 5.1.1 genannt. Die Anforderungen an den Steuercomputer bleiben im Vergleich zum OhmniBot grundsätzlich unverändert. Der Rechner soll möglichst wenig Bauraum in Anspruch nehmen und möglichst effizient beziehungsweise energiesparend sein. Im Folgenden wird kurz auf jede Komponente des Steuerrechners eingegangen und die jeweiligen Auswahlgründe genannt. In Tabelle 7 sind alle Komponenten zusammengefasst und der Preis, der Kaufort sowie die jeweilige Artikelnummer angegeben.

Tabelle 7: Komponenten vom Steuercomputer der neuen Roboterplattform

Stückzahl	Komponente	Bezeichnung	Artikelnummer	Preis [€]	Möglicher Kaufort
1	Prozessor	AMD Ryzen 7 5700X	1831268	254,00	Alternate
1	CPU-Kühler	Noctua NH-L9a-AM4	1388188	44,99	Alternate
1	Mainboard	ASUS ROG Strix B550-I Gaming	1002983	239,00	Arlt Computer
1	Grafikkarte	NVIDIA PNY RTX A2000 6GB	90848625	554,00	Computer universe
1	Riser Kabel	Cooler Master Riser Cable PCIe 4.0 x16	1782134	59,90	Alternate
1	Arbeitsspeicher	Corsair Vengeance LPX DIMM 32GB, DDR4-3600 Kit	1600190	103,90	Alternate
1	Festplatte	SAMSUNG 970 EVO Plus 500 GB, SSD	1509918	80,90	Alternate
Alternate [9], Arlt Computer [10], Computeruniverse [11]				Gesamtpreis:	1336,69

- Prozessor

Als Prozessor wird der Ryzen 7 5700X des Herstellers AMD verwendet. Er ist der direkte Nachfolger des AMD Ryzen 7 3700X, der im OhmniBot verbaut ist. Das Modell besitzt wie bereits sein Vorgänger eine maximale Leistungsaufnahme von nur 65 Watt. Dadurch ist diese ausreichend gering, um die entstehende Wärme mit einem verhältnismäßig kleinen Lüfter bewältigen zu können, wodurch der Platzbedarf gering gehalten werden kann. Zusätzlich ist der Prozessor hierdurch sparsam, was dem Betrieb mit dem im Roboter verbauten Akku zugute kommt. Dennoch ist der Prozessor mit 8 Kernen, 16 Threads und einer Basistaktrate von 3400 MHz sehr leistungstark. Durch die Nutzung des AM4-Sockels und der Kompatibilität mit dem DDR4-Speichertyp kann unter einer großen Anzahl an Mainboards und Arbeitsspeichern ausgewählt werden, da diese auf dem Markt weit verbreitet sind.[12]

- CPU-Kühler

Als CPU-Kühler wird der NH-L9a-AM4 des Herstellers Noctua verwendet (siehe Abbildung 68). Dies ist der gleiche Kühler, der bereits im OhmniBot genutzt wird. Der Kühler ist nahezu perfekt für den vorliegenden Anwendungsfall. Für den AM4-Sockel ausgelegt und mit einer Kühlleistung von 65 Watt führt er genügend Wärme vom genutzten Prozessor ab. Die Kühlrippen liegen ohne lange Wärmeleitungen direkt über dem Prozessor, wodurch die Bauhöhe nur 37 mm beträgt und der Platzbedarf minimal ist. Auch nach längerer Recherche könnte kein geeigneterer Kühler gefunden werden. [13]



Abbildung 68: Produktbild des CPU-Lüfters [13]

- Mainboard

Als Mainboard wird das Strix B550-I Gaming des Herstellers ASUS ROG verwendet (siehe Abbildung 69). Wie beim Prozessor handelt es sich hierbei um den direkten Nachfolger des im OhmniBot verbauten Mainboards. Für geringen Platzbedarf wird die Version des Mainboards mit dem Formfaktor Mini-ITX gewählt. Mit dem AM4-Sockel, dem AMD B550 Chipsatz und DDR4 als Speichertyp ist die Kompatibilität mit dem Prozessor und dem Arbeitsspeicher gegeben. Das Mainboard besitzt zwei M.2-Schnittstellen für SSD-Festplatten, drei USB 3.1 Typ-A Anschlüsse, einen USB 3.1 Typ-C Anschluss, einen Ethernet Anschluss und diverse weitere Anschlüsse. Für die Nutzung dieses Mainboards spricht besonders, dass es keinen fest fixierten Rahmen um die Anschlüsse besitzt und die VRM-Kühlung bei Bedarf leicht demontiert werden kann. Beides ermöglicht es das Mainboard leichter in ein eigens konstruiertes Gehäuse einzupassen. Des Weiteren kann ein maximaler Arbeitsspeicher von bis zu 64 Gigabyte verbaut werden.[14]



Abbildung 69: Produktbild des Mainboards [14]

- Grafikkarte

Als Grafikkarte wird die PNY RTX A2000 6GB des Herstellers NVIDIA genutzt (siehe Abbildung 70). Die Grafikkarte besitzt eine maximale Leistungsaufnahme von 70 Watt, wodurch sie ohne weitere Maßnahmen nur vom Mainboard mit Spannung versorgt werden kann. Obwohl die Grafikkarte für den Einsatz in einer Workstation gedacht ist und eine

relativ geringe Basistaktfrequenz von 562 MHz beziehungsweise 1200 MHz im Boostbetrieb aufweist, ist sie dennoch sehr leistungsstark. Ermöglicht wird das durch die Nutzung eines GDDR6-Grafikspeichers mit 6 GB Speichergröße und aktiver Kühlung mit einem Ventilator. Als Anschlüsse besitzt sie vier miniDisplayPorts. Durch die geringe Länge von nur 168 mm und der Bauhöhe im Dual-Slot Format ist die Grafikkarte sehr kompakt und nicht länger als die Kantenlänge des Mainboard im Mini-ITX Format mit 170 mm.[15]



Abbildung 70: Produktbild der Grafikkarte [15]

Die Grafikkarte stellt die drastischste Änderung des Steuercomputers im Vergleich zum vorherigen OhmniBot dar. Mit der RTX A2000 erhält die neue Roboterplattform eine neue Generation an Grafikkarte im Vergleich zur GTX 1650 Ventus XS des. Im direkten Vergleich besitzt die RTX A2000 eine Rechenleistung von 7,99 TFLOPS (FP32) / 125 GFLOPS (FP64) [16] während die GTX 1650 Ventus XS nur eine Rechenleistung von 3,12 TFLOPS (FP32) / 97 GFLOPS (FP64) [17] aufweist. Die stärkere Rechenleistung der RTX A2000 lässt sich auch mittels Benchmark Tests bestätigen. Ein beispielhafter Benchmark ist in Quelle [18] gegeben. Die Rechenleistung einer Grafikkarte ist entscheidend für KI-Anwendungen und die im konkreten Fall notwendigen neuronalen Netzwerke zur Routenplanung. Der drastische Größenunterschied ist in Abbildung 71 dargestellt.



Abbildung 71: Größenvergleich zwischen der RTX A2000 und der GTX 1650 Ventus XS Grafikkarten angelehnt an [16], [17]

Um gewöhnliche HDMI-Kabel nutzen zu können, wird ein Adapterkabel eingesetzt, das den miniDisplayPort-Anschluss der RTX A2000 in einen HDMI-Anschluss umwandelt. Genutzt wird ein Adapterkabel des Herstellers Sharkoon (siehe Abbildung 72), dass eine maximale Auflösung von 1920x1080 Pixeln übertragen kann. Die Länge des Kabels beträgt 15 cm.[19]



Abbildung 72: Produktbild des miniDisplayPort-HDMI Adapterkabels [19]

- Riser Kabel

Ein Riser Kabel ist ein Verlängerungskabel für den PCIe Anschluss einer Grafikkarte. Im Anwendungsfall wird es benötigt, um die Grafikkarte um 90 Grad zu drehen und sie so im Gehäuse neben das Mainboard zu legen. Das genutzte Riser Kabel ist das PCIE4EXT11SV-023 vom Hersteller LINKUP (siehe Abbildung 73). Das Kabel hat eine Länge von 23 cm und ist PCIe 4.0 kompatibel. Die Buchse am Kabel steht im 180 Grad Winkel zum Kabel selbst, womit es platzsparender verbaut werden kann als ein Riser Kabel mit einer 90 Grad gewinkelten Buchse. Durch die umgekehrte Buchse kann das Kabel, am Kabelende mit der Grafikkarte, ohne einen Biegeradius im PC-Gehäuse verbaut werden.[20]

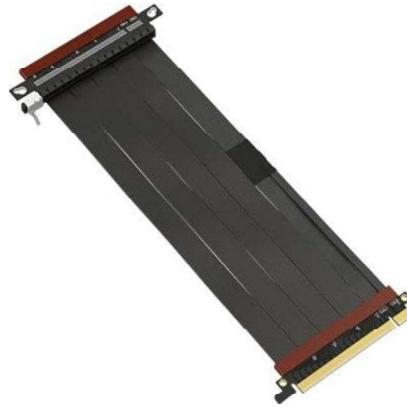


Abbildung 73: Produktbild des Riser Kabels [20]

- Arbeitsspeicher

Als Arbeitsspeicher wird das Vengeance LPX DIMM 32 GB DDR4-3600 Kit des Herstellers Corsair verwendet (siehe Abbildung 74). Das DDR4 Kit mit insgesamt 32 GB Speicherkapazität besteht aus zwei Riegeln mit jeweils 16 GB. Mit einer Taktfrequenz von 3600 MHz ist das Kit die etwas höher getaktete Version des bereits im OhmniBot verbauten Kits. Die Riegel besitzen einen Kühlkörper aus Aluminium der jedoch nur gering nach oben aufbaut und so die Riegel sehr flach sind, wodurch sie nicht das höchste Bauteil auf dem Mainboard darstellen.[21]



Abbildung 74: Produktbild des Arbeitsspeichers [21]

- Festplatte

Als Festplatte wird die 970 EVO Plus 500 GB des Herstellers Samsung verwendet (siehe Abbildung 75). Dies ist die gleiche Festplatte, die bereits im OhmniBot verbaut ist. Die Festplatte nutzt die SSD-Technologie und ist via M.2 Anschluss direkt auf dem Mainboard montiert. Dies sorgt für sehr hohe Schreib- und Lesegeschwindigkeiten (3.200 MB/s und 3.500 MB/s). Die 500 GB Speicherkapazität sind mehr als ausreichend für die Nutzung in der Roboterplattform.[22]



Abbildung 75: Produktbild der Festplatte [22]

5.2.3 Externe Kommunikation

Die externe Kommunikation der neuen Roboterplattform bleibt gegenüber zu der des OhmniBots weitgehend unverändert. Erneut wird ein WLAN-Router genutzt, um von Außen auf den Steuercomputer zugreifen zu können und eine RGB-Unterbodenbeleuchtung, mit der der Roboter visuell kommunizieren kann. Die Gründe für die Nutzung und Erklärung der Funktionsweise sind Kapitel 5.1.2 zu entnehmen. Im Folgenden wird zunächst auf die Komponenten des WLAN-Netzwerkes eingegangen und anschließend auf die RGB-Unterbodenbeleuchtung.

- WLAN-Netzwerk

- o WLAN-Router

Der genannte WLAN-Router wird mit dem RT-AX55 des Herstellers ASUS realisiert (siehe Abbildung 76). Dies ist nicht der gleiche Router, der bereits im OhmniBot verbaut wurde. Es handelt sich hierbei um ein neueres Modell, da der vorher verbaute Router nicht mehr zu erwerben ist. Wird das Originalgehäuse entfernt ist seine Platine mit nur 100 mm x 110 mm sehr klein und benötigt dadurch weniger Platz. Auch bei den technischen Anforderungen ist der RT-AX55 auf dem Stand der Technik. Er benutzt die beiden Frequenzen 2,4 GHz und 5 GHz, bei denen er Übertragungsraten von bis zu 574 MBit/s und 1201 MBit/s erreicht. Die vier LAN-Anschlüsse erreichen eine Übertragungsrate von 1 GBit/s. Der Router besitzt vier RP-SMA-Antennen, die für die Nutzung in der Roboterplattform allerdings modifiziert werden.[23]

Diese Modifizierung beinhaltet folgende Punkte:

- Die Originalantennen werden vom Router getrennt und Adapterkabel an die Anschlüsse auf der Platine gelötet an deren Kabelenden jeweils eine RP-SMA Buchse sitzt.
- An die Adapterkabel werden jeweils ein Verlängerungskabel angeschlossen, die wiederum zu drei extern platzierten WLAN-Antennen führen. Eine Antenne des Routers bleibt ungenutzt.



Abbildung 76: Produktbild des WLAN-Routers [23]

- Gehäuse Router

Um die Platine des Routers zu montieren, wurde ein Gehäuse aus zwei Teilen modelliert. Der obere Teil ist ein Deckel mit Lüftungsschlitzten. Der untere Teil enthält Öffnungen für die Ein-/Ausgänge und Löcher für die Signalkabel Antennen. Abbildung 77 zeigt das Gehäuse des Routers im CAD.

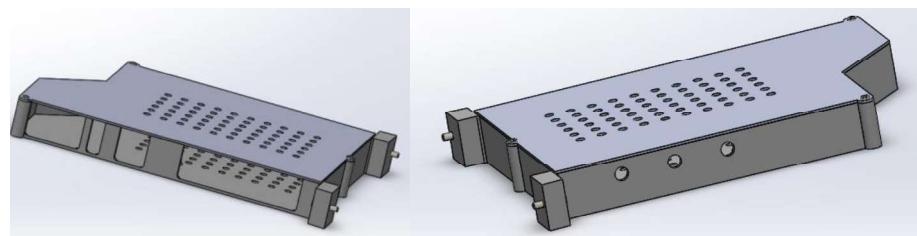


Abbildung 77: Gehäuse Router

Das Gehäuse selbst sollte aus Platzgründen im Roboter erhöht angebracht werden. Deshalb wurden, wie auf Abbildung 77 zu sehen, zwei Beinchen vorgehen, um das Gehäuse am Rande des Roboters festzuschrauben. Um zu vermeiden, dass dieser einfach in die Luft schwebt, wurde eine Stütze (siehe Abbildung 78) modelliert, um für die Stabilität des Gehäuses zu sorgen. Die Abbildung 79 zeigt das Router-Gehäuse verbaut im Roboter.



Abbildung 78: Stütze für das Gehäuse des Routers

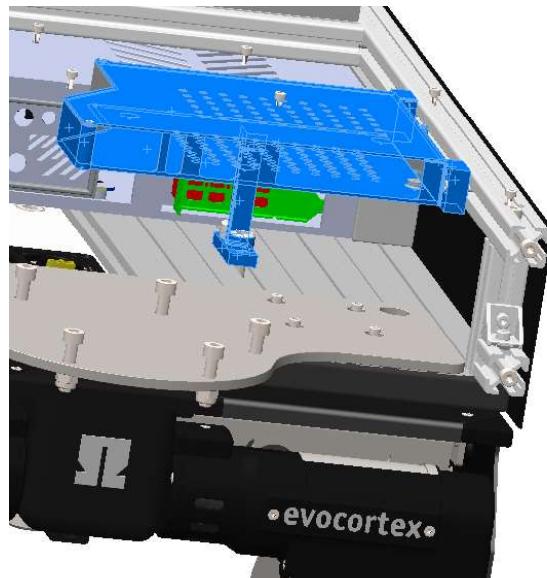


Abbildung 79: Einbau des Router-Gehäuse im Roboter

Kurz vor Ende des Projektes hat sich herausgestellt, dass der Router, der geplant wurde, nicht mehr zum Bestellen verfügbar. Deshalb musste ein neuer Router bestellt werden. Darüber hinaus musste auch das Gehäuse umkonstruiert werden. Die Befestigung bleibt jedoch gleich. Die Abbildung 80 zeigt nun das finale Gehäuse des neuen Routers im CAD.

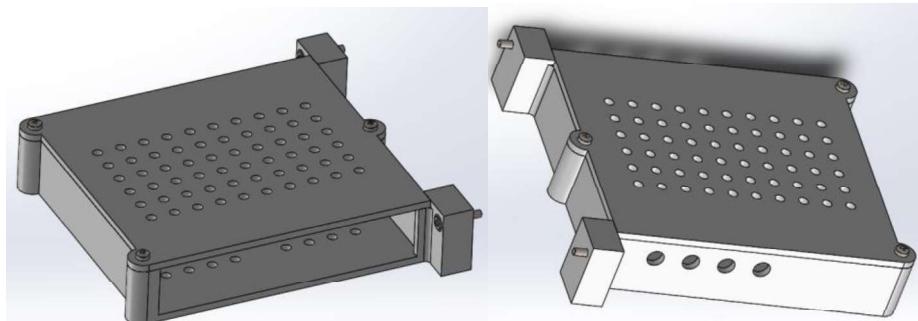


Abbildung 80: Gehäuse des neuen Routers

- WLAN-Antennen

Für die drei bereits genannten externen WLAN-Antennen, werden Antennen des Herstellers DELOCK mit der Kennung 12636 genutzt (siehe Abbildung 81). Die Antennen werden mittels RP-SMA Stecker angeschlossen und können die Frequenzbereiche von 2,400 GHz bis 2,500 GHz und von 5,150 GHz bis 5,850 GHz abdecken. Sie besitzen einen Antennengewinn von 5 dBi bei einer Impedanz von 50 Ohm.[24]



Abbildung 81: Produktbild der WLAN-Antennen [24]

- RGB-Unterbodenbeleuchtung

- o Steuerplatine

Es handelt sich hier um einen Teensy 4.0, welcher via USB mit dem Steuerrechner kommuniziert. Zu sehen in Abbildung 82. Dieser stellt eine deutlich leistungsstärkere Alternative zum Arduino Nano dar welche aber dennoch den gleichen, sehr kleinen, Formfaktor einhält. Die Kommunikation zwischen den LED-Streifen und dem Teensy verläuft über ein PWM-Signal, welches die Information überträgt, in welcher Farbe die einzelnen LED leuchten sollen.



Abbildung 82: Produktbild des Teensy 4.0

- o LED-Streifen

Die LED-Streifen sind von der Bauweise SK6812, also einzeln adressierbare RGBW-LED die die gewünschte Farbmischung erzeugen. Das ermöglicht eine aktive Steuerung. Dargestellt in Abbildung 83.



Abbildung 83: Produktbild der LED-Stripes

5.2.4 Interne Kommunikation

Wie auch die externe Kommunikation wird auch bei der internen Kommunikation das Rad nicht neu erfunden. Auch die neue Roboterplattform wird mit Kopplungskomponenten für die Datenübertragungssysteme und Motorcontrollern zur Steuerung der Motoren ausgestattet. Im Folgenden wird zunächst auf die Kopplungskomponenten des LAN- und des USB-Netzwerkes eingegangen und anschließend auf die Motorcontroller.

- Kopplungskomponenten

- o LAN-Switch

Als LAN-Switch wird der DGS-105 des Herstellers D-Link verwendet, der bereits im OhmniBot genutzt wird (siehe Abbildung 84). Ein Grund für die erneute Nutzung ist die geringe Größe von nur 100 mm x 98 mm x 28 mm mit dem Originalgehäuse. Entfernt man das Gehäuse besitzt die Platine eine Größe von 94 mm x 92 mm x 18 mm, siehe Abbildung 84. Der Switch besitzt fünf RJ-45 Anschlüsse mit einer Übertragungsrate von 1 GBit/s. Als Stromversorgung benötigt die Platine eine Gleichspannung von 5 V mit maximal 1 A.[25]



Abbildung 84: Produktbild des LAN-Switch [25]



Abbildung 85: Platine des LAN-Switch ohne Gehäuse

In der neuen Roboterplattform wird der LAN-Switch nicht mehr benötigt, um die drei Laserscanner an das Netzwerk anzuschließen, sondern um mit der Durchführung eine Verbindung zum Oberdeck sowie einen Laserscanner und den Motorcontrollern herzustellen. Würde sich im Fahrwerk nur eine Komponente mit LAN-Anschluss befinden, zum Beispiel wenn die Motorcontroller durch einen CAN-Bus angesteuert werden und nur ein Laserscanner verbaut ist, so könnte auf den LAN-Switch verzichtet werden. In diesem Fall würde jedoch auch die Möglichkeit auf einfache Erweiterung des Netzwerkes entfallen.

Um den LAN-Switch im Fahrwerk des Roboters zu befestigen, wird ein 3D-gedruckter Halterrahmen genutzt. Das Grundkonzept des Halters wurde aus dem bestehenden Ohmnibot übernommen. Da die Positionierung des LAN-Switch und des USB-Hub getauscht wurde, musste die Konstruktion des Halters jedoch angepasst werden. Aufgrund der verstrickten Beziehungen innerhalb des bestehenden CAD-Modells, musste der Halter gänzlich neu konstruiert werden. Ein deutlicher Unterschied der neuen Konstruktion des Halterahmens zur alten Konstruktion ist, dass die senkrecht stehenden Befestigungslaschen länger sind als zuvor. Durch diese Anpassung liegt der Halter unten auf dem Aluminiumrahmen des Fahrwerks auf, während gleichzeitig die waagerechten Schrauben direkt in die Gewinde im Aluminiumprofil greifen. Abbildung 86 zeigt das CAD-Modell des LAN-Switch und des Halterahmens.

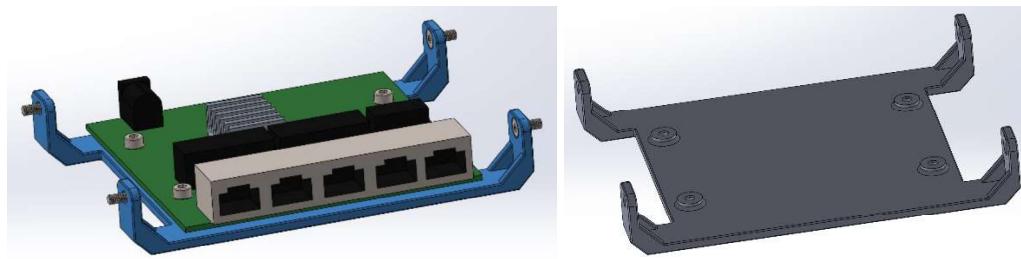


Abbildung 86: CAD-Modelle des LAN-Switch samt Halterrahmen (links) und der Halterahmen selbst (rechts)

Der LAN-Switch selbst ist mittels vier M3-Zylinderkopfschrauben, die durch die Platine geführt werden, auf der Halterung befestigt. Die gesamte Baugruppe ist dann mittels vier M3-Senkkopfschrauben in die Aluminiumprofile des Elektronikfachs des Fahrwerks verschraubt. Abbildung 87 zeigt den LAN-Switch eingebaut im CAD-Modell.

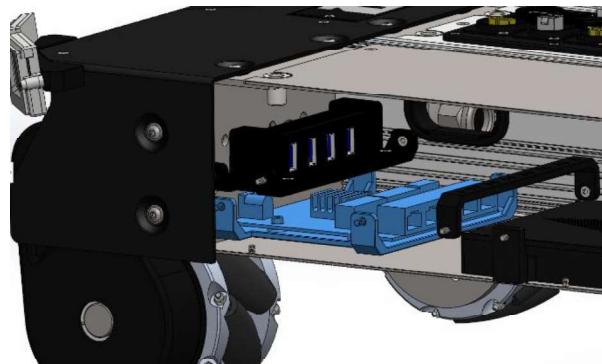


Abbildung 87: Eingebauter LAN-Switch (blau) im CAD-Modell

- **USB-Hub**

Als USB-Hub wird ein Hub des Herstellers Sharkoon mit der Bezeichnung 4-Port USB 3.2 Gen 1 Aluminium verwendet (siehe Abbildung 88). Der Hub besitzt einen USB Typ A Host Anschluss mit 45 cm langem Kabel und vier USB Typ A Anschlussbuchsen. Alle Anschlüsse sind USB 3.2 Gen 1 Anschlüsse mit einer Übertragungsrate von 5 Gbit/s. Vorteile dieses Hubs sind zum einen, dass er keinen externen Stromanschluss benötigt, sondern die gesamte Versorgung mittels des Host Anschlusses abgedeckt ist. Zum anderen benötigt der Hub mit einer geringen Größe von 90 mm x 25,5 mm x 18,5 mm nur wenig Bauraum.[26]



Abbildung 88: Produktbild des USB-Hub [26]

Der USB-Hub ist eine der wenigen Komponenten, bei der das Originalgehäuse nicht entfernt wird. Aufgrund der sehr kompakten Bauart und dem guten Schutz wird kein Vorteil darin gesehen, das Aluminiumgehäuse zu entfernen. Da der USB-Hub in dieser Form jedoch keinerlei Schraubenlöcher besitzt, kann er nicht einfach, wie zum Beispiel der LAN-Switch, auf eine Halteplatte aufgeschraubt werden. Um den USB-Hub dennoch im Fahrwerk befestigen zu können, wird eine dreiteilige Halterung konstruiert. Die Halterung besteht aus einer Grundplatte (siehe Abbildung 90) und zwei identischen Haltebügeln (siehe Abbildung 90). Die Innenseite der Haltebügel ist genau entgegengesetzt zur Außenkontur des Hubs geformt, wodurch dieser zwischen den Haltebügeln und der Grundplatte eingeklemmt wird (siehe Abbildung 89). Beim Design der Grundplatte wurde versucht, das Designkonzept des LAN-Switch zu imitieren, um ein stimmiges Gesamtbild zu erhalten. Sowohl die Grundplatte als auch die Haltebügel werden durch 3D-Druck hergestellt.

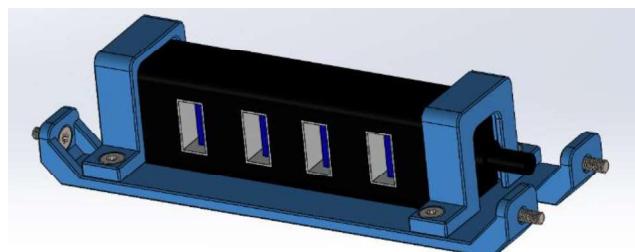


Abbildung 89: CAD-Modell des USB-Hubs samt Halterung

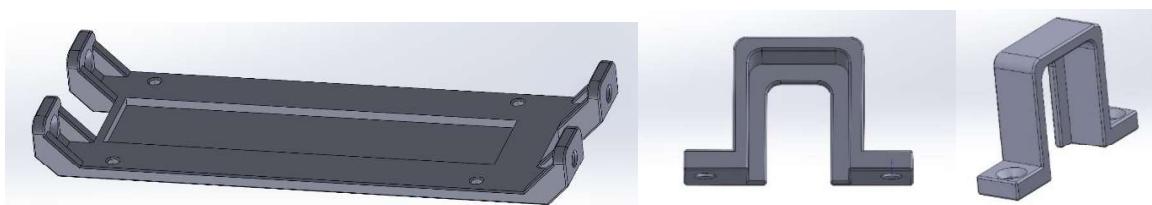


Abbildung 90: CAD-Modelle der Grundplatte (links) und der Haltebügel (rechts) der USB-Hub Halterung

Zur Befestigung der Haltebügel auf der Grundplatte werden jeweils zwei M3-Senkkopfschrauben genutzt, die direkt in die Grundplatte geschraubt werden. Die Befestigung der Grundplatte im Fahrwerk erfolgt ebenfalls über M3-Senkkopfschrauben, die direkt in die Gewinde der Aluminiumprofile geschraubt werden. Abbildung 91 zeigt den USB-Hub eingebaut im CAD-Modell.

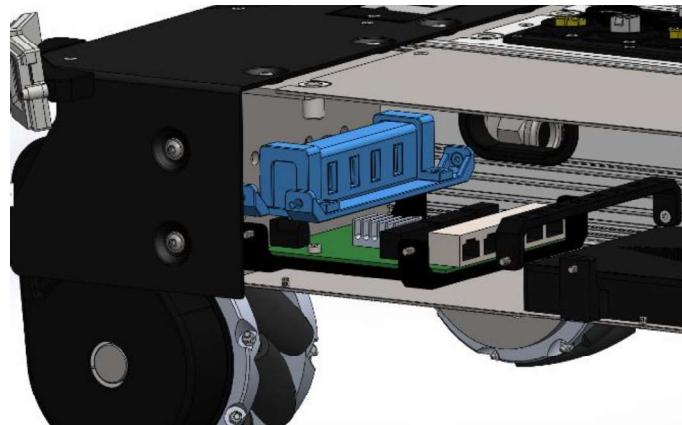


Abbildung 91: Eingebauter USB-Hub (blau) im CAD-Modell

- Motorcontroller

Für den Antrieb des OhmniBot werden eigens entwickelte Motorcontroller genutzt. Diese Motorcontroller sind als Stack ausgeführt und werden auf eine Platine mit Ethernet-Anschluss zur Kommunikation aufgesteckt (siehe Abbildung 92). Das Stack ist auf eine Halterung aufgeschraubt, welche mit der Roboterbase verschraubt wird. Die Halterung hat eine große Aussparung, zum einen um Hitzestau zu vermeiden und zum anderen damit die Pins an der Platinenunterseite an keiner Stelle aufliegen. Der Motorcontroller arbeitet als Regelgröße mit den vom am Motor befestigten Drehgebern. Diese werden auf den Motorcontroller geführt und geben Informationen über die genaue Position der Antriebswelle des Motors.

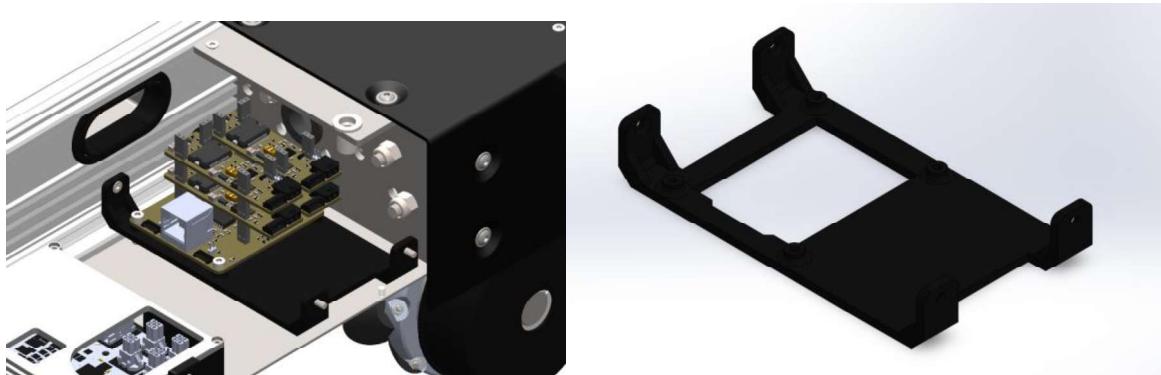


Abbildung 92: Halterung des Motorcontrollerstack im CAD-Modell

- Durchführung

Zur Verbindung einiger Komponenten mittels Kabeln sind Durchführungen notwendig. Einerseits zwischen dem Fahrwerk und dem Oberdeck was ermöglicht, dass im Falle einer Reparatur oder Änderung beide Komponenten einfach voneinander getrennt werden können. Andererseits als Anschluss von Außerhalb, um ohne eine vorherige Demontage auf den PC zugreifen zu können oder den Roboter ohne Akku mit Spannung zu versorgen. Dafür wurden verschiedene, in Tabelle 8 aufgeführte, Komponenten verwendet.

Tabelle 8: Zusammenstellung genutzter Durchführungen

Komponente	Bezeichnung	Hersteller
USB	NAUSB-WB	Neutrik
RJ45 für LAN	CLIFF CP30222	Neutrik
HDMI	DF HDMI BU19 BK	Neutrik
48 V Durchführung	XT60L-F	AMASS
48 V externe Spannungsversorgung	XT90E-M	AMASS
4 Pin Signalkabel Buchse	NC4FDL1	Neutrik
4 Pin Signalkabel Stecker	NC4MX	Neutrik

Die Verbindung zwischen Fahrwerk und Oberdeck besteht aus Signalkabeln, Leitungen zur Spannungsversorgung, USB und LAN. Dargestellt in Abbildung 93. Die XT60-Buchsen werden in dafür konstruierte Formen gepresst und verklebt. Somit ergibt sich eine platzsparende Verbindung und eine einheitliche Montageform für die Durchführungen, welche sich an dem Aufbau der Buchsen des Herstellers Neutrik orientiert.

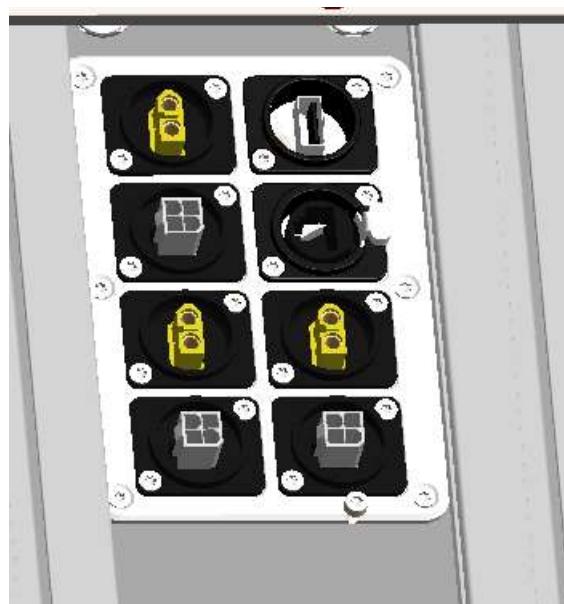


Abbildung 93: Durchführung zwischen Fahrwerk und Oberdeck

6 Gesamtübersicht

Das CAD-Modell des gesamten Roboters ist in Abbildung 94 dargestellt. Äußerlich erkennbar ist vor allem der orange Roboterarm, die graue Operator-Box welche später genauer beschrieben wird sowie die insgesamt acht Infradar-Sensoren, die an jeder Ecke des Roboters angeordnet sind. Das Antriebskonzept des Roboters sind vier Mecanum-Räder welche über einen Zahnriementrieb durch den Motor 3257G048CR und dem Getriebe 38/S2 7609236 der Firma Faulhaber angetrieben werden. Die Inventarboxen dienen der Ablage von Objekten.

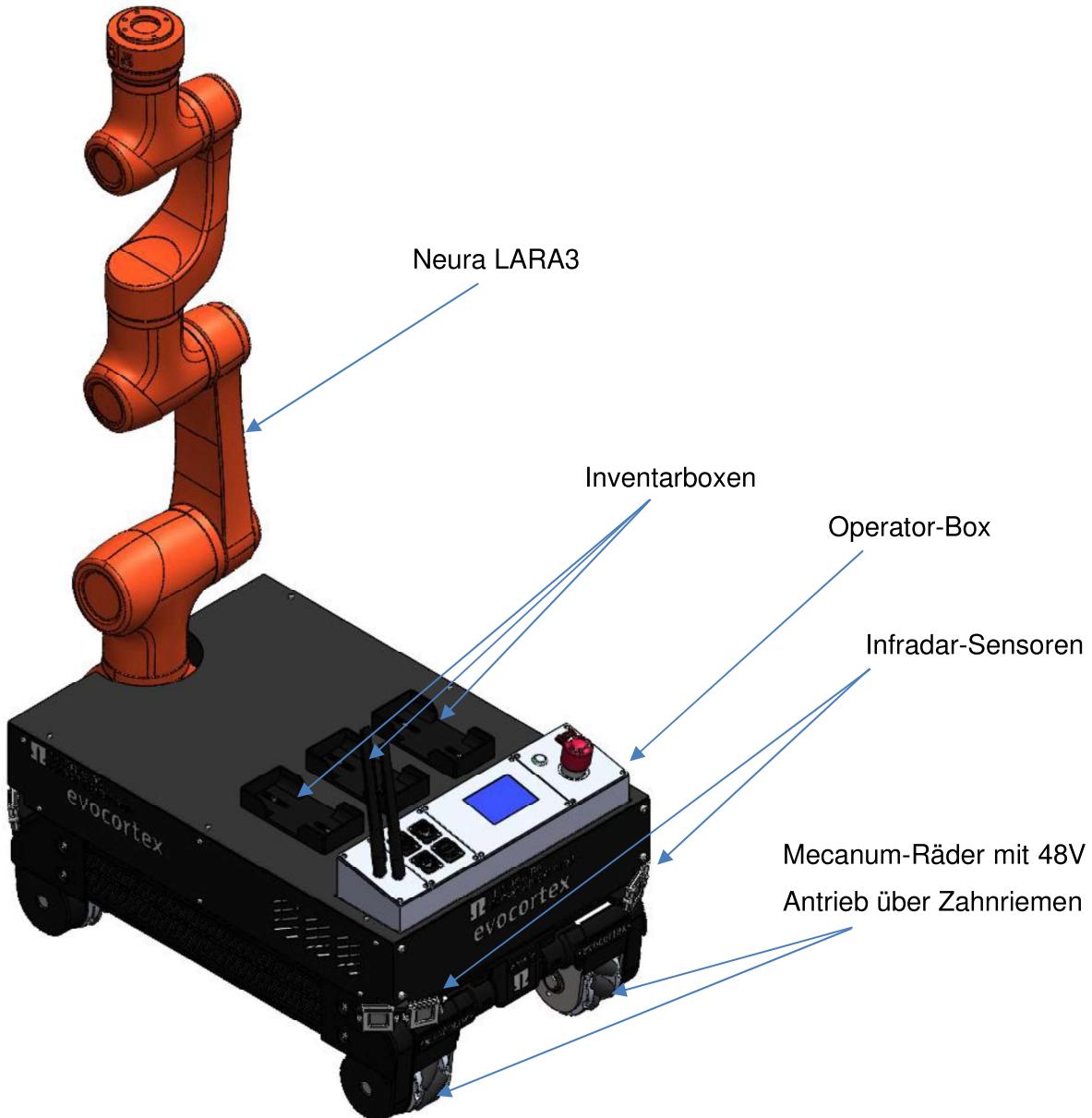


Abbildung 94: Gesamter Roboter im CAD-Modell

Das CAD-Modell gliedert sich auf in Roboterarm, Fahrwerk und Oberdeck, welches in Abbildung 95 zu sehen ist. Dabei ist die räumliche Anordnung der Komponenten so gewählt, Feichtenbeiner, Haag, Nguekeng Tsague, Preidt

dass noch maximal viel Platz für die Leitungsführung zur Verfügung steht und dennoch alle Komponenten in einem Gehäuse fest verbaut sind.

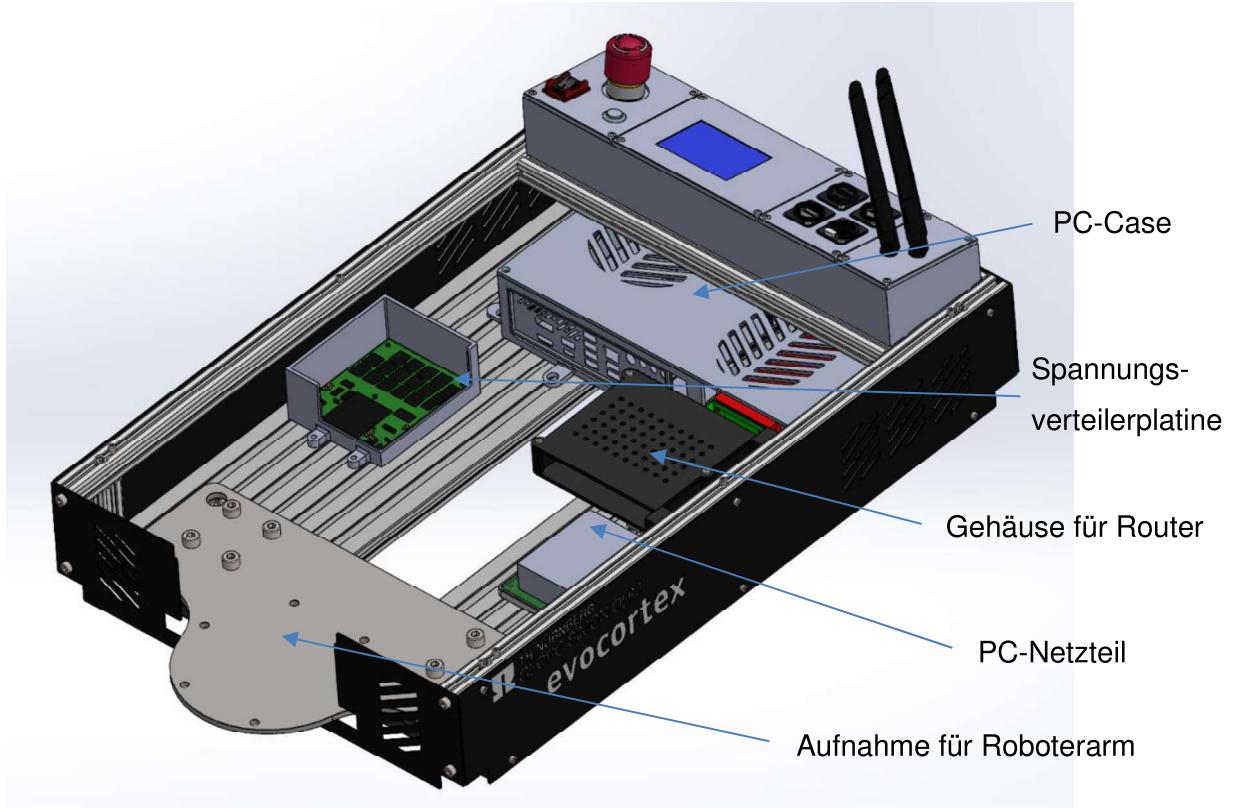


Abbildung 95: Oberdeck des Roboters im CAD-Modell

Ein zentrales Element des Oberdecks ist die Operatorbox. Sie stellt alle notwendigen Interfaces zur Verfügung, um auf den PC zuzugreifen und bildet durch ein Display sowie allen Schaltern an einem Ort das Human-Machine-Interface zum Roboter. Dargestellt ist dies in Abbildung 96. Auf dem Display werden Informationen zum aktuellen Zustand des Roboters angezeigt, wie die Akkuspannung, aktuellen Stromverbrauch auf unterschiedlichen Spannungsebenen und die daraus resultierende Leistungsaufnahme des Gesamtsystems. Weiterhin können durch die USB-Verbindung mit dem Steuerrechner auch Fehlermeldungen oder ähnliche Informationen angezeigt werden, was die Fehlersuche verbessert. Durch die vorhandenen USB-Anschlüsse und einen HDMI-Adapter kann direkt auf den PC zugegriffen werden, ohne dass weitere Hardware benötigt wird oder ein Ausbauen des PC erforderlich ist. Unterhalb der Operator-Box befindet sich ein Anschluss für eine externe Spannungsversorgung. Diese ist essenziell, um bei Bedarf die Funktion des Hotplug-Systems zu gewährleisten.

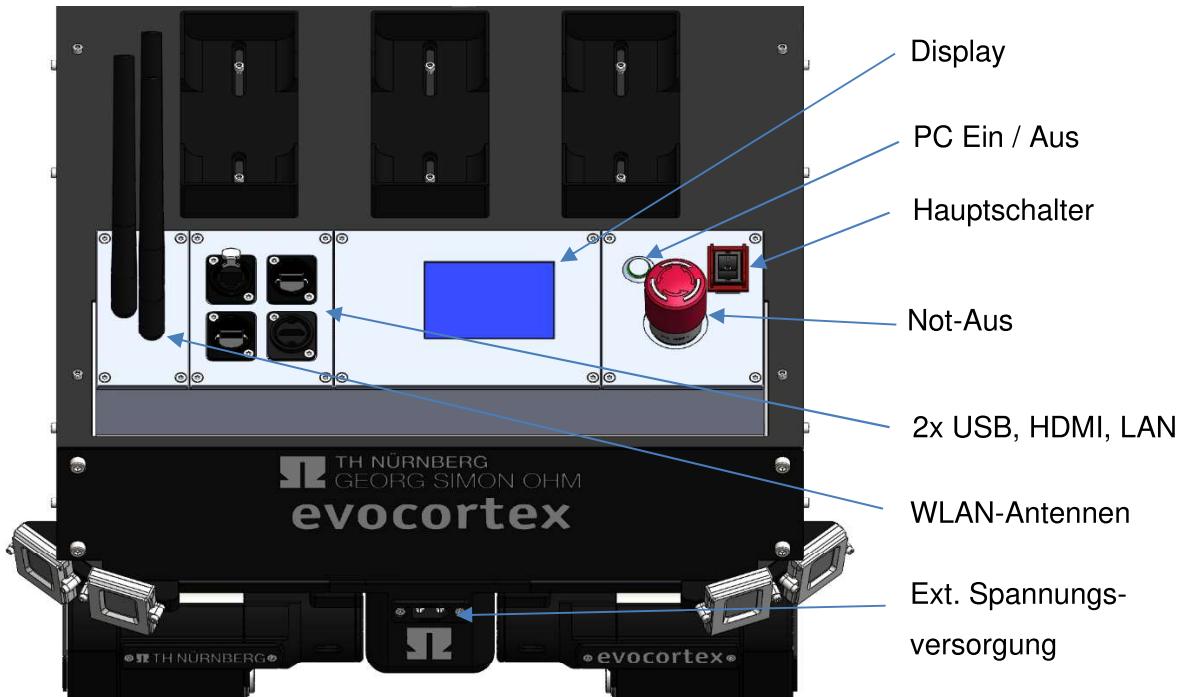


Abbildung 96: Operator-Box im CAD-Modell

Das Oberdeck wird auf dem Fahrwerk befestigt. Dies ist in Abbildung 97 und Abbildung 98 zu sehen. In dem mittleren der Fächer befindet sich die Halterung für den Laserscanner. Der Laserscanner ist so montiert, dass es möglich ist ihn zu kippen sowie die allgemeine Höhe leicht zu verstellen. Die Position ist so gewählt, dass dieser mittig unter dem Roboter sitzt. Weiterhin ist hier die Durchführung zwischen Oberdeck und Fahrwerk. Es ist eine steckbare Ausführung, damit die beiden Baugruppen einfach zu trennen sind. Für die Verkabelung zwischen den einzelnen Fächern sind Öffnungen in den Aluprofilen vorgesehen. Der Akku ist in einem der äußeren Fächer verbaut. In dem letzten Fach befinden sich USB-Hub, LAN-Switch, Motorcontroller und die Messplatine.

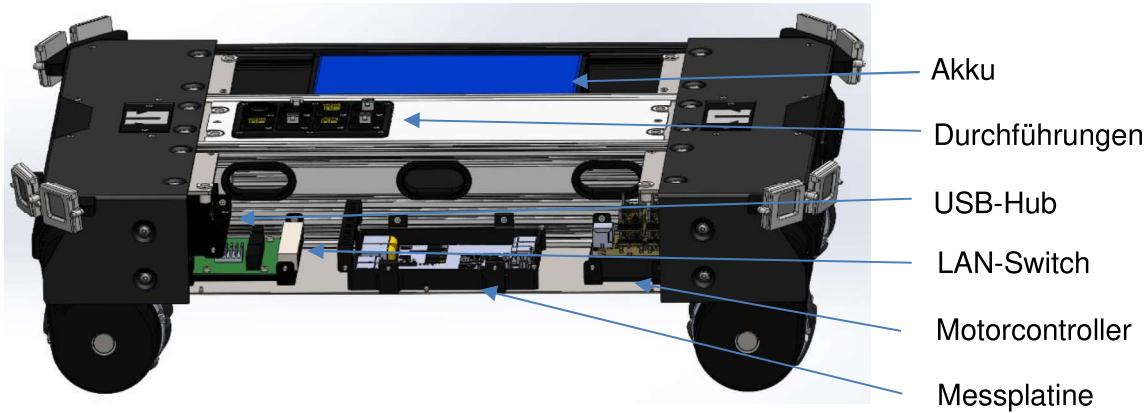


Abbildung 97: Fahrwerk seitlich im CAD-Modell

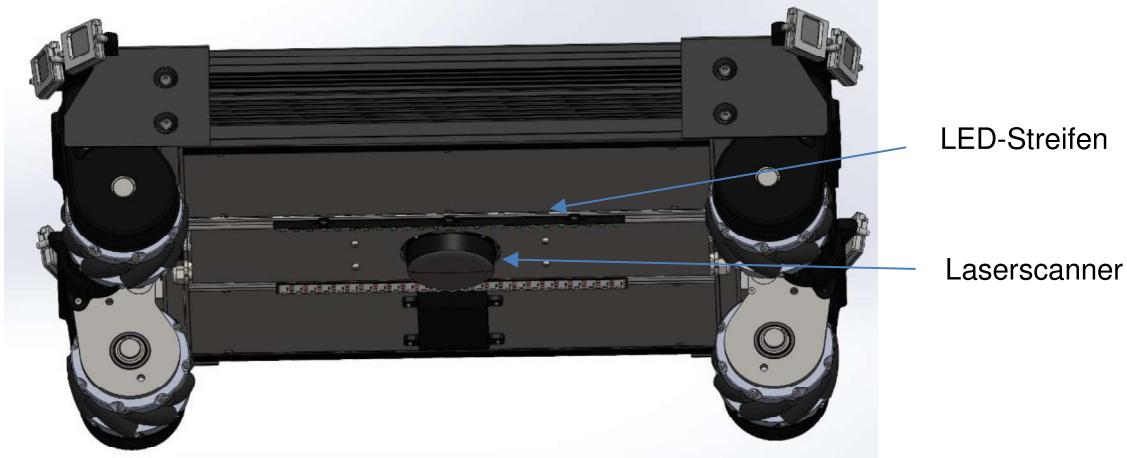


Abbildung 98: Fahrwerk von unten im CAD-Modell

7 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Optimierung der Roboterplattform wurde ein neuer Roboterarm in das bisherige System integriert. Zu Beginn fand eine ausführliche Analyse und Dokumentation der bestehenden Hardware statt. Im Rahmen der Projektarbeit wurde die Planung des Projektes inklusive der Elektronik und Mechanik abgeschlossen sowie teilweise bereits ausgeführt.

Es wurde durch das Ersetzen der Gehäuse von Bauteilen durch 3D-Druckteile mehr Platz für neue Komponenten und zudem eine bessere Übersichtlichkeit geschaffen. Mit der Umstellung des Spannungslevels von 24 V auf 48 V erfolgte im gleichen Zug eine Neugestaltung des Schaltplans. Dazu gehört beispielsweise das Hot-Plug System, um zwei getrennte Spannungsquellen anschließen zu können. Weiterhin wurde durch neue Sensorsystem eine vollständige Abdeckung der Umgebung mit geringerem Datenaustausch der Bauteile realisiert.

Die Fertigung der einzelnen Komponenten wurde teilweise abgeschlossen. So ist der Platinen-Entwurf abgeschlossen und die Komponenten wurden teilweise schon bestückt. Es fehlt noch ein vollständiger Funktionstest, sowie das noch offene Bestücken der fehlenden Komponenten, sobald diese eingetroffen sind. Mechanisch ist der Roboter als komplettes CAD-Modell vorhanden. Die mittels 3D-Druck zu fertigenden Komponenten sind ebenfalls bereits vorhanden. Das Fahrwerk ist zum Teil montiert, es fehlen jedoch noch die aus Metall zu fertigenden Bleche und Aluminiumprofile zur vollständigen Montage. Anschließend ist die Verbindung der Komponenten mit den entsprechenden Kabeln notwendig. Diese abschließenden Arbeiten werden aus Zeitgründen nicht mehr im Rahmen dieser Projektarbeit stattfinden.

Literaturverzeichnis

- [1] NEURA ROBOTICS, „Datenblatt - Lightweight Agile Robotic Assistant“. 2022.
Zugegriffen: 27. Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter:
https://neurarobotics.px.media/plk/NEURA_LARA_Datasheet_DE.pdf
- [2] „Neura Robotics LARA 3 - Unchained Robotics“.
<https://unchainedrobotics.de/produkte/roboter/cobot/neura-robotics-lara-3>
(zugegriffen 7. April 2023).
- [3] „Neura Robotics LARA 5 - Unchained Robotics“.
<https://unchainedrobotics.de/produkte/roboter/cobot/neura-robotics-lara-5>
(zugegriffen 7. April 2023).
- [4] M. Fenn, „Sicherheitsdatenblatt_LiFePO4_V1_1“. 1. Dezember 2022.
- [5] M. Masannek, „Konzepterstellung und Inbetriebnahme eines optimierten Roboterprototyps für Aufgaben der Industrie 4.0“. 2021.
- [6] „Was ist DD-WRT? | Website Rating“.
<https://www.websiterating.com/de/vpn/glossary/what-is-dd-wrt/> (zugegriffen 27. November 2022).
- [7] „DD-WRT » Documentation“. <https://dd-wrt.com/support/documentation/>
(zugegriffen 27. November 2022).
- [8] „Archer C7 | AC1750-Dualband-Gigabit-WLAN-Router | TP-Link Deutschland“.
<https://www.tp-link.com/de/home-networking/wifi-router/archer-c7/#specifications>
(zugegriffen 27. November 2022).
- [9] „Elektronik & mehr online kaufen | ALTERNATE Online Shop“.
<https://www.alternate.de/> (zugegriffen 28. November 2022).
- [10] „PC-Online-Shop: PCs zu Top-Preisen kaufen | ARLT Computer“.
<https://www.arlt.com/> (zugegriffen 28. November 2022).
- [11] „Computer & Technik online kaufen | computeruniverse“.
<https://www.computeruniverse.net/de> (zugegriffen 28. November 2022).
- [12] „AMD Ryzen 7™ 5700X, Prozessor“. <https://www.alternate.de/AMD/Ryzen-7-5700X-Prozessor/html/product/1831268> (zugegriffen 28. November 2022).
- [13] „Noctua NH-L9a-AM4, CPU-Kühler“. <https://www.alternate.de/Noctua/NH-L9a-AM4-CPU-K%C3%BChler/html/product/1388188> (zugegriffen 28. November 2022).
- [14] „ASUS ROG Strix B550-I Gaming Mainboard | ARLT Computer“.
<https://www.arlt.com/Hardware/PC-Komponenten/Mainboards/ASUS-ROG-Strix-B550-I-Gaming-Mainboard.html?listtype=search&searchparam=ASUS%20ROG%20Strix%20B550-I%20Gaming#attributes> (zugegriffen 29. November 2022).

- [15] „PNY RTX A2000 6GB kaufen“. https://www.computeruniverse.net/de/p/90848625?utm_channel=psm&utm_source=geizhals&utm_campaign=kurzfristig-verfuegbar&utm_medium=katalog&utm_content=artikel&agt=288 (zugegriffen 29. November 2022).
- [16] „PNY RTX A2000, 6GB GDDR6, 4x mDP (VCNRTXA2000-PB) ab € 510,62 (2022) | Preisvergleich Geizhals Deutschland“. <https://geizhals.de/pny-rtx-a2000-vcnrtxa2000-pb-a2582055.html> (zugegriffen 29. November 2022).
- [17] „MSI GeForce GTX 1650 Ventus XS 4G OC ab € 219,01 (2022) | Preisvergleich Geizhals Deutschland“. <https://geizhals.de/msi-geforce-gtx-1650-ventus-xs-4g-oc-v809-3060r-a2041866.html> (zugegriffen 29. November 2022).
- [18] „GeForce GTX 1650 vs RTX A2000 [in 4 Benchmarks]“. <https://technical.city/de/video/GeForce-GTX-1650-vs-RTX-A2000> (zugegriffen 29. November 2022).
- [19] „Sharkoon mini-DisplayPort 1.2 auf HDMI-Adapter weiß, 15 cm“. <https://www.alternate.de/Sharkoon/mini-DisplayPort-1-2-auf-HDMI-Adapter/html/product/1199125> (zugegriffen 11. Dezember 2022).
- [20] „LinkUP Ultra PCIe 4.0 x16 Riser Kabel, umgekehrt gewinkelt, single reverse, 230mm (PCIE4EXT11SV-023) ab € 84,91 (2023) | Preisvergleich Geizhals Deutschland“. <https://geizhals.de/linkup-ultra-pcie-4-0-x16-riser-kabel-pcie4ext11sv-023-a2516754.html> (zugegriffen 16. April 2023).
- [21] „Corsair DIMM 32 GB DDR4-3600 Kit, Arbeitsspeicher schwarz, CMK32GX4M2D3600C18, Vengeance LPX, XMP“. <https://www.alternate.de/Corsair/DIMM-32-GB-DDR4-3600-Kit-Arbeitsspeicher/html/product/1590031> (zugegriffen 29. November 2022).
- [22] „SAMSUNG 970 EVO Plus 500 GB, SSD schwarz, PCIe 3.0 x4, NVMe 1.3, M.2 2280, intern“. <https://www.alternate.de/SAMSUNG/970-EVO-Plus-500-GB-SSD/html/product/1509918> (zugegriffen 29. November 2022).
- [23] „ASUS RT-AX55 - kaufen bei Galaxus“. https://www.galaxus.de/de/s1/product/asus-rt-ax55-router-14021676?gclid=Cj0KCQjwxMmhBhDJARIaANFGOSuGkP1M57_vs3F-RL1keqi8uzS3QtyRS1WtFA_0TRITsVJiEcMPloaAlvfEALw_wcB&gclsrc=aw.ds (zugegriffen 15. April 2023).
- [24] „DELOCK 12636: WLAN Antenne, RP-SMA bei reichelt elektronik“. https://www.reichelt.de/wlan-antenne-rp-sma-delock-12636-p290375.html?&trstct=pol_1&nbc=1 (zugegriffen 11. Dezember 2022).
- [25] „D-Link DGS-105, Switch schwarz“. <https://www.alternate.de/D-Link/DGS-105-Switch/html/product/1095776#product-details-tab> (zugegriffen 11. Dezember 2022).
- [26] „Sharkoon 4-Port USB 3.2 Gen 1 Aluminium Hub, USB-Hub schwarz“. <https://www.alternate.de/Sharkoon/4-Port-USB-3-2-Gen-1-Aluminium-Hub-USB-Hub/html/product/1842488> (zugegriffen 11. Dezember 2022).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktbild eines Roboterarms der Baureihe LARA [1]	2
Abbildung 2: Lochbilder der Basis (links) und des TCP-Flansches (rechts) von LARA 3 und LARA 5 [1].....	4
Abbildung 3: Gerades und gewinkeltes Gelenk im CAD-Modell.....	5
Abbildung 4: Werte für das gerade Gelenk (links) und das gewinkelte Gelenk (rechts)	6
Abbildung 5: Symbol für den Gesamtmassenschwerpunkt (links) und den Schwerpunkt der Baugruppen (rechts) im CAD-Programm.....	7
Abbildung 6: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach oben ausgestreckt“ für LARA 3 (links) und LARA 5 (rechts).....	8
Abbildung 7: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach vorne ausgestreckt“ für LARA 3 (oben) und LARA 5 (unten).....	8
Abbildung 8: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach links ausgestreckt“ für LARA 3 (oben) und LARA 5 (unten).....	9
Abbildung 9: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach rechts ausgestreckt“ für LARA 3 (oben) und LARA 5 (unten).....	10
Abbildung 10: Schwerpunktabschätzung der Armstellung „Nach hinten ausgestreckt“ für LARA 3 (links) und LARA 5 (rechts).....	10
Abbildung 11: Neue (links) und alte (rechts) Befestigungsplatte für den Roboterarm....	11
Abbildung 12: Vergleich der CAD-Modelle der neuen (blau) und alten (orange) Befestigungsplatte.....	12
Abbildung 13: Eingebaute Befestigungsplatte im CAD-Modell des Oberdecks	12
Abbildung 14:Design des alten PC-Gehäuses	13
Abbildung 15: Design des neuen PC-Gehäuses	14
Abbildung 16: AirGuide	15
Abbildung 17: Vollständiges PC-Gehäuse (Ohne Deckel)	15
Abbildung 18: Zusatzlüfter von SUNON	16
Abbildung 19: Operator-Block des alten Roboters	16
Abbildung 20: Operator-Block der neuen Roboterplattform	17
Abbildung 21: Coverplate Screen für den neuen Rovboter.....	18
Abbildung 22: TopPlate Oberdeck für den neuen Roboter	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 23: Abdeckung des Laserscanners (hellblau) und der Infraradarsensoren (dunkelblau)	19
Abbildung 24: Befestigung der Laserscanneraufnahme.....	20
Abbildung 25: Funktionsdarstellung der Höhenverstellung des Laserscanners.....	20
Abbildung 26: Sensorhalterung und deren Einbauort	21
Abbildung 27: Überarbeitete Laserscannerhalterung hinten (links) und vorne (rechts) ...	21
Abbildung 28: Alter Schaltplan des Fahrwerks.....	23
Abbildung 29: Neuer Schaltplan des Fahrwerks	24
Abbildung 30: Alter Schaltplan des Oberdecks	25
Abbildung 31: Neuer Schaltplan des Oberdecks	26
Abbildung 32: 24V PC-Netzteil mit 250W (links) und 48V PC-Netzteil mit 750W (rechts)	27
Abbildung 33: Vergleich des alten 24 V Akku (rot) und des neuen 48 V Akku (blau) im CAD in der Front- und Seitenansicht	28
Abbildung 34: Problemdarstellung des nicht passenden Akkus	29
Abbildung 35: Seitenansicht der Aluminiumprofile mit Kennzeichnung der kritischen Bereiche	29
Abbildung 36: CAD-Modell der aufgefrästen Tasche an den Aluminiumprofilen in der Draufsicht	30
Abbildung 37: Detailansicht der Innenkante der Tasche im CAD-Modell	30
Abbildung 38: CAD-Modell der Kombination aus unterem Abdeckblech und Abdeckung für das Akkufach.....	30
Abbildung 39: Schnitt durch das Akkufach im CAD-Modell mit farblich markierten Begrenzungen	31
Abbildung 40: Vergleich der neuen (links) und alten (rechts) Akkuhalterung in der Frontansicht im CAD-Modell.....	32
Abbildung 41: Vergleich der neuen (links) und alten (rechts) Akkuhalterung in gewinkelte Ansicht im CAD-Modell	32
Abbildung 42: Vergleich der neuen (links) und alten (rechts) Akkuhalterung in der Seitenansicht im CAD-Modell	32
Abbildung 43: Vergleich der Akkufächer des bestehenden Ohmnibot (links) und der neuen Roboterplattform im CAD (rechts)	33
Abbildung 44: Topologie der Spannungsversorgung.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 45: Verschaltung und Absicherung des Hotplug-Systems	35
Abbildung 46: Verschaltung der BTS50085-1TMA	36
Abbildung 47: Verschaltung der Transistoren BC846 mit dem Not-Aus	37
Abbildung 48: Spannungsmessung von 48V, 12V, 5V	38
Abbildung 49: Buzzer für Audiosignal	38
Abbildung 50: Verschaltung der Spannungswandler auf 5V und 12V	39
Abbildung 51: Spannungswandlung 3,3V	40
Abbildung 52: Verschaltung des Microcontrollers STM32F303CCT6	41
Abbildung 53: Verschaltung des USB-Isolators ADUM3160BRWZ und der USB-Buchse	42
Abbildung 54: Molex Microfit	42
Abbildung 55: Sicherungen LittelFuse	43
Abbildung 56: Darstellung Routing Messplatine	44
Abbildung 57: Darstellung der Verteilerplatine	45
Abbildung 58: Spannungswandlung für das PC-Netzteil	46
Abbildung 59: Display (links) und Teensy 4.0 (rechts)	47
Abbildung 60: Darstellung des Routings der Platine für das Display	47
Abbildung 61: Darstellung Verschaltung der Platine für Display	48
Abbildung 62: Messplatine mit den Steckern	48
Abbildung 63: Gehäuse der Messplatine	49
Abbildung 64: Gehäuse für die Verteilerplatine	50
Abbildung 65: Einbau des Gehäuses im OhmniBot	50
Abbildung 66: Kommunikationsplan für das Fahrwerk der neuen Roboterplattform	54
Abbildung 67: Kommunikationsplan für das Oberdeck der neuen Roboterplattform	55
Abbildung 68: Produktbild des CPU-Lüfters [13]	57
Abbildung 69: Produktbild des Mainboards [14]	57
Abbildung 70: Produktbild der Grafikkarte [15]	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 71: Größenvergleich zwischen der RTX A2000 und der GTX 1650 Ventus XS Grafikkarten angelehnt an [16], [17]	59
Abbildung 72: Produktbild des miniDisplayPort-HDMI Adapterkabels [19].....	59
Abbildung 73: Produktbild des Riser Kabels [20].....	60
Abbildung 74: Produktbild des Arbeitsspeichers [21]	60
Abbildung 75: Produktbild der Festplatte [22].....	61
Abbildung 76: Produktbild des WLAN-Routers [23]	62
Abbildung 77: Gehäuse Router	62
Abbildung 78: Stütze für das Gehäuse des Routers	62
Abbildung 79: Einbau des Router-Gehäuse im Roboter	63
Abbildung 80: Gehäuse des neuen Routers	63
Abbildung 81: Produktbild der WLAN-Antennen [24]	64
Abbildung 82: Produktbild des Teensy 4.0	64
Abbildung 83: Produktbild der LED-Stripes	65
Abbildung 84: Produktbild des LAN-Switch [25]	65
Abbildung 85: Platine des LAN-Switch ohne Gehäuse	66
Abbildung 86: CAD-Modelle des LAN-Switch samt Halterahmen (links) und der Halterahmen selbst (rechts)	67
Abbildung 87: Eingebauter LAN-Switch (blau) im CAD-Modell	67
Abbildung 88: Produktbild des USB-Hub [26]	68
Abbildung 89: CAD-Modell des USB-Hubs samt Halterung	68
Abbildung 90: CAD-Modelle der Grundplatte (links) und der Haltebügel (rechts) der USB-Hub Halterung	68
Abbildung 91: Eingebauter USB-Hub (blau) im CAD-Modell.....	69
Abbildung 92: Halterung des Motorcontrollerstack im CAD-Modell	69
Abbildung 93: Durchführung zwischen Fahrwerk und Oberdeck.....	70
Abbildung 94: Gesamter Roboter im CAD-Modell	71
Abbildung 95: Oberdeck des Roboters im CAD-Modell	72
Abbildung 96: Operator-Box im CAD-Modell	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 97: Fahrwerk seitlich im CAD-Modell.....	74
Abbildung 98: Fahrwerk von unten im CAD-Modell	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten und Spezifikationen der Roboterarme LARA 3 und LARA 5 [1].....	3
Tabelle 2: Materialdefinitionen und Gewichte der Arme LARA 3 und LARA 5	7
Tabelle 3: Technische Angaben des Akkumulator [4]	28
Tabelle 4: Abmessungen des alten und neuen Akkumulator	28
Tabelle 5: Absicherung der Spannungslevel	43
Tabelle 6: Komponenten vom Steuercomputer des OhmniBot.....	52
Tabelle 7: Komponenten vom Steuercomputer der neuen Roboterplattform	56
Tabelle 8: Zusammenstellung genutzter Durchführungen	70