

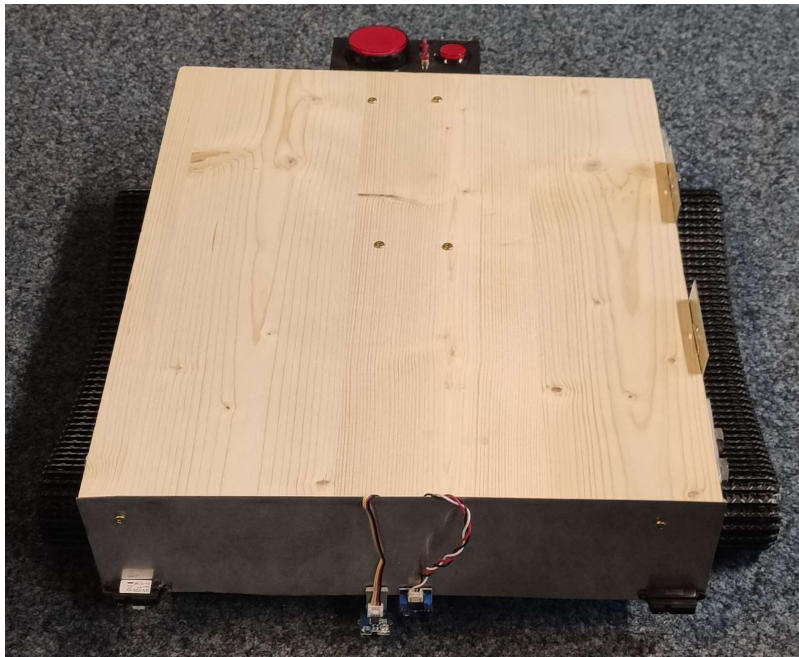
# Diplomarbeit – Dipl. Techniker Elektrotechnik HF

---

## A.R.C

### Automated Robot on Crawler base

---



Student:	Tobias Fierz
Fachexperte	Rolf Bielser
Begl. Diplomelehrer	Josef Räber
Höhere Fachschule:	TEKO Olten
Ort, Datum:	5704 Egliswil, 08.11.2023

## Management Summary

---

Die vorliegende Diplomarbeit widmet sich der Entwicklung und Herstellung eines robotischen Fahrgestells mit Raupenantrieb, das in der Lage ist, eine Traglast von 80 kg zu bewältigen, wobei die verschiedenen Funktionen an die spezifischen Anforderungen des Kunden angepasst und erweitert werden.

### Ausgangslage

---

Die Aufgabenstellung besteht darin, einen vielseitig anpassbaren Roboter zu konstruieren, der standardmäßig über zwei Fahrmodi verfügt und nach Bedarf um unterschiedliche Funktionen erweitert werden kann. Eine zusätzliche Aufforderung besteht darin, dass der Roboter in der Lage sein soll, Lasten von bis zu 80 kg zu transportieren, was dem Gewicht eines durchschnittlichen Menschen entspricht. Dies ermöglicht eine breite Einsatzmöglichkeit, sowohl in industriellen Anwendungen als auch im Gesundheitssektor für den Personentransport.

Die gesamte Grundstruktur des Roboters wurde eigenständig entwickelt und gebaut. Schwachstellen und Konstruktionsprobleme wurden ermittelt und für den jeweiligen Verwendungszweck gezielt optimiert.

Obwohl bereits intelligente Raupenroboter auf dem Markt erhältlich sind, glauben wir, dass unser A.R.C aufgrund seiner Tragfähigkeit ein einzigartiges Produkt darstellt. Zudem ist unser Ziel, ihn mit bereits vorhandenen Systemen in unserem Unternehmen zu integrieren, um einen weiteren Schritt in Richtung Marktführerschaft zu unternehmen. Die Verwendung des A.R.C als Basis, auf die verschiedene Anbaugeräte gesetzt werden können, macht ihn äußerst vielseitig einsetzbar.

Der Markt für mobile Robotik ist äußerst dynamisch und wandelbar. Wir erachten es als essenziell, dass der A.R.C von Grund auf in Eigenregie entwickelt wurde, da dies eine problemlose Erweiterung und Aktualisierung ermöglicht. Zudem sind wir in der Lage, Dienstleistungen wie Wartung und Support für die gesamte Produktpalette anzubieten.

### Vorgehen

---

Im Verlauf meiner Diplomarbeit war der erste Schritt zu ermitteln, welches Produkt ich entwickeln könnte, um das Gefährt nach Abschluss meiner Ausbildung in unser neues Unternehmen einbringen könnte. Nach Gesprächen im Team entschied ich mich für ein flexibel gestaltbares Fahrgestell, welches in vielen unserer Projekte Anwendung finden kann. Vor der finalen Themenwahl entwickelte ich daher einen Prototyp, um einen ersten Eindruck von den Kosten und dem Aufwand für eine größere Version zu erhalten. Nachdem ich das erforderliche Wissen erworben hatte, erstellte ich einen Grundriss des Roboters, um sämtliche für den Bau benötigten Komponenten zu ermitteln. Nach der Zusammenstellung dieser Komponenten präsentierte ich sie meinem neuen Arbeitgeber, um die Bestellung rasch auszulösen.

Diese Phase der Planung und des Prototyping erwies sich als äusserst hilfreich bei der Umsetzung. Da das Grundprinzip des Prototyps identisch war, konnte ich bestimmte Aspekte nahtlos übertragen, insbesondere im Bereich der Steuerung. Jedoch gestaltete sich der Bau der gesamten Hardware im Vergleich zu dem Prototyp als anspruchsvoller.

### **Ergebnisse**

---

Diese Arbeit resultierte in zwei grundlegenden Ergebnissen. Zum einen gelang es mir, ein erstes Produkt zu entwickeln, das sämtliche gesetzten Ziele erreicht hat und die Machbarkeit demonstriert.

Zum anderen habe ich während des gesamten Prozesses, beginnend mit der Planung und Skizzierung bis hin zur Konstruktion und Programmierung des Roboters, enorm dazugelernt. In dieser Zeit entstand eine umfangreiche Liste von Verbesserungen, die bei der nächsten Version umgesetzt werden. Hierbei steht insbesondere die ordnungsgemäße Installation der elektronischen Komponenten im Mittelpunkt. Durch einen Prototyp Ansatz wurde vorübergehend improvisiert, was sich negativ auf die Stabilität und das Erscheinungsbild der Komponenten auswirkte. Zudem sind Anpassungen der Abstände des Grundgerüsts erforderlich, da der Abstand von den Motorenhalterung zum Boden als zu gering erwies. Dennoch ermöglichte das entwickelte Produkt gewisse Tests, um die Fortsetzung des Projekts zu gewährleisten.

### **Ausblick**

---

Als nächste Schritte und Massnahmen plane ich, die Konstruktion des Fahrgestells so zu überarbeiten, dass der Abstand zum Boden vergrößert wird. Des Weiteren werde ich die Elektronik besser integrieren und das bereits erstellte Batteriemanagementsystem implementieren. An der Front des Roboters werde ich eine schmalere Sensorplatte anbringen, um eine bessere Luftzufuhr von vorne sicherzustellen.

Sobald diese Maßnahmen umgesetzt sind und der A.R.C für die Konzeptausarbeitung einsatzbereit ist, werde ich bereits an einer neuen Version arbeiten. Diese neue Version wird etwas kompakter, aber robuster sein. Ich plane den Einsatz eines komplexeren Raupensystems, das aus mehr als nur zwei Antriebsrädern besteht. Zusätzlich beabsichtige ich, Stoßdämpfer im Fahrwerk der Raupen zu installieren, um eine Federung des Gestells zu gewährleisten. Für die Motoren werde ich kleinere Getriebemotoren verwenden, um hohe Ströme und Spannungen zu vermeiden.

Während der weiteren Entwicklung des A.R.C ist es von entscheidender Bedeutung, dass die gesteckten Ziele zügig umgesetzt werden, um möglichst bald ein zuverlässiges Produkt bereitstellen zu können. Je schneller wir ein erstes Endprodukt erstellen, desto eher können wir es in künftigen Projekten effektiv einsetzen. Sobald der erste Roboter im Einsatz ist, können wir ermitteln, welche zusätzlichen Funktionen erforderlich sind und die erforderlichen Verbesserungen vornehmen.

# Lebenslauf

**Persönliche Daten**

 **Name**  
Tobias Fierz

 **Adresse**  
Burematt 10  
5243 Mülligen

**Geburtsdatum**  
07.05.2000

 **Telefonnummer**  
+41 78 905 00 84

 **E-Mail**  
tobias.fierz@bluewin.ch

**Arbeitsbeginn**

Nach Absprache

**Referenzen**

Auf Anfrage

**Ausbildung/Beruf**

2023-Heute	Junior developer und Kalibriertechniker bei Computare AG
2021-2023	Automobilmechatroniker im Armeelogistikcenter Othmarsingen
2021-2023	HF Studium TEKO Olten, Fachbereich Elektrotechnik
2020 – 2021	Militärdienst, Höhere Kaderausbildung
2016 - 2020	Lehre als Automobilmechatroniker im Armeelogistikcenter Othmarsingen
2016 - 2020	Technische Berufsmatura in Lenzburg
2012 - 2016	6. - 9. Klasse Bezirksschule Seengen
2007 - 2012	1. - 5. Klasse Primarschule Egliswil

**Weitere Qualifikationen**

06/2023-Heute	Französisch Kurs, B1
07/2021	Beförderung zum Offizier der Schweizer Armee
07/2020	Abschluss als Automobilmechatroniker mit technischer Berufsmaturität
2016 - 2020	ÜK 1-8 vom Automobilmechatroniker
03/2019	English certificate First, B2
10/2018	Sprachaufenthalt in Paignton, 2 Wochen

**Kenntnisse**

<b>Sprachen:</b>	Deutsch	Muttersprache
	Englisch	First certificate, B2
	Französisch	7 Jahre Unterricht

**Interessen:** Ich treibe täglich Sport, dazu gehört Crossfit, Joggen im Freien. Ausserdem betrachte ich die Welt gern von oben, wenn ich mit meinem Fallschirm von 4000m aus dem Flugzeug springe, gibt mir das den idealen Adrenalinkick. Neben dem sportlichen ist einer meiner grossen Leidenschaften, die technische Innovative Welt. Ständig mein Wissen auf technischer Ebene zu erweitern, bereitet mir Unmengen an Freude. Daraus hat sich später ergeben, dass das Programmieren von verschiedenen Microcontrollern und daraus das Lösen von technischen Problemen, einer meiner grössten Interessen vertritt.

## Qualitätsprofil

Dipl. Techniker HF, Elektrotechnik

<b>Menschen führen</b> Prozess 1	Als Automobilmechatroniker Lehrlinge in die Gruppe integriert und für die Erreichung der Bildungsziele gesorgt.
<b>Projekte planen und leiten</b> Prozess 3	Erstellen des ersten Designs und Planung für das Zusammenschliessen der elektrischen Komponenten für eine neue, zu entwickelnde, CO2 Messstation.
<b>Sich sprachlich verständigen</b> Prozess 4	Bei Aus-/ und Rücknahme von Material von den Kunden mit Englisch und Französisch kommuniziert.
<b>Geschäftsziele erreichen</b> Prozess 7	Für das Geschäftsziel einen Humanoiden Roboter zu bauen, habe ich meine schulische Arbeit für die Erfüllung des Projekts ausgelegt.  Fachliche Kenntnisse im Bereich Robotik in diverse Projekte im Betrieb eingesetzt.
<b>Umfeld berücksichtigen</b> Prozess 8	Normen und Dokumentationen einhalten aufgrund des ISO-Zertifizierungsstandards.
<b>Probleme analysieren und lösen</b> Prozess 9	Batterieentladegerät gebaut und für das genaue Bestimmen der Laufzeit einer Lithium Ion Batteriezelle die Soll Entladezeit aufgrund elektronischer Grundformeln berechnet.
<b>Sich persönlich Weiterentwickeln</b> Prozess 10	Tägliches Tagebuch führen, fachlich sowie persönlich, für die Reflektion und persönliche Weiterentwicklung.

**Produkte entwickeln**

Prozess 11

Prototyp für fahrbaren Raupenroboter gebaut, unter Berücksichtigung der gestellten Funktionen und den Sicherheitsbestimmungen des zukünftigen Einsatzgebietes gestellt von der Feuerwehr Basel.

**Elektrotechnische Anlagen unterhalten**

Prozess 15

Systematische Diagnose, Wartung, Kalibrierung und Reperatur von 3D Drucker, welche für die Serienproduktion in der Firma genutzt werden.

**Testeinrichtungen konzipieren und herstellen**

Prozess 16

Temperatursensoren mit Wireless Logger installieren und verbinden und in einem Cloud basiertem Monitoringsystem integrieren, kalibrieren und kontrollieren.

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Projektinitialisierung .....</b>	<b>9</b>
1.1	Projektauftrag .....	9
1.2	Auftragsklärung .....	10
1.3	Analyse der Ausgangslage .....	10
1.3.1	Problemerkennung .....	11
1.3.2	AUGEZ .....	12
1.3.3	Zielscheibe .....	13
<b>2</b>	<b>Projektplanung .....</b>	<b>14</b>
2.1	Vorgehensmodell .....	14
2.2	Projektstrukturplanung .....	15
2.3	Projektablaufplanung .....	16
2.3.1	Angepasste Projektablaufplanung .....	19
<b>3</b>	<b>Projektrealisierung .....</b>	<b>20</b>
3.1.1	Steuerungssystem .....	20
3.1.2	Motorenart .....	21
3.1.3	Akku .....	22
3.1.4	Gestell und Struktur .....	23
3.1.5	Grundfunktion Fahrverhalten .....	23
3.2	Model / Grundstruktur .....	25
3.3	Aufbau der Basisstruktur .....	25
3.3.1	Zuschneiden .....	25
3.3.2	Schweißen .....	26
3.3.3	Motoren .....	28
3.3.4	Grundplatte .....	30
3.4	Hardwaretest .....	31
3.5	Aufbau der elektronischen Hardware .....	32
3.5.1	Batteriesystem .....	32
3.5.2	Motormanagement .....	33
3.5.3	Sensorik .....	34
3.6	Software .....	36
3.6.1	Motoransteuerung .....	36
3.6.2	Line Tracking .....	36
3.6.3	Remote Control .....	36
3.6.4	Batterie Management .....	37

3.6.5	Loop.....	37
3.7	Test des Robotischen Systems.....	38
3.7.1	Remote Control Programm.....	39
3.7.2	Linetracking .....	40
3.8	SWOT-Analyse .....	42
3.8.1	Lösungsansätze.....	43
3.9	Finanzierungsmodel.....	44
<b>4</b>	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>45</b>
4.1	Projektüberwachung.....	45
4.1.1	Ablaufplanung – Soll / Ist-Überwachung.....	46
4.1.2	Evaluation der Zielerreichung .....	46
4.1.3	Erhebung des Erfüllungsgrades.....	47
4.1.4	Ausblicke .....	48
4.2	Reflexionsbericht/Lessons Learnt .....	49
<b>5</b>	<b>Redlichkeitserklärung .....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>A</b>

# 1 Projektinitialisierung

## 1.1 Projektauftrag

---

Ich habe folgenden Projektauftrag für meine Diplomarbeit als Dipl. Tech. HF-Elektrotechnik erhalten:

### Diplomarbeit

- Definiere ein Diplomarbeitsthema, welches einen Bezug zu deiner Studienrichtung hat. Beschreibe dieses Thema im Dokument "Vorlage Themeneingabe".
- Grundsätzlich wird erwartet, dass die Aufgabe aus einem definierten betrieblichen Umfeld stammt, so dass der Betrieb einen hohen Nutzen aus dem Ergebnis der Arbeit hat.
- Für Diplomarbeiten auf Stufe HF wird von einem Zeitaufwand inklusive der Vorbereitungsarbeit von 150 – 250 Stunden ausgegangen.
- Umfangreiche Diplomarbeiten können auch in Zweierteams erarbeitet werden. Beide Studierenden müssen jedoch die Vorschläge persönlich einreichen. Die Abgrenzung und Zuteilung der Arbeiten erfolgt in Absprache mit dem zugeteilten Diplomlehrer.
- Die Themeneingabe wird in Bezug auf Vollständigkeit, Verständlichkeit und Konkretisierungsgrad benotet. Die Benotung fliesst in geeigneter Form in die Gesamtbewertung ein.

### Kompetenzprofil

- Erstelle dein persönliches Kompetenzprofil gemäss Musterbeispiel im Lehrgang. Der Bezug des Kompetenzprofils zum Rahmenlehrplan deiner Studienrichtung muss erkennbar sein. Maximaler Umfang des Profils: 2 A4-Seiten.
- Wähle Ausschnitte aus deinem Kompetenzprofil aus, welche in deiner Qualifikation eine besondere Bedeutung haben. Binde diese Ausschnitte in deine Diplomarbeitspräsentation ein.

---

## 1.2 Auftragsklärung

---

Zusammen mit der Firma Computare AG habe ich mir die Aufgabe gegeben, ein flexibles Fahrgestell zu entwickeln und zu bauen. Ziel des Projekts ist es ein Produkt zu erstellen, welches in mehreren Bereichen als ein stabiles, intelligentes und flexibles Fahrgestell genutzt werden kann. Der Automated Robot on Crawler base sollte als Basis genutzt werden können, wenn eine Apparatur oder ein sonstiges Objekt mobil gemacht werden möchte. Dabei spielt es keine Rolle, ob dies für den Eigengebrauch als Ergänzung eines Projekts der Firma oder als Produkt für einen Kunden verwendet wird.

Da heutige Apparaturen und sonstige Robotik Systeme, sehr schnell ein gewisses Gewicht erreichen, sollte der A.R.C eine gewisse Nutzlast mit sich bringen. Um diese Nutzlast auch erreichen zu können, werde ich selbst ein Rahmen entwerfen und bauen, welcher ideal für den Verwendungszweck des A.R.C ausgerichtet ist. Dabei gilt es zu beachten, dass der Aufbau möglichst bedienerfreundlich ist und es genügend Platz für Erweiterungsmöglichkeiten gibt.

## 1.3 Analyse der Ausgangslage

---

In einem ersten Schritt versuche ich die von mir gestellten Problemstellung in einzelne Teilprobleme herunterzubrechen. Dafür verwende ich die Methode der Problemerkfassung, dabei werden die Teilprobleme tabellarisch aufgelistet und in den jeweiligen spalten aufgebrochen. Mit dieser Methode kann sehr schnell ein Gesamtüberblick über das gesamte Projekt verschaffen werden.

Nach der Problemerkfassung setze ich mich intensiv mit dem Projektauftrag an sich und den darum liegenden Faktoren auseinander. Dafür verwende ich eine weitere Methode namens AUGEZ. Das AUGEZ Model gibt mir die Möglichkeit auf den Gesamtauftrag, wie oben beschrieben, spezifisch einzugehen und die Rahmenbedingungen im Überblick zu behalten oder noch spezifischer zu definieren.

Vor allem aufgefallen ist mir, beim Durcharbeiten dieser Methode, die Realisierung und genauere Einteilung der zeitlichen Verhältnisse. Ich konnte alle von mir gestellten Probleme in der Problemerkfassung auf einem A4 Blatt studieren und hatte gleichzeitig auf der nächsten Seite die Zeitlichen Abstände, welche ich termingerecht einhalten musste. Dieser Schritt bietet mir eine ideale Vorbereitung für den Planungsprozess meines Projektes.

### 1.3.1 Problemerkfassung

Teilprobleme	Initialisierung	Planung	Realisierung	Abschluss	Präsentation
<i>Problembeschreibung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formatierung</li> <li>- Management Summary</li> <li>- Auftragsklärung</li> <li>- Auftragsanalyse</li> <li>- Zielscheibe</li> <li>- Bestellung Komponenten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektstrukturplan</li> <li>- Projektablaufplan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellen 3D Model</li> <li>- Varianten der Komponenten aufzeigen</li> <li>- Zusammenbau des A.R.C (Statisch und elektrisch)</li> <li>- Erstellen des Programms mit Arduino</li> <li>- Durchführen der Tests</li> <li>- SWOT-Analyse</li> <li>- Finanzierungsmodell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektüberwachung</li> <li>- Evaluierung der Zielerreichung (Soll / Ist)</li> <li>- Ausblick</li> <li>- Reflexion / Lessons Learnt</li> <li>- Anhang und Verzeichnis</li> <li>- Korrigieren der Arbeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A.R.C Vorzeigetauglich gestalten</li> <li>- Erstellen der Slides</li> </ul>
<i>Handlungsrichtlinien</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zielscheibe erstellt bis am 22.09.2023</li> <li>- Initialisierung bis am 17.09.2023 abgeschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planung bis am 17.09.2023 abgeschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realisierung bis am 06.10.2023 abgeschlossen</li> <li>- Testen mittels Hermes Protokoll</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abschluss bis am 12.10.2023 abgeschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Max 13 min (inkl Demo)</li> <li>- Inhalt Punkte gem Mail.</li> <li>- 11.11.2023 0930</li> </ul>
<i>Produkte</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zielscheibe</li> <li>- Alle Komponenten bereit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektstrukturplan</li> <li>- Projektablaufplan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A.R.C Roboter</li> <li>- Source Code</li> <li>- SWOT-Analyse</li> <li>- Finanzierungsmodell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Management Summary</li> <li>- Reflexionsbericht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Präsentation (PPP)</li> </ul>
<i>Priorität</i>	4	2	1	3	5

### 1.3.2 AUGEZ

<b>A</b> (Auftrag)	Entwickeln und bauen eines elektronischen Fahrgestells auf Raupen, mit einer freien Trägerplatte, auf die beliebige Systeme aufgesetzt werden können. Das System kann individuell dem Nutzungszweck sensorisch angepasst werden.
<b>U</b> (Umwelt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komponenten (Motoren, Sensoren)</li> <li>- Baumaterial für Fahrgestell/Rahmen</li> <li>- Werkzeug für den Bau</li> <li>- Raupen</li> </ul>
<b>G</b> (Gegnerische Lage)	Im Markt gibt es viele Hersteller, welche den Roboter als Ganzes, mit fahrbarem Untersatz, anbieten. Zudem gibt es viele Hersteller von solchen Aufbauten, welche bereits in die serielle Produktion vorangeschritten sind, während ich mich erst in der Entwicklungsphase befinde. Ebenfalls zu erwähnen ist es, dass der chinesische Markt im Moment in diesem Bereich stark triumphierend ist, vor allem im Bereich der schnellen und günstigen Produktion.
<b>E</b> (Eigene Lage)	Ich möchte eine Methode anbieten, welche frei konfigurierbar ist auf die Komponente, welche oben aufgebaut werden möchte. Ich muss mir überlegen, wie ich den A.R.C am besten konstruieren würde, um ihn möglichst automatisch herstellen zu können. Ebenfalls ein wichtiger Aspekt ist, dass in einem späteren Zeitpunkt die Wirtschaftlichkeit in den Fokus genommen wird. Das bedeutet Bauteile spezifischer auszuwählen und somit Kosten zu sparen, um den A.R.C möglichst kotengünstig anbieten zu können. Zudem sollen die Raupen
<b>Z</b> (Zeitverhältnisse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1. Vorzeigetermin: 11.09.2023 1700</li> <li>- 2. Vorzeigetermin: 06.10.2023 1805</li> <li>- Abgabe der Arbeit: 23.10.2023 1800</li> <li>- Präsentation: 11.11.2023 0930</li> </ul>

### 1.3.3 Zielscheibe

#### Richtziel: Ein Konzept zum A.R.C ist bis am 10.11.2023 ausgearbeitet und präsentiert.

1. Es liegt eine schriftliche Projektdokumentation, gebunden im A4 Format sowie als PDF, über den Bau des A.R.C bis am 23.10.2023 um 1800 mit folgenden Inhalten vor:
  - 1.1. Management Summary, Zielscheibe, Projektauftrag, Auftragsanalyse
  - 1.2. Projektstrukturplanung, Projektablaufplanung
  - 1.3. 3D Modell des A.R.C, Bau des Roboters inkl. Dokumentation, Softwareprogrammierung, komplette Testdokumentation (Hardware + Software), Finanzierungsmodell/Optimierungsmöglichkeiten
  - 1.4. Projektüberwachung, Evaluation der Zielerreichung, Reflexionsbericht (inkl. Lessons Learnt)
  - 1.5. Anhang und Verzeichnisse mit allen Datenblätter und Prüfprotokolle
2. Die Diplomarbeit ist bis zum 11.11.2023 präsentiert und vorgeführt.

Josef Räber als unterstützender Dozent  
 Rolf Bielser als Fachexperte

#### Endergebnisse

##### Sinn und Zweck

- Der A.R.C soll eine Möglichkeit bieten, andere robotische Systeme nach Wunsch des Kunden, Mobil zu machen.

#### Kunde

##### Erfolgskriterien

1. Die Dokumentation entspricht den geforderten Richtlinien und ist ohne zeitlichen Verzug dem Verantwortlichen abgegeben.
  - 1.1. Die Aufgabenstellung ist in einem Satz verständlich beschrieben.
  - 1.2. Es liegen keine Abweichungen zwischen Projektstrukturplan und Projektablaufplan vor.
  - 1.3. Der A.R.C kann bis zu einer Nutzlast von 80 Kg alle gestellten Funktionen erfüllen,  
 Der A.R.C kann ein Oval, welches einen Durchmesser von 1m und einer Länge von 2m hat mit der Line Tracking Funktion abfahren,  
 Der A.R.C fällt in ein Notstopp bei einer frontalen Objektdistanz von <10cm,  
 Der A.R.C kann mittels Remote Control von einem Smartphone einen Parkour mit 3 Hindernissen umfahren,
  - 1.4. Die Projektüberwachung ist lückenlos geführt,  
 Der Erfüllungsgrad aller gestellten Ziele ist begründet und beschrieben,  
 Drei positive und Drei negative Punkte, welche gut gelungen sind und welche verbessert werden können,
  - 1.5. Die Datenblätter sind vollständig den elektronischen Bauteilen nachzuweisen.
2. Das Projekt konnte innert der vorgegebenen Zeit, gemäss Dozenten vollständig, präsentiert werden.

## 2 Projektplanung

### 2.1 Vorgehensmodell

---

Als Basis von der Problemerkfassung erstelle ich als grundlegendes Planungsinstrument eine Projektstrukturplanung. Dabei soll der Bau des A.R.C als übergeordnete Aufgabe geltend gemacht werden und die vier Phasen des vier Phasen Modells aus dem Projektmanagement als Aufgabe der Ebene 1 dastehen. Anschliessend in den nächsten zwei Ebenen decke ich alle Aufgaben, welche ich in der Zielscheibe definiert habe, ab und spezifiziere diese.

Danach transferiere ich die Strukturplanung in eine Ablaufplanung, um dem sachlichen auch noch einen zeitlichen Faktor hinzufügen zu können. Für die Erstellung des Projektablaufplans benutzte ich ein Programm namens GanttProject.

Besonders auffallend bei der Ablaufplanung ist die Reserve Woche, welche ich am Schluss in der Woche fünf eingeplant habe. Um dies zu ermöglichen habe ich die Initialisierungs- und Planungsphase in die erste Woche gepackt. Diese Methode führt zu etwas erhöhtem Stress zu Beginn, jedoch erreiche ich so eine bessere Qualität zum Schluss, da ich genügend Zeit habe um entstandene Planungsfehler und Verbesserungen noch ohne Zeitdruck korrigieren zu können.

Zusätzlich erwähnt in der Ablaufplanung sind die gelben und roten Meilensteine. Die gelben Meilensteine signalisieren die Vorzeigetermine und die roten Meilensteine zeigen meine persönlichen Abschnittspunkte an. Diese roten Meilensteine sollen mir zusätzliche Struktur verschaffen, bis wann ich welche Arbeiten bereits zu erledigen habe.

## 2.2 Projektstrukturplanung

Übergeordnete Aufgabe	Aufgaben - Ebene 1	Aufgaben - Ebene 2	Aufgaben - Ebene 3
Diplomarbeit, entwerfen A.R.C	Initialisierung	Auftrag	Projektauftrag gemäss TEKO Olten in Projektdokumentation einfügen
		Auftragsklärung	Fragekatalog erstellen und Antworten mit Q&A in Doku einfügen
			Ziel und Zweck des Robotersystems erfassen und in Doku einfügen
		Analyse der Ausgangslage	Übersicht mittels Problemerkennung und AUGEZ verschaffen
			Grobplanung der vier Phasen des 4-Phasen-Modells aufstellen und in Arbeit einfügen
		Zielscheibe erstellen	Ziele mittels Zielscheibe definieren und Erfolgskriterien übernehmen
			Zielscheibe in die Projektdokumentation einfügen
	Planung	Projektstrukturplan	Projektstrukturplan erstellen
			Projektstrukturplan in Projektdokumentation einfügen
		Projektablaufplan	Projektablaufplan mittels Ganttproject erstellen
			Projektablaufplan in Projektdokumentation einfügen
	Realisierung	3D Models des A.R.C	Entwerfen eines groben 3D Modells des Roboters
			Einfügen und dokumentieren des Modells in der Doku
		Bau des A.R.C	Zusammenbauen des Grundgerüsts
			Installation der elektronischen Hardware
			Dokumentation des Zusammenbaus in Doku einfügen
			Statiktest des Grundgerüsts und allgemeiner Belastungstest
			Einfügen der Testergebnisse in die Doku
		Software des A.R.C	Programmieren der Software auf Arduino IDE und VS Code
			Testen der Software mit den entsprechenden Hardware Komponenten
		Testen	Testen des kompletten Robotischen Systems inkl. erstellen Dokumentation
			Einfügen der Testergebnisse in die Doku
		Management Summary	Management Summary mittels relevantesten Aussagen / Kernelemente erstellen
			Management Summary in Projektdokumentation einfügen
		SWOT-Analyse	Erstellen der SWOT-Analyse
			SWOT-Analyse in Doku einfügen
	Finanzierungsmodell	Finanzierungsmodell erstellen	
		Finanzierungsmodell in Doku einfügen	
	Abschluss	Projektüberwachung	Ablaufplanung Soll-/Ist Überwachung (ständiges einpflegen)
			Ablaufplanung in Doku einfügen
Evaluation der Zielerreichung		Erhebung des Erfüllungsgrades festhalten	
		Zielerreichung in Doku einfügen	
Reflexion		Reflexionsbericht in Projektdokumentation einfügen	
Lessons learnt		Von drei Negativen Punkten meine Lessons Learnt für die nächste Arbeit festhalten	
		Lessons Learnt in Projektdokumentation einfügen	
Projektdokumentation		Projektdokumentation nochmals lesen und auf Komplettheit prüfen	
	Projektdokumentation in A4 binden lassen		
	Projektdokumentation dem Dozenten Josef Räder abgeben		
Präsentation	Präsentation vorbereiten		

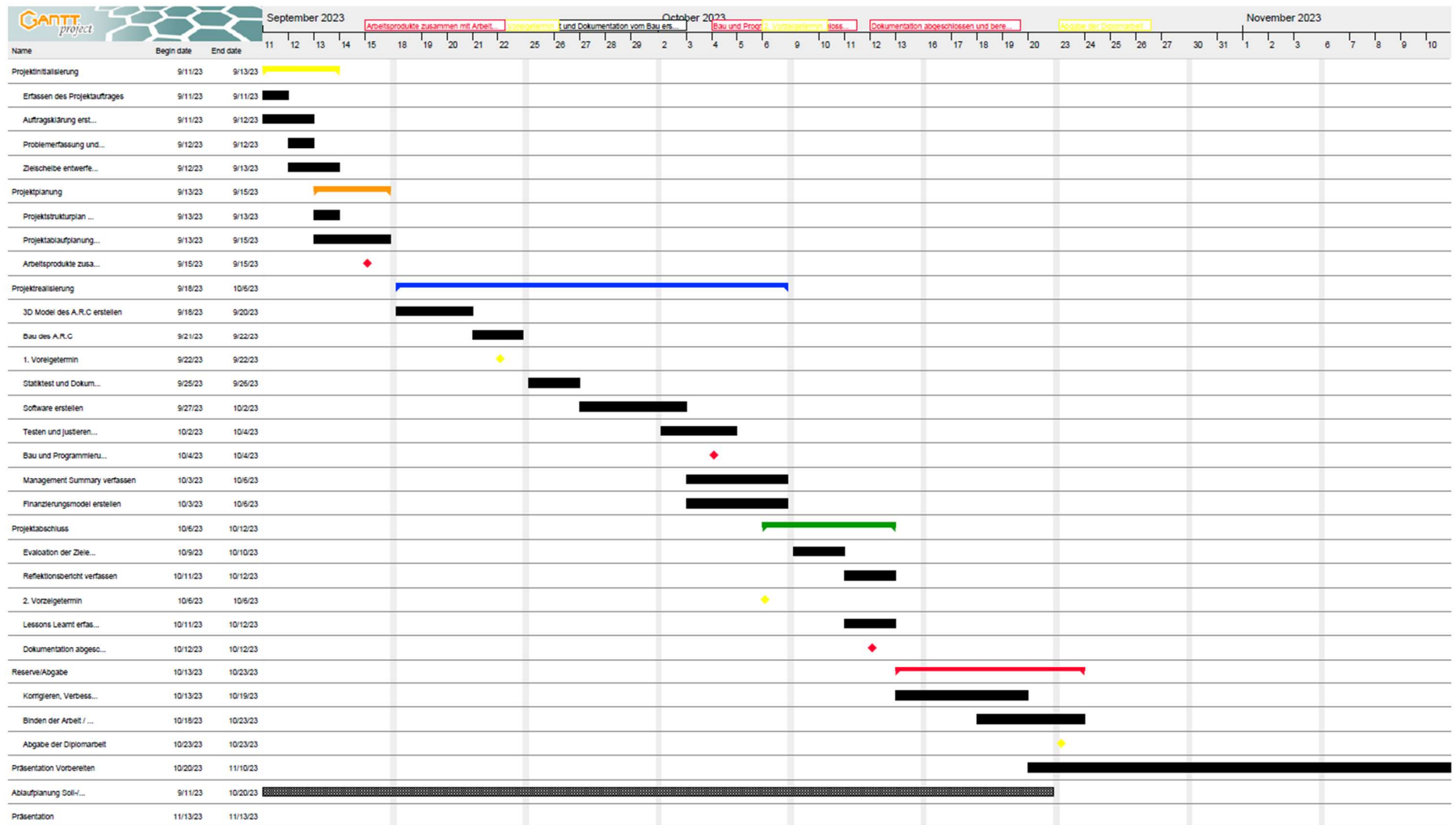
## 2.3 Projektablaufplanung

### Tasks

Name	Begin date	End date
Projektinitialisierung	9/11/23	9/13/23
Erfassen des Projektauftrages	9/11/23	9/11/23
Auftragsklärung erstellen und in Arbeit einfügen	9/11/23	9/12/23
Problemerkennung und Beurteilung der Lage erstellen und einfügen	9/12/23	9/12/23
Zielscheibe entwerfen und Endprodukt einfügen	9/12/23	9/13/23
Projektplanung	9/13/23	9/15/23
Projektstrukturplan erstellen und einfügen	9/13/23	9/13/23
Projektablaufplanung erstellen und einfügen	9/13/23	9/15/23
Arbeitsprodukte zusammen mit Arbeitgeber besprechen	9/15/23	9/15/23
Projektrealisierung	9/18/23	10/6/23
3D Model des A.R.C erstellen	9/18/23	9/20/23
Bau des A.R.C	9/21/23	9/22/23
1. Voreigetermin	9/22/23	9/22/23
Statiktest und Dokumentation vom Bau erstellen und einfügen	9/25/23	9/26/23
Software erstellen	9/27/23	10/2/23
Testen und justieren des kompletten Systems	10/2/23	10/4/23
Bau und Programmierung abgeschlossen, Test positiv	10/4/23	10/4/23
Management Summary verfassen	10/3/23	10/6/23
Finanzierungsmodell erstellen	10/3/23	10/6/23
Projektabschluss	10/6/23	10/12/23
Evaluation der Zielerreichung/Erfüllungsgrades	10/9/23	10/10/23
Reflektionsbericht verfassen	10/11/23	10/12/23
2. Vorzeigetermin	10/6/23	10/6/23
Lessons Learnt erfassen und in Doku einfügen	10/11/23	10/12/23
Dokumentation abgeschlossen und bereit für Korrektur	10/12/23	10/12/23

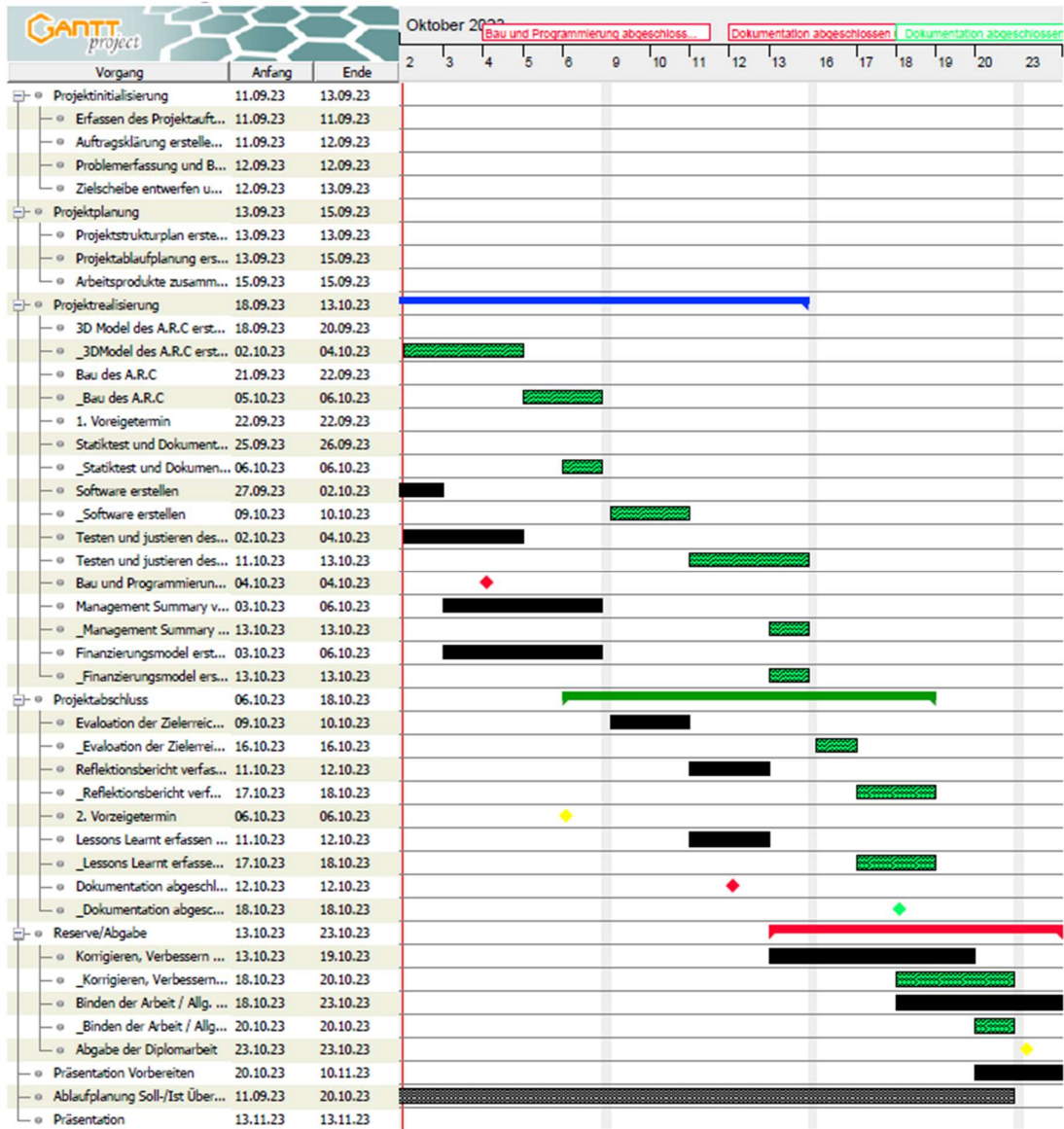
---

<b>Name</b>	<b>Begin date</b>	<b>End date</b>
Reserve/Abgabe	10/13/23	10/23/23
Korrigieren, Verbessern und ergänzen der Dokumentation	10/13/23	10/19/23
Binden der Arbeit / Allg. AVOR für Abgabe	10/18/23	10/23/23
Abgabe der Diplomarbeit	10/23/23	10/23/23
Präsentation Vorbereiten	10/20/23	11/10/23
Ablaufplanung Soll-/Ist Überwachung nachtragen	9/11/23	10/20/23
Präsentation	11/13/23	11/13/23



### 2.3.1 Angepasste Projektablaufplanung

Als ich bemerkt habe, dass ich aufgrund meines Umzuges stark von meiner vorherigen Planung abgewichen bin, beschloss ich ab dem Realisierungsprozess eine neue Planung zu erstellen. Die angepassten Termine sind in folgender Darstellung in Grün abgebildet. Zudem sind die neuen Vorgänge mit einem «\_» gekennzeichnet:



## 3 Projektrealisierung

---

Der Realisierungsprozess meiner Arbeit beginnt mit der Komponentenbestimmung meines Roboters. Ziel ist es dabei für die jeweilige Komponente das ideale Modell zu finden. Somit kann ich im zweiten Teil der Realisierung mit der Planung des Baus beginnen. Dabei unterscheide ich zwischen Steuerungssystem, Motorenart, Akkuarten, das Baumaterial vom Grundgestell und zum Schluss die Grundfunktion für das Fahrverhalten.

Der Entscheidungsprozess ist so gestaltet, dass ich zu jedem Punkt verschiedene Varianten von Komponenten aufliste und aus den min. zwei Varianten eine Begründung für meine Wahl gebe.

### 3.1.1 Steuerungssystem

---

Für mein System brauche ich einen einfachen Microcontroller, um die Aktoren und Sensoren logisch miteinander zu verknüpfen. Dabei soll er möglichst klein gehalten sein und mit einer externen Spannung von 5V versorgt werden können. Zusätzlich muss er einfach und flexibel frei programmierbar sein.

#### Variante 1, Arduino

Ein Arduino ist eine Open-Source-Mikrocontroller-Plattform, die aus einer Programmierungs- und Hardware-Komponente besteht. Sie ermöglicht es Benutzern, elektronische Projekte zu erstellen, indem sie Code schreiben in der Programmiersprache C, der auf einem kleinen Mikrocontroller-Chip ausgeführt wird, um verschiedene Aufgaben auszuführen, wie das Steuern von Sensoren, Aktoren und anderen elektronischen Komponenten.

Ein grosser Vorteil des Microcontrollers ist seine Bandbreite an verschiedenen Boards, welche sich alle für einen spezifischen Fall ideal eignen und bereits viele Grundfunktionen mit sich bringen. Ebenfalls sehr entgegenkommend ist die Benutzerfreundlichkeit des Arduinos. Mit der Software Arduino IDE kann ganz einfach von jedem PC auf den Arduino über ein USB-Kabel zugegriffen und programmiert werden.

Ein Nachteil aus meiner Sicht ist, dass es nicht möglich ist mit einer anderen Programmiersprache wie zum Beispiel Python den Arduino zu programmieren.

#### Variante 2, Raspberry Pi

Anders als der Arduino ist der Raspberry Pi nicht nur ein Microcontroller, sondern ein voll umfänglicher ein Platinen Computer. Der Raspberry Pi kann mit verschiedenen Linux Betriebssystemen wie Ubuntu geladen werden. Da der Raspberry Pi ein ganzes Computersystem aufweist, sind die Funktionen wie Webanbindung oder grössere Speicherkapazitäten und Rechenleistungen von Beginn an gewährleistet. Deshalb wird er oft auch benutzt für Webserver-Hosting oder Heimautomatisierungen. Der Raspberry Pi wird hauptsächlich mit der Sprache Python programmiert. Das System hat verschiedene Konsolen mit denen auch die Anschlusspins entsprechend gesteuert werden können.

## Entscheidung

Für den A.R.C habe ich mich für die Variante 1 entschieden und werde ein Arduino Mega verwenden. Der Grund für diese Entscheidung ist einerseits die mangelnde Liefermöglichkeit der neusten und zweit neusten Generation des Raspberry Pi's. Andererseits auch die flexible Programmierung und Einfachheit mit der Software Arduino IDE. Die Rechenleistung und Kapazität des Arduino reicht aus für die Umsetzung meines Projektes. Ein Raspberry Pi zu benützen wäre in diesem Fall also fast verschwenderisch und aufgrund seines höheren Preises aus finanzieller Sicht ein Nachteil.

### 3.1.2 Motorenart

Die Motoren müssen zusammen ein Gewicht von über 80Kg fortbewegen können. Dabei sollen sie über Gleichspannung versorgt werden und über einen Motortreiber, welcher über ein 5V Signal gesteuert werden kann, betrieben werden können. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Motor ein normaler DC-Motor oder ein Schrittmotor ist. Einer der wichtigsten Größen dabei ist das Drehmoment. Ebenfalls zu beachten, gilt die axiale Belastung auf die Motorwelle gemäss Hersteller. Während dem Betrieb ist das Gesamtgewicht des A.R.C verteilt auf die Welle der Motoren. Diese sind die Verbindung von den Raupenrädern zu dem Chassis.

#### Variante 1, Schrittmotor ACT 24HS9442D8

Dieser Schrittmotor von der Firma ACT Motor ist ein Hybridschrittmotor mit einem Schrittwinkel von  $1.8^\circ$ . Er benötigt eine Betriebsspannung von 3.36V und hat ein max. Stromverbrauch von 4.2A. Der Schrittmotor hat ein Haltemoment von 260Ncm, dieses Beschreibt was der Motor max. aufbringen kann, um seine aktuelle Position zu halten. Und ein Rastmoment von 12Ncm, was beschreibt wie viel Drehmoment der Motor max. aufbringen kann um seine Position um ein Schritt zu wechseln.

#### Variante 2, Getriebemotor ACT 36BL01-1AG76

Dieser drei Phasige DC-Motor ist mit einem Metallgetriebe, welches eine Übersetzung von 1:76 aufweist, ausgerüstet. Er benötigt eine Betriebsspannung von 24V und ein Stromverbrauch von max. 0.5A. Der Getriebemotor bringt somit ganze 150Ncm Drehmoment auf die Welle. Leider wird durch die Drehmomentsteigerung die Drehzahl sehr stark minimiert.

#### Variante 3, DC Motor ACT 57BLF03

Als dritte Antriebseinheit entschied ich mich für den bürstenlosen DC-Motor ebenfalls von ACT Motor. Dieser drei Phasige DC-Motor wird ebenfalls mit einer Betriebsspannung von 24V DC versorgt und weist ein Drehmoment von 0.6Nm auf. Dabei kann er eine max. Drehzahl von bis zu 3000/min erreichen. Der Motor benötigt jedoch wie die zwei anderen Modelle ebenfalls ein spezielles Treiber Modul.

## Entscheidung

Von diesen drei Varianten habe ich mich für den DC-Motoren aus Variante drei entschieden. Der Schrittmotor ist für dieses Einsatzgebiet weniger geeignet, denn es im Betrieb

könnte der A.R.C auch viel stehen und da der Schrittmotor für das Halten des Rotors permanent Energie braucht, würde dies viel Wärme erzeugen und ebenfalls sehr viel Akku verbrauchen.

Der Getriebemotor würde dieses Problem sehr gut lösen und hätte auch genügend Drehmoment für die Fortbewegung. Allerdings ist mit beim Testen dieses Motors aufgefallen, dass die max. Drehzahl von 94/min zu langsam ist.

All diese Bedingungen kann ich mit der Variante drei sehr gut abdecken. Für den Motortreiber verwende ich ein Bauteil derselben Firma wie der Motor. Somit ist die Abstimmung der beiden Komponenten ebenfalls gewährleistet.

### 3.1.3 Akku

---

Bei der Wahl des Akkus ist entscheidend, dass ich die Betriebsspannung meiner anderen Komponenten, wie zum Beispiel die 24V der Motoren, gewährleisten kann. Ebenfalls zu beachten, gilt die Kapazität des Akkus. Diese muss so hoch sein, dass wenn alle Verbraucher in Betrieb sind, und ihren max. Stromverbrauch haben der Akku immer noch für eine gewisse Zeit funktionieren kann und den A.R.C mit Strom zu versorgen. Als Maximalwert habe ich dafür 30A genommen. Jeder Motor könnte max. für kurze Zeit 7-8A ziehen, das heisst jeder Motortreiber hat einen max. Ausgangsstrom von max. 15A auf längere Zeit. Da ich mit zwei Motorentreiber arbeite bedeutet das, dass ich einen max. Wert von 30A allein durch die Motoren, was für mich die Hauptverbraucher sind, erreichen kann.

Wieso ist die Kapazität in diesem Aspekt so wichtig. Die Kapazität beeinflusst, wie lange mein Roboter in Betrieb sein kann, bevor er wieder aufgeladen werden muss. Für die Berechnung gilt folgende Formel:  $t[h] = \frac{C[Ah]}{I[A]}$

#### Variante 1, Li-Ion Akkupack RD XT 5400 S4

Dieser Akku hat eine Spannung von 14.8V und eine Kapazität von 5400mAh. Er kann auf Dauer einen max. Strom von 135A abgeben und hat ein Gewicht von 460g.

#### Variante 2, NiMH Akkupack XR10 4500

Der Nickel-Metallhydrid Akku hat eine Spannung von 12V, welche auf 10 Zellen aufgeteilt ist. Dabei erreicht er eine Kapazität von 4500mAh. Der Akku hat einen max. Entladestrom von 30A pro Zelle, welche er über 9min abgeben kann. Das Gewicht des Akkus beträgt 770g. Es muss erwähnt werden, dass der NiMH Akku eine gewisse Selbstentladung aufweist. Bei dieser Ausführung beträgt diese 0.2C (20% der max. Kapazität) über 28 Tage.

#### Variante 3, Blei Akku YU SWL-780V

Der Bleiakku hat eine Spannung von 12V und eine starke Kapazität von 28Ah. Negativ an diesem Akku ist jedoch sein Gewicht von 10.1kg.

#### Entscheidung

Beim Akku habe ich mich für den Li-Ion Akku aus Variante 1 entschieden. Der Li-Ion Akku hat mit seiner kompakten Bauweise und geringem Gewicht trotzdem eine sehr gute Kapa-

azität und einen hohen Entladestrom. Zudem kann er zyklisch sehr schnell wieder aufgeladen werden, was bei dem Einsatzgebiet des A.R.C eine grosse Rolle spielt. Zum Erreichen der benötigten Spannung, werde ich ein Batteriemanagementsystem erstellen mit einer gemischten Schaltung, um noch mehr aus den Vier Akkupacks herausholen zu können.

### **3.1.4 Gestell und Struktur**

---

Beim Grundgerüst des A.R.C ist der wichtigste Faktor die Festigkeit des Material. Dieses muss mindestens ein Gewicht von 80Kg aushalten können. Deshalb benötige ich ein Material, welches eine gewisse Härte mit sich bringt, aber bei Belastung nicht gleich spröde auseinanderbricht. Das Material sollte auch gut zu verarbeiten sein. Das bedeutet es muss schweisssbar sein und sich gut bearbeiten lassen, wie Feilen oder Sägen.

#### **Variante 1, Stahl**

Stahl hat eine sehr gute Festigkeit und ist sehr geeignet für die Bearbeitung. Ein Nachteil von Stahl ist jedoch das grosse Eigengewicht.

#### **Variante 2, Aluminium**

Aluminium ist verglichen mit anderen Metallen ein sehr leichtes Metall. Andererseits ist die Bearbeitung von Aluminium, vor allem Schweiessen, eher komplex und erfordert viel Übung und Erfahrung.

#### **Entscheidung**

Bei dem Baumaterial entscheide ich mich für die Variante 1. Da ich das Gestell zusammenschweiessen möchte und ich nicht geübt bin im Aluminiumschweiessen ist in diesem Aspekt Stahl die bessere Wahl. Andererseits habe ich durch das Verwenden von Stahl eine grössere Toleranz bei der Belastung, aufgrund der hohen Festigkeit von Stahl.

### **3.1.5 Grundfunktion Fahrverhalten**

---

In heutigen Unternehmen findet man Roboter in diversen Einsatzgebieten. Diese müssen auf ihr Aufgabenspektrum verschieden sensorisch und motorisch ausgerüstet sein, um ihre Aufgabe Zweckmässig zu erfüllen.

Ich habe mir deswegen überlegt welche Grundfunktion muss der A.R.C mit sich bringen, was auch bei meiner Zielgruppe von Unternehmen häufig verwendet wird oder auch verwendet werden kann.

#### **Variante 1, Line Tracking Funktion**

Der Roboter hat die Fähigkeit einer Linie zu folgen und kann so durch das Einsatzgebiet gelenkt werden. Der Aufwand und kosten für diese Funktion sind in einem normalen Rahmen und die Störungshäufigkeit kann sehr geringgehalten werden.

#### **Variante 2, Intelligente Raumorientierung**

Mit dieser Funktion erstellt der Roboter über einen infraroten Sensor ein Abbild des Raumes und legt ein Koordinatensystem über den gescannten Raum. Somit hat der Roboter die Möglichkeit sich im Raum selbstständig zu Orientieren und gewisse Punkte anzufahren.

Diese Methode ist aber mit viel Aufwand verbunden und macht hauptsächlich Sinn, wenn der Roboter immer am gleichen Ort/Raum arbeiten muss.

### **Variante 3, Remote Control**

Mit dem Remote Control kann der Roboter von einer Person per Fernbedienung oder Handy frei gesteuert werden. Nachteil dieses Systems ist es, dass trotz Einsatz des Roboters immer noch eine Arbeitskraft voll besetzt wird, um den Roboter auch zu benutzen.

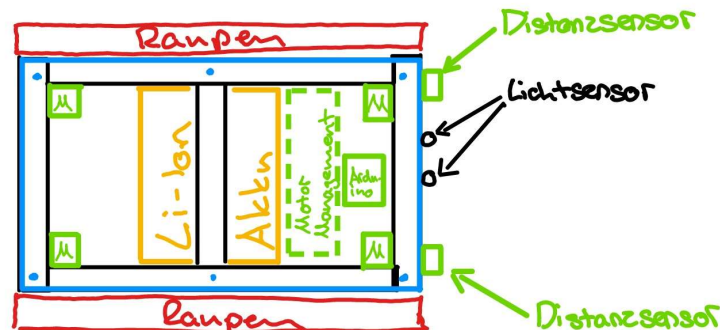
### **Entscheidung**

Bei der Grundfunktion entschied ich mich eine Mischung aus Variante 1 und Variante 3 zu nehmen. Da meiner Meinung nach in grossen Industriehallen oder auch Fertigungsstrasse sehr viel mit der Line tracking Funktion an Robotern gearbeitet wird, da es eine sehr zuverlässige und genaue Methode ist, möchte ich dieser Funktion auch nachkommen. Doch ich werde zusätzlich ein Modul einbauen, um den Roboter auch über Remote Control bedienen zu können. Der Grund dafür soll sein, dass wenn der Roboter ausserhalb der Linie also dem Arbeitsbereich transportiert werden muss, hat man die Möglichkeit, anstatt schweres Herumtragen den Roboter einfach selbst fahren zu lassen.

## 3.2 Model / Grundstruktur

Die Grundstruktur des A.R.C soll aus einem Rechteck bestehen, welches sich aus vier Stahlprofilen bildet. Dabei haben die Viereckprofile jeweils eine Wandstärke von 0.5cm. Mit dieser Wanddicke erreiche ich eine sehr gute Festigkeit und Stabilität, jedoch leidet das Gewicht stark darunter. Das Grundgerüst mit den Viereckprofilen bildet die Gruppe mit dem grössten Eigengewicht.

Als nächstes wird am Gestell alle weiteren Komponenten wie die vier Motorenhalter befestigt. Die Motorenhalter habe ich aus einem 1cm dicken Stahlprofil erstellt. Das Profil sollte genügend dick sein, um den Antrieb- und Drehkräfte der Motoren stand zu halten. Gleichzeitig aber möchte ich das Eigengewicht möglichst klein halten, diese zwei Faktoren kann ich gut mit einer Dicke von 1cm abdecken. Für den Zusammenbau habe ich folgende Skizze erstellt:



Als Trägerplattenmaterial für den Aufbau auf dem A.R.C, welche aber gleichzeitig als Halter für die elektronischen Bauteile und Batterien dient, entscheid ich mich eine Holzplatte zuzuschneiden und mittels Scharniere auf einer Längsseite zu befestigen. Eine massive Holzplatte mit einer Dicke von 3cm hat genügend Stabilität, auf einer Fläche von 2000cm<sup>2</sup>, um dem geforderten Gewicht standzuhalten. Das Befestigen mit den Scharnieren sollte dazu dienen, dass die Holzplatte einfach geöffnet und somit einfach an die elektronischen Installationen gelangt werden kann.

Für die Sensoren befestigen ich ein dünnes Blech an der Front, um alle Sensoren auch vernünftig auf der ganzen Front verteilt installieren zu können. Ebenfalls soll die Platte genügend Platz bieten, dass der A.R.C beliebig mit weiteren Sensoren ergänzt werden kann.

## 3.3 Aufbau der Basisstruktur

### 3.3.1 Zuschneiden

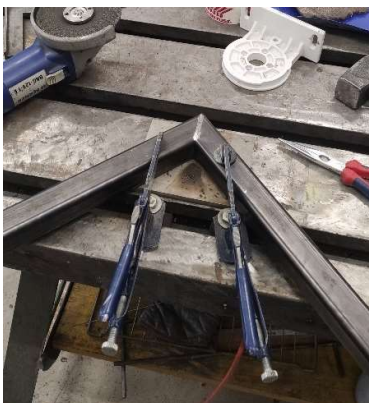
Als erster Schritt habe ich alle Bauteile auf die richtige Länge, mit einer Stahlbandsäge, zugeschnitten. Dabei habe ich beachtet, dass die Ecken der vier Stahlprofile, welche das Grundgerüst bilden, jeweils ein 45° Winkel bilden. Mit dem 45° Schnitt erreiche ich später beim Schweißen eine bessere Stabilität und Festigkeit.

Das Blech der Motorenhalter Schnitt ich auf eine Länge von 10cm zu. Mit dieser Länge habe ich genügend Platz für die Befestigung der Halter am Grundgerüst und die Befestigung der Motoren (siehe Bild):



### 3.3.2 Schweißen

Als nächstes musste ich die vier Stahlprofile miteinander verschweißen. Dafür verwendete ich eine Schutzgas Schweissanlage, denn ich kann durch erhöhen des Stromes eine sehr gute Bindung des Materials, und somit eine hohe Stabilität, erreichen. Für noch bessere Ergebnisse schliiff ich zuerst mit einem Winkelschleifer eine Nut in die aufeinanderliegenden Kanten des 45° Schliffes, damit sich das Material der Schweissnut besser mit dem Material der Träger bindet.

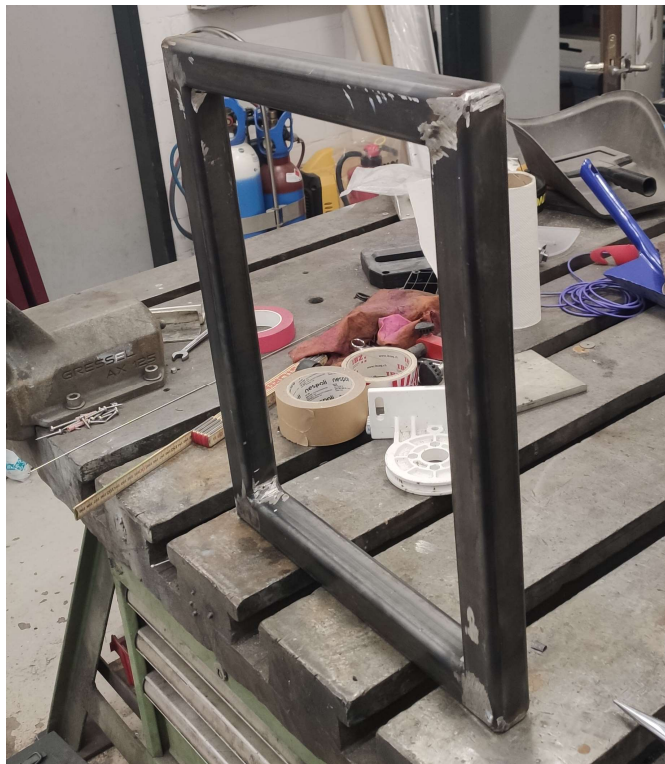


Damit ich möglichst genau ein Eckwinkel von 90° erreiche, habe ich die Träger mit je einer Schraubzwinde an den Tisch gepresst. Nach dem Ausrichten der Träger habe ich die Ecken einzeln zusammenschweisst. Beim Schweißen musste ich darauf achten, dass ich die Schweissnut der Oben-/ und Unterseite jeweils entgegengesetzt schweisste. Mit dieser Methode konnte ich das Verziehen durch die Wärmeentwicklung der Schweissanlage minimieren.

Um ein möglichst genaues Endergebnis zu erhalten, habe ich zuerst jeweils zwei Träger zusammengefügt und diese, nach dem Ziehen der oberen und unteren Schweissnaht, zum Rechteck verschweisst.

Als das Rechteck über die unteren und oberen Kanten zusammengefügt war, konnte ich noch die vier Innenkanten und die Vier Aussenkanten verschweissen. Bei diesen Kanten musste ich nicht mehr genau darauf achten in welche Richtung ich die Schweissnaht zog, denn das Gestell war bereits an vier Ecken zusammen und konnte sich kaum noch mehr verziehen.

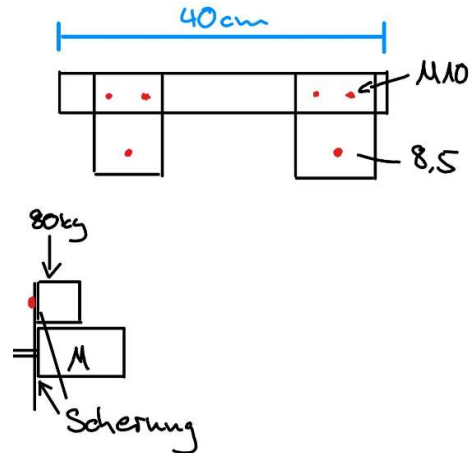
Zum Schluss plante ich die Oberflächen der geschweissten Stellen, damit dort fast kein Übergang mehr spürbar war.



### 3.3.3 Motoren

Für die Motorenhalter benutzte ich die 10cm langen Stahlstücke, die ich bereits zugeschnitten hatte. Ich musste im nächsten Schritt die zwei Durchschlagslöcher in den Haltern und im Rahmen bohren, um die Halter mit M10 Schrauben und je einer Sicherungsmutter am Rahmen zu befestigen. Zusätzlich bohrte ich die 4 Befestigungslöcher für die Motoren und das Zentrale M6 Loch für die Antriebswelle.

Der Grund für die zwei grossen M10 Schrauben, welche die Motorenhalter am Gerüst halten, beruht darauf, dass auf diesen zwei Schrauben das Gewicht vom gesamten Roboter drückt. Dieser Effekt ist auch unter dem Begriff Scherung bekannt. Durch die Scherung wäre es möglich, dass bei einer zu starken Belastung die Schrauben abscheren und somit Brechen könnten. Durch die zwei M10 Schrauben mit der Festigkeit von 8.8, konnte ich diesem Problem aus dem Weg gehen. Das gleiche Phänomen zeigt sich auch beim Motor, doch dort wird die Belastung auf 4 Schrauben verteilt, was die Kraft welche auf die einzelne Schraube drückt halbiert.



Für das Bohren benutzte ich eine Standbohrmaschine mit einem M10, M8.5 und M5.5 Bohrer und ein Senker, um die Kanten zu brechen.



Beim Bohren so grosser Löcher muss man darauf achten, dass die richtige Drehzahl gewählt wird, da sonst der Bohrer unnötig erhitzt und so beschädigt werden könnte. Deshalb stellte ich die Drehzahl auf 350 Umdrehung pro Minute ein. Mit dieser Drehzahl konnte ich ohne Vorbohren die Löcher ohne Unterbruch bohren.

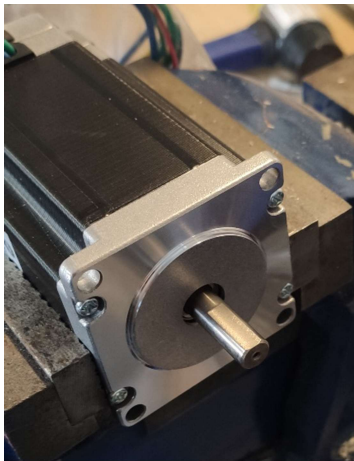
Als ich mit den Löchern von den Haltern fertig war benutzte ich die Motorenhalter als Vorlage, um die durchgehenden Löcher in den Rahmen zu bohren. Dies aus dem Grund, um die von mir gemachten Ungenauigkeiten beim Bohren der Halter nicht noch mehr zu verstärken, wenn ich nach Mass die Löcher zuerst am Rahmen angezeichnet hätte.



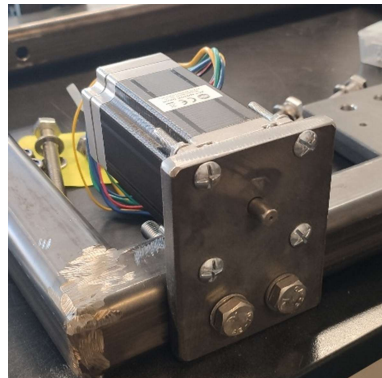
Für das Bohren der Löcher im Rahmen musste ich eine andere Bohrmaschine verwenden, da ich das Gestell bereits zusammengeschweisst hatte war es etwas umständlich das Gerüst richtig für das Bohren einzuspannen. Doch mit einer Gripp Zange konnte ich das Gerüst genügend befestigen, dass ich die Löcher bohren konnte.

Die Schwierigkeit bei dieser Methode war die Genauigkeit, aufgrund der unstablen Befestigung verrutschte der Rahmen jeweils ein paar Millimeter, was für kleine Ungenauigkeiten sorgte.

Als ich alle nötigen Löcher gebohrt hatte, wollte ich die Motoren zusammen mit den Haltern an den Rahmen bauen. Doch ich merkte noch vorher, dass das Profil für die Kopplung mit der Antriebsachse meiner Antriebsräder für die Raupen nicht auf die Antriebswelle der Motoren passte. Um dieses Problem zu lösen, schliff ich mit einer Schleifmaschine das D-Profil der Antriebswelle etwas tiefer, bis das Antriebsrad auf die Welle passte.

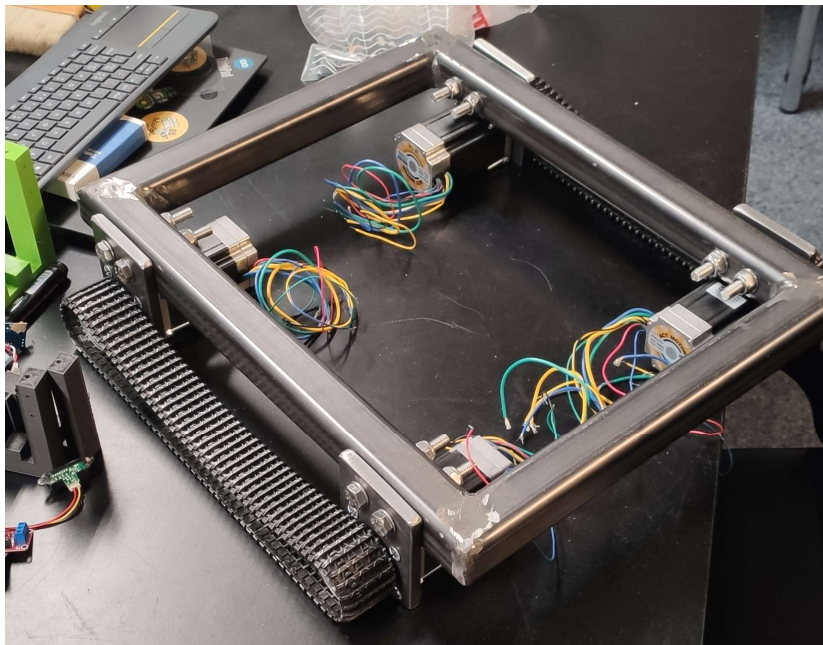


Sobald ich die Antriebswellen der vier Motoren bearbeitet hatte und die Räder passten, schraubte ich die Halter zusammen mit den Motoren an den Rahmen. Ich hatte beim Montieren der Halter etwas Spielraum und konnte im dümmsten Fall die Halter schräg platzieren, deshalb musste ich darauf achten, dass die Halter von Beginn an Gerade angesetzt sind und dass sie sich beim Anziehen der Schrauben nicht mehr gross bewegten.



Im nächsten Schritt montierte ich die Antriebsräder und die Raupenketten. Für das Raupensetz benutze ich ein Set inkl. Räder von einem Tiger 1 Model. Der Vorteil dieser Raupen ist, dass sie aus Stahl sind und die Antriebsräder sind aus Aluminium. Dies ist nötig, damit die Antriebskraft der Motoren sauber und ohne grossen Verschleiss an die Raupen übertragen werden kann.

Das Problem mit Plastikrädern wäre die Abnutzung, die entstehen würde bei ständigem Lastwechsel und dem starken änderndem Drehmoment. Der Vorteil der Stahlraupen, besteht ebenfalls bei ihrer Belastbarkeit. Die Raupen, können ohne Problem mit 80Kg belastet werden ohne jegliche Verformung. Bei Plastikraupen wäre die Gefahr von Verformen oder sogar Brechen sehr gross. Als dritte Variante wären Gummiraupen in Frage gekommen. Jedoch sind Gummiraupen für den Outdooreinsatz eher unvorteilhaft.



### 3.3.4 Grundplatte

Als letzter Schritt beim Zusammenbau der mechanischen Komponenten habe ich die Grundplatte auf dem Rahmen montiert. Dafür benutzte ich ein dreilagiges Holzbrett. Das Holzbrett schnitt ich auf die Masse des Rahmens zu und befestigte dieses mit zwei Scharnieren auf der Seite des Rahmens. Die Scharniere sollten mir später einen wartungsfreundlichen Zugang zu den elektronischen Komponenten bieten. Das Holzbrett liegt auf den Motorhaltern auf der gegenüberliegenden Seite auf, so entsteht ein kleinerer Luftspalt zwischen Rahmen und Brett. Dieser benötige ich, um die Kabel der Sensoren und Knöpfe zum Arduino führen zu können. Denn die Idee ist, dass alle elektronischen Bauteile wie Sensoren und Knöpfe zusammen mit dem Holzbrett aufgeklappt werden können.

### 3.4 Hardwaretest

---

Ziel des Statik-/Belastungstest ist es herauszufinden, ob der A.R.C den geforderten Lasten, Aufbautechnisch, standhalten kann. Für diesen Test montierte ich die Grundplatte auf das Gestell, um gleichzeitig auch ihre Festigkeit vor allem im Zentrum der Platte, zu prüfen. Als Testgewicht, benutzte ich drei Personen mit jeweils unterschiedlichen Körpermassen.

Tim: 75Kg

Pascal: 85Kg

Tobias: 92Kg

Die Testperson stellte sich in einem ersten Schritt langsam auf die Platte und zog den zweiten Fuss nach. Durch die langsame Belastung konnte ich das Verhalten des Gestells bei zunehmender Belastung beobachten. Sobald sich die Person auf der Platte befand, forderte ich sie auf sanfte Abstoss Bewegungen nach vorne und hinten zu machen. Durch diese Abstossbewegungen simulierte ich die Beschleunigungs- und Bremskräfte, welche vom Aufbau entstehen könnten. Ich konnte feststellen, dass sich bei keiner der drei Testpersonen, das Gestell in irgendeiner möglichen Form verzieht oder verformte. Die Motorenhalter zeigten keine Neigung gegen aussen, das bedeutet die M10 Schrauben konnten dem Gewicht entgegenhalten. Ebenfalls halten die vier Antriebswellen und die Räder dem Gewicht ebenfalls stand und ich konnte keine Verbiegung nach dem Test an den Rädern oder den Wellen feststellen.

Hier noch ein Bild, bei dem ich selbst auf dem Roboter stehe (92kg):



## 3.5 Aufbau der elektronischen Hardware

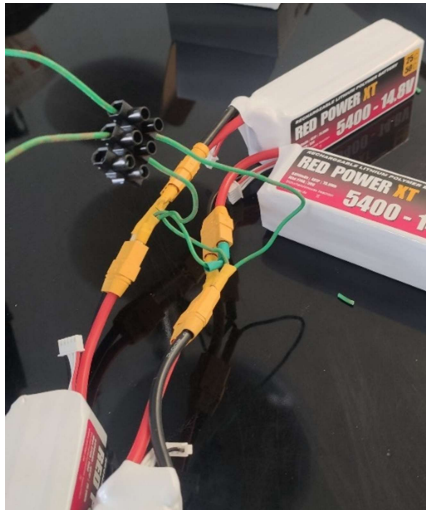
### 3.5.1 Batteriesystem

Die Stromversorgung des A.R.C erfolgt über vier 14.8V Lithium-Ion Akkus mit einer Kapazität von 5400mAh. Um eine Spannung von mindestens 24V zu erreichen, erstellte ich eine gemischte Schaltung. Ziel dieser Schaltung war es zum einen die erforderliche Spannung für den Motorentreiber zu erreichen, andererseits auch eine genügend hohe Kapazität zu erlangen. Deshalb konstruierte ich die gemischte Schaltung, um diese zwei Vorteile von der Spannung und der Kapazität miteinander kombinieren zu können. In einer Parallelschaltung kann ich die Kapazität der Akkus aufsummieren und in der jeweiligen Serieschaltung erreiche ich die Sollspannung von min. 24V. Die Akkus habe ich anschliessend am hinteren Teil des A.R.C befestigt. Für die Befestigung benutzte ich in einem ersten Schritt Klettverschlüsse. Mit jeweils zwei Schrauben montierte ich ein Holzstück auf jeder Seite der vier Batterien, mit denen ich die Akkus «festschnallen» kann.

Denn wenn ich bedenke, dass allein von den Motoren im maximalbetrieb pro Motor bis zu 7A fließen können, gäbe dies mit den vier Akkus eine Laufzeit von 23min.

$$C[Ah] = I[A] * t[h] \rightarrow t = \frac{C}{I} = \frac{10.8Ah}{28A} = 0.38h$$

Jedoch muss man berücksichtigen, dass der Arduino, Sensoren, Lüfter und Beleuchtung ebenfalls Strom benötigen. Dieser Wert ist im Vergleich mit den Motoren zwar gering, kann aber dennoch 0.5-1A ausmachen. Wenn man nun anstatt mit 28A mit 29A rechnet, bekommt man einen kleinen Unterschied der Laufzeit von 0.01h, was in meinem Fall gut vernachlässigt werden kann.



Für eine erste Version des A.R.C reicht diese theoretische Batterielaufzeit aus. Bei einer nächsten Version muss ich beachten, dass die Lademöglichkeit der Akkus einfacher und schneller ausfällt. Momentan muss ich die Akkus alle einzeln laden, dies habe ich über Schnellverschlüsse realisiert, welche ich direkt an einem Lithium-Ion Ladegerät anschliessen kann. Idealer wäre ein Ladevorgang mittels Induktion, so wäre kein Eingriff eines Menschen mehr nötig. Der Roboter könnte so einfach auf die Ladeplattform fahren und laden. Ebenfalls muss ich die Kapazitäten der Akkus erhöhen. Denn in einem späteren Schritt soll

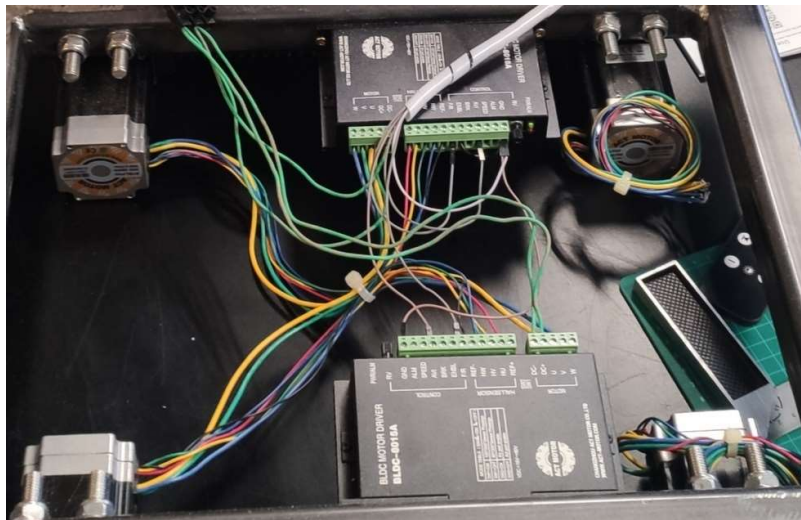
es möglich sein den Aufbau, welcher sich auf dem A.R.C befindet, ebenfalls über die Batterie im Fahrgestell versorgen zu können. Ebenfalls in einer zweiten Version, möchte ich mein bereits entworfenes Batteriemanagementsystem einbauen.

### 3.5.2 Motormanagement

Das Motormanagement besteht aus den vier Antriebsmotoren und zwei Motortreiber, welche jeweils eine Seite (bestehend aus zwei Motoren) steuern. Die Motortreiber werden direkt mit der Batteriespannung gespiesen. Zusätzlich verfügen sie über ein «ALM» Eingang, an dem ein PWM-Signal des Microcontrollers angelegt werden kann für die Steuerung der Motorgeschwindigkeit. Die Motoren werden über 5 Steuerleitungen und 3 Phasenleitungen mit dem Treiber verbunden. Über die 5 Steuerleitungen erhält der Motorcontroller verschiedene Rückgabewerte des Motors wie Motorgeschwindigkeit, Position, Laufzeit etc. Für meine momentane Funktion brauche ich noch keine dieser Parameter, denn ich brauche den Motor in einer ersten Phase nur als Aktor ohne Regelkreislauf oder Überwachungssystem.

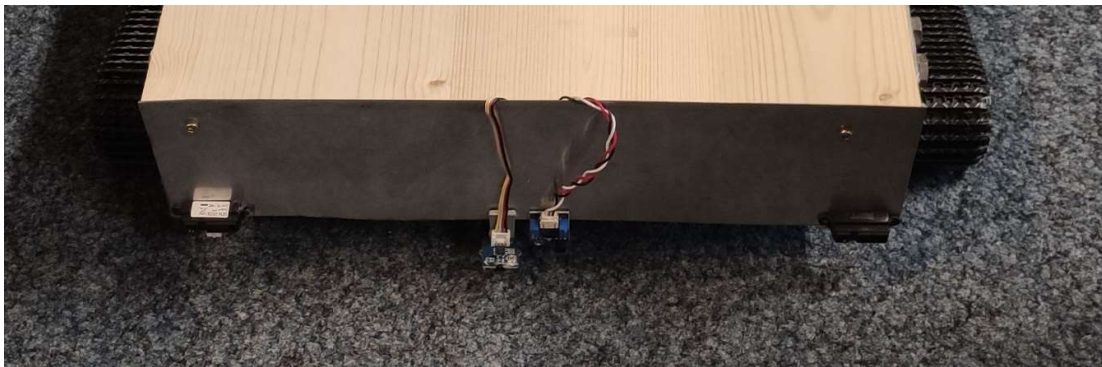
Nach dem Installieren der Motoren und Motortreiber inkl. Verkabelung prüfte ich die Anlage bereits auf Funktion. Ich schrieb ein Programm, welches die Motoren für 1 Sek ansteuern und dann wieder anhalten sollte. Somit schloss ich die Batterie an die Motortreiber und verband die entsprechenden Pins.

Zuerst bewegten sich die Motoren kurz, doch blieben dann stehen. Grund dafür war, dass ich zwei Motoren an einen Treiber angeschlossen hatte. Da die Treiber aber gemäss den Motoren gelieferten Informationen die Ansteuerung ausführen, konnte der Treiber keine klaren Signale beim Empfang von zwei unterschiedlichen Signalen, ausgeben. Das Resultat war, dass ich nur noch ein Motor pro Seite anschliessen konnte. Damit ich vier Motoren antreiben kann, bräuchte ich auch vier Treiber.

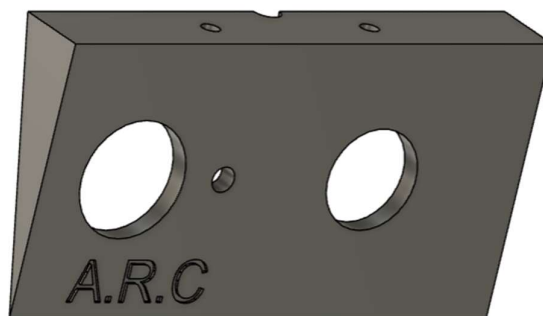


### 3.5.3 Sensorik

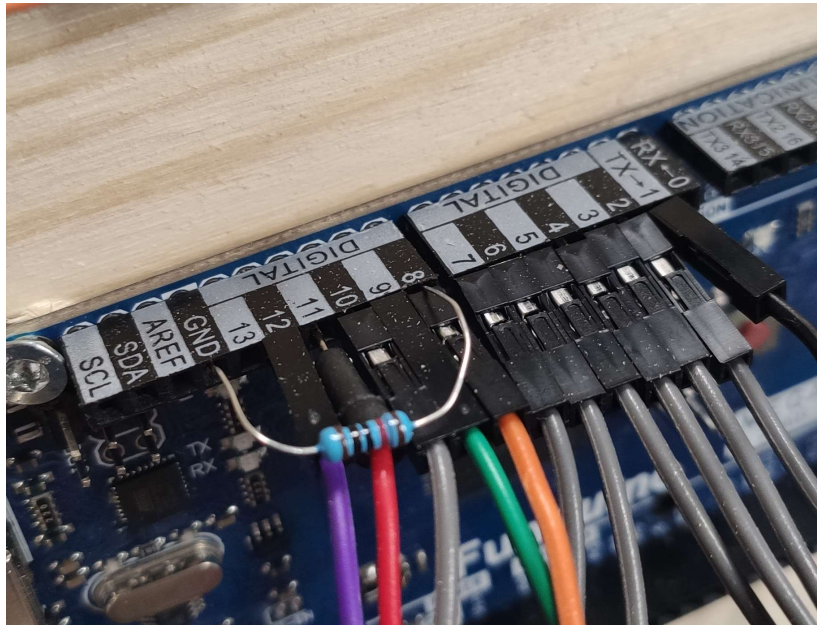
Für die Sensoren an der Front des Roboters, benutzte ich eine 1mm dicke Blechplatte für die Befestigung der Sensoren. Die zwei Infrarot Distanzsensoren montierte ich an den äussersten unteren Ecken, damit ich die maximal mögliche Breite abgedeckt habe. In der Mitte habe ich mit Heissleim die Reflexionssensoren für die Line tracking Funktion befestigt. Zum Schluss klebte ich eine LED-Leuchtkette an den oberen Rand der Platte, diese soll als Frontscheinwerfer des A.R.C im Remote Control Betrieb dienen. Die Kabel der Sensoren und der Leuchtkette zog ich im unteren Bereich der Platte zusammen und führte ein Kabelstrang unter die Hauptplatte zum Arduino. Die Kabel schützte ich mit einem Spiralschlauch vor Reibung und sonstige Beschädigungen.



Neben den Frontsensoren habe ich eine Platte für den hinteren Teil gezeichnet und mit dem 3D Drucker ausgedruckt, welche den Not-Aus-, Start-, und Programmknopf beinhaltet. Die Kabel für die Knöpfe führte ich durch eine Aussparung in der Hauptplatte zum Arduino.



Für den Schalter, um den Modus zwischen den Programmen umzuschalten, richtig schalten zu können. Musste ich ein sogenannten Pull down Widerstand verwenden. Dieser Widerstand verhindert, dass der Input Pin am Arduino, obwohl der Schalter ausgeschaltet sein sollte, trotzdem HIGH bleibt. Der Grund dafür ist der sogenannte «floating state». Der Pull Down Widerstand wird zwischen dem INPUT Pin und der Masse vom Board eingebaut und baut nach dem Ausschalten die noch vorhandene Spannung, über die Masse, am Pin ab.



---

## 3.6 Software

---

Für die Programmierung benutzte ich das originale Programm von Arduino, ArduinoIDE. In einem ersten Schritt erstellte ich ein Struktogramm des Programms. Das Programm sollte zwischen zwei verschiedenen Modis auswählen können. Zum einen das Linetracking Programm als Standardprogramm und mit einem Schalter kann der Remote Control aktiviert werden. Neben den Fahrfunktionen sollte der Roboter die Fähigkeit haben in jedem Zustand über ein Not-Aus Knopf abgeschaltet und über ein Start Knopf gestartet werden, der jeweilige Zustand wird über eine Rote LED (Halt) und eine Grüne LED (Bereit) vermittelt. Als weitere Sicherheitseinrichtung verfügt der A.R.C über ein Abstands Sensorik System, welches ihn im Linetracking Programm 10cm vor einem Hindernis anhalten lässt. Im Remote Control Modus habe ich absichtlich kein Notstopp eingebaut, da ich den Remote Control Modus als eine sichere Bedienung durch den Menschen sehe und somit ein Not Stopp mehr Einschränkungen als Vorteile bietet.

---

### 3.6.1 Motoransteuerung

---

Die Motorsteuerung erfolgt über drei Leitungen vom Arduino an die Controller. Dabei übermittelt eine das gewünschte Drehzahlsignal an den ALN Pin des Controllers. Das Drehzahlsignal wird mit einem PWM Signal gesendet. Die zweite Leitung bestimmt die Drehrichtung des Motors, in diesem Fall ist die Drehrichtung vorwärts, wenn das Signal den Wert «HIGH» hat. Bei der Programmierung habe ich das Tastverhältnis des PWM Signals sehr tief gehalten, sodass die Motoren nicht zu schnell beschleunigen und eine zu hohe Geschwindigkeit erreichen. Denn je nach Aufbau wäre eine zu hohe Geschwindigkeit sehr unvorteilhaft.

---

### 3.6.2 Line Tracking

---

Für das Line Tracking Programm benutzte ich zwei Lichtsensoren, welche einen positiven Wert ausgeben, sobald sie eine nicht reflektierende Fläche (z.B. Schwarz) detektieren.

Die Sensoren platzierte ich in der Mitte des Roboters mit einem Abstand von 2.5cm. Der Abstand darf nicht zu gross gewählt werden, da der Roboter sonst die Linie nicht mehr oder falsch erkennt und so die Funktion nicht richtig funktioniert. Wird der Abstand zu klein gewählt macht der Roboter zu grosse Sprünge, um auf der Linie bleiben zu können und das Fahrverhalten würde so unruhig wirken. Das bedeutet, der Abstand sollte idealerweise genauso gross sein wie die Dicke der Linie, der er folgen soll.

---

### 3.6.3 Remote Control

---

Die Remote Control Funktion besteht aus einer Switch-Case Struktur. Dabei wird zyklisch überprüft, ob ein Signal vom Bluetooth Modul empfangen wird. Sobald ein Signal, welches grösser als 0 ist, erkannt wird. Führt die Funktion den jeweiligen Befehl, passend für die gedrückte Taste in der App, aus. Für jede mögliche Taste in der App habe ich einen Case erstellt, welcher wiederum eine Funktion für die Fortbewegung beinhaltet.

Der Grund für die Benutzung einer App und nicht das Verwenden einer herkömmlichen Fernbedienung ist die Flexibilität, die das Smartphone bieten kann. Durch die App kann aus

jeder Situation und von jeder Person, welche über ein Smartphone mit Bluetooth Verbindung verfügt, auf den Roboter zugegriffen werden. So kann auf ein ständiges mitschleppen der Fernbedienung verzichtet werden, und dass die Fernbedienung auch beim Roboter bleibt, vermieden werden.

### 3.6.4 Batterie Management

---

In diesem Teil des Codes erstellte ich eine Funktion, mit der ich über zwei Temperatursensoren die jeweilige Umgebungstemperatur um die Batterien auslesen kann. Sobald die Temperatur den Wert von 50° Grad übersteigt, werden die Lüfter für die Kühlung über ein Relais eingeschaltet. Um diese Funktion zu ermöglichen, verwendete ich eine einfache If-Verzweigung mit den zwei Temperatur als Bedingung. Die Temperatur wird über die «DallasTemperature» Bibliothek ausgelesen. Mit dieser Bibliothek kann direkt über einen digitalen Pin des Arduino verschiedene Sensoren ausgelesen werden. Die Sensoren verfügen über eine Data Leitung, die mit dem Pin verbunden werden. Jede Leitung von den zwei Sensoren wird einem bestimmten Index zugewiesen und so im Arduino den Adressen zugeteilt.

Im Datenblatt des Akkus sind keine Informationen über bestimmte Temperaturschwellwerte vorhanden. Es gibt lediglich den Hinweis unter Punkt acht "Ventilation", dass man vorsichtig sein sollte und unter normalen Umständen keine zusätzliche Ventilation benötigt wird. Da ich die Akkus frei zusammengeschaltet habe und zusätzlich sehr starke Motoren betreiben werden, habe ich mich dazu entschieden die Akkus mit einem Kühlsystem auszurüsten.

### 3.6.5 Loop

---

Im Loop arbeite ich mich der «Status» Variabel, welche zwei Zustände hat 0 (aus) oder 1 (ein). In der ersten Zeile wird eine Funktion aufgerufen, welche den Zustand dieser Variabel abfragt und so erkennt, ob der Not Aus oder der Start Knopf gedrückt wurde. In einem zweiten Teil wird die «actualstate» Variabel abgefragt, diese bestimmt in welchem Fahrmodus der A.R.C fahren sollte. Anhand der entsprechenden Schalterstellung wählt er den dazugehörigen Modus. Am Schluss überprüfe ich mit den zwei Temperatursensoren die Umgebungstemperatur bei den Batterien, um zu überprüfen, ob die Lüfter eingeschaltet werden müssen.

Ich habe versucht den Loop Teil möglichst schlank und einfach zu gestalten. Ziel war es keine unnötigen Zeilen ausführen zu müssen, da diese die Programmlauffähigkeit verlangsamten könnten. Das bedeutet ich benutzte viele If-Schleifen, um sicherstellen zu können, dass nur die wirklich nötigen Programmzeilen ausgeführt werden.

### 3.7 Test des Robotischen Systems

---

Im Testprotokoll werde ich den Vergleich zwischen Soll-/ und Ist Status gemäss Zielscheibe festhalten. Um eine vollständige Protokollierung des Testergebnisses zu gewährleisten, werde ich den Test durchführen und Beobachtungen zum Verhalten des Roboters im Ist Bereich aufschreiben. Falls Verbesserungen vorgenommen werden müssen, werden dieses vermerkt und durch einen zweiten oder dritten Test bestätigt. Die Tests werden im Innenbereich auf einem Teppichboden durchgeführt.

Für die Durchführung der Test wird immer ein vollständig geladener Akku vorausgesetzt.

**Klassifizierung** nicht klassifiziert  
**Status** in Prüfung  
**Programmname** A.R.C  
**Projektnummer** 001  
**Projektleiter** Tobias Fierz  
**Version** 1  
**Datum** 18. Oktober 2023  
**Auftraggeber** Josef Räber  
**Autor/Autoren** Tobias Fierz

ID	Bezeichnung	Testdatum	Tester
T-001	Programm 1, Remote Control	18.10.2023	Tobias Fierz
T-002	Programm 2, Line Tracking	18.10.2023	Tobias Fierz

### 3.7.1 Remote Control Programm

ID / Bezeichnung	T-001	gemäss Testkonzept
Beschreibung	Programm 1, Remote Control testen.	
Testvoraussetzung	Gemäss Testkonzept	
Testschritte	<p>Der Roboter steht inmitten des Raumes und ist ausgeschaltet.          Der Arduino wird mit Strom versorgt und das Handy mit dem BT-Modul verbunden.</p> <p>Sobald verbunden werden alle Funktionen (Vorwärts, Rückwärts, Links, Rechts, vornerechts, vornelinks, hinten rechts, hinten links) und stopp) getestet.</p> <p>Anschliessend wird ein Slalom mit drei Stühlen abgefahren.          Um die Fahrfähigkeit unter Belastung ebenfalls zu prüfen, wird der A.R.C mit einem Gewicht von 30Kg beladen (Bücher) und anschliessend den Parkour zurückgefahren.</p>	
Erwartetes Ergebnis	<p>Alle Funktionen funktionieren ordnungsgemässe.</p> <p>Der Roboter sollte eine langsamere Geschwindigkeit haben, sobald er beladen ist.</p>	

#### Testdurchführung und Testergebnis

Testdatum	18.10.2023
Tester	Tobias Fierz
Mängelklasse*	2
Mangelbeschreibung	Vorwärts/Rückwärtslauf umdrehen
Bemerkungen	<p>Ich habe bei der Programmierung einen Denkfehler gemacht. Das INPUT Signal, welches für die Drehrichtung der Motoren zuständig ist, muss gedreht werden, da die Motoren sich gegenüberliegen. Somit wäre, wenn beide das Signal für den Vorwärtslauf hätten, dreht der linke rückwärts und der rechte Vorwärts.</p>
Ergebnis nach Korrektur	Die Motorsteuerung verhält sich nun so wie erwartet.
*Mängelklasse: 0 = mängelfrei; 1 = belangloser Mangel; 2 = leichter Mangel; 3 = schwerer Mangel; 4 = kritischer Mangel	

### 3.7.2 Linetracking

ID / Bezeichnung	T-002	gemäss Testkonzept
Beschreibung	Programm 2, Linetracking testen	
Testvoraussetzung	Gemäss Testkonzept	
Testschritte	<p>Der Roboter steht auf der Linie, befindet sich noch im Remote Modus und ist ausgeschaltet.</p> <p>Der Arduino wird mit Stromversorgt.</p> <p>Sobald alle Systeme bereit sind, wird der Modus umgeschaltet auf Linetracking.</p> <p>In der Hälfte der Strecke ein Hindernis auf die Linie stellen um den Notstopp zu simulieren.</p> <p>Sobald der Roboter den Kreis gemäss Zielscheibe abgefahren ist, wird der Roboter über die Not-Stopp Taste angehalten.</p> <p>In einem zweiten Durchgang wird der Roboter mit 80Kg beladen und der Kreis erneut abgefahren.</p>	
Erwartetes Ergebnis	<p>Sobald der Schalter umgeschaltet wird, bewegt sich der Roboter sofort und fährt der Linie nach.</p> <p>Beim Hindernis stoppt der Roboter 10cm vor dem Objekt. Nach entfernen des Objekt fährt der Roboter nach 2sek weiter.</p> <p>Nach dem drücken des Notstopps haltet der Roboter.</p> <p>Mit 80Kg sollte der Roboter, langsamer weiterfahren aber die Funktion vom Linetracking immernoch beibehalten.</p>	

#### Testdurchführung und Testergebnis

Testdatum	18.10.2023
Tester	Tobias Fierz
Mängelklasse*	02
Mangelbeschreibung	Im Code waren die Booleschen Werte für die Sensoren verkehrt.
Bemerkungen	Im Code war es zuerst so programmiert, dass der Roboter korrigieren muss wenn der Sensor ein HIGH Signal ausgibt. Jedoch bedeutet HIGH, dass der Sensor eine schwarze Fläche erkannt hat, somit muss er nicht korrigieren.
Ergebnis nach Korrektur	Die Line tracking funktioniert nun so wie erwartet. Der Roboter kann sich mit dem Gewicht fortbewegen.
*Mängelklasse: 0 = mängelfrei; 1 = belangloser Mangel; 2 = leichter Mangel; 3 = schwerer Mangel; 4 = kritischer Mangel	

Testdatum	18.10.2023
Tester	Tobias Fierz
Mängelklasse*	04
Mangelbeschreibung	Das Fahrgestell streift am Boden.

<b>Bemerkungen</b>	<i>Da die Antriebsräder zu klein sind, kann zu wenig Distanz zwischen Fahrgestell, also Motorenhalter, und Boden geschaffen werden. Daraus resultiert, dass das Fahrgestell bei starker Beladung den Boden berührt.</i>
<b>Korrekturmaßnahme</b>	<i>Ich muss in einem späteren Zeitpunkt neue Antriebsräder und einen neuen Kettensatz bestellen oder selbst herstellen, mittels 3D Druck.</i>
<b>*Mängelklasse: 0 = mängelfrei; 1 = belangloser Mangel; 2 = leichter Mangel; 3 = schwerer Mangel; 4 = kritischer Mangel</b>	

### 3.8 SWOT-Analyse

#### Strengths (Stärken)

- Vielseitigkeit: Mit einer Nutzlast von 80Kg deckt der Roboter verschiedene Einsatzgebiete ab.
- Flexibilität: Die Steuerung kann jederzeit beliebig auf Remote umgestellt werden und so wenn nötig die Kontrolle des Roboters einfach übernommen werden.
- Anpassungsfähigkeit: Der Roboter kann auf spezifische Funktionen, auf Wunsch des Kunden, angepasst werden.

#### Weaknesses (Schwächen)

- Potenzielle Komplexität: Je mehr Funktionen der Roboter verfügt, desto komplizierter könnte die Handhabung für den Endbenutzer werden.
- Kosten: Ein solch multifunktionaler, selbstgebauter Roboter kann sehr schnell kostenintensiv werden.
- Wartung und Support: Ein fortschrittliches Produkt benötigt spezielle Wartung und Support Dienstleistungen, welche den Benutzern angeboten werden kann.

#### Opportunities (Möglichkeiten)

- Marktdifferenzierung: Solch ein einzigartiges Produkt und Dienstleistung könnte Computare in einem Wettbewerb intensiven Markt hervorheben.
- Branchenpartnerschaften: Partnerschaften, welche Branchenspezifische Anwendungsmöglichkeiten für den Roboter haben.
- Erweiterung in neue Marktsegmente: Der Roboter für Branchen wie Logistik, Baugewerbe, Landwirtschaft, Schutz und Rettung, oder sogar Unterhaltung eingesetzt werden.

#### Threats (Bedrohungen)

- Wettbewerb: Andere Unternehmen könnten ähnliche oder Fortgeschrittenere Varianten auf den Markt bringen.
- Technologische Veränderung: Schnelle technologische Fortschritte könnten den Roboter rasch veralten lassen.
- Abhängigkeit von Lieferanten: Durch die Vielseitige Erweiterung und Komplexität ist Computare stark von externen Lieferanten abhängig, was bei Lieferengpässen ein Problem werden könnte.

---

### 3.8.1 Lösungsansätze

---

In diesem Abschnitt analysiere ich die Bedrohungen, entstanden aus meiner zuvor erstellten SWOT-Analyse. Mit der Absicht möglichst alle Bedrohungen ausschliessen zu können, um ein Marktstabiles Produkt zu garantieren.

#### **Wettbewerb:**

Das Problem, dass andere Unternehmen ein ähnliches Produkt oder sogar ein fortgeschritteneres auf den Markt bringen könnten, lässt sich aus meiner Sicht nicht verhindern. Die Chance, dass das gleiche Produkt von einer anderen Firma Kostengünstig und effizienter hergestellt und vertrieben wird ist sehr gross. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass ich mir Gedanken mache, wie ich mein Roboter einzigartig und so attraktiv machen kann. Ich ziehe meinen Gedanken weiter und überlege mir, welche bereits von uns vorhanden Produkte oder Dienstleistungen (Gesichtserkennungssoftware, Messgeräte und Monitoring Systeme, KI Sprachassistent) sind bereits vorhanden, welche mit dem Roboter kombiniert werden könnten, um ein absolutes Monopol zu erhalten.

#### **Technologische Veränderung:**

Die Technologische Veränderung und Entwicklung lässt sich nicht stoppen. Es werden täglich bessere und kostengünstigere Bauteile und Technologien entwickelt. Deshalb ist es wichtig, dass man sich nicht dagegen versucht aufzustemmen, sondern mit dieser technologischen Veränderung mit geht. Da wir die Konstruktion und den Bau des Roboters von Grund auf selbst gemacht haben, haben wir auch das Wissen wie und welche Bauteile ersetzt werden können. Durch diese Fähigkeit gelingt es uns den Roboter ständig mit einer neueren Version der Komponenten oder sogar des kompletten Prinzips auszurüsten.

#### **Abhängigkeit von Lieferanten:**

Für dieses Bedrohung sehe ich zwei Lösungsmöglichkeiten. Einerseits sollten wir grössere Lieferanten für die Materialbestellungen bevorzugen. Denn bei grossen Lieferanten ist die Wahrscheinlichkeit eines Engpasses kleiner. Andererseits müssen wir für alle nötigen Bauteile Redundanten schaffen. Das bedeutet für jedes Bauteil müssen mindestens zwei Lieferanten verfügbar und kontaktiert sein. So kann bei Ausfall des Hauptlieferanten auf den zweiten zurückgegriffen werden.

### 3.9 Finanzierungsmodell

---

Da es sich bei meiner ersten Version des A.R.C um ein Prototyp handelt werde ich dieser Abschnitt dafür verwenden, um zu erläutern in welchen Systemen wie Geld eingespart werden könnte, um eine serielle Produktion zu realisieren. Der Grund für diesen Gedankengang ist, dass ich in meiner Firma den A.R.C als Projekt weiterführen werde, um am Schluss den Roboter als Produkt anzubieten.

Das Grundgerüst des Roboters würde ich auf jeden Fall so belassen. Die vier Stahlprofile geben dem Roboter eine gute und massive Grundstruktur. Ebenfalls versetzten sie den Schwerpunkt des Systems nach unten. Dagegen bei den Motorenhalter, könnte eine dünnere Stahlplatte genommen werden, da diese Masse unnötiges Gewicht auf das Fahrwerk und die Raupen gibt. Von der Stabilität sollte eine Platte mit einer Dicke von 60% der ursprünglichen Platte ausreichen.

Andererseits bei den Motoren, welche man ganz klar durch eine kleinere und etwas schwächere Version ersetzen kann. Das System von ACT-Motor ist sehr hochwertig und bedienerfreundlich, leider ist das System sehr teuer und es gibt keine Möglichkeit ein Mehrmotoriges System mit einem Controller zu steuern. Deshalb würde ich auf ein Konventionelles System umsteigen oder auf einen Elektromotor mit Untersetzung, um die Ströme und Spannungen auch möglichst gering halten zu können. Wenn die Motoren kleiner ausfallen, kann auch bei der Grösse der Batterien gespart werden und so ein weiterer grosser Kostenpunkt gesenkt werden.

Neben den elektrischen Komponenten werde ich auch die Sensorplatte an der Front anpassen, da eine dünne Stahlplatte, aufgrund der grossen ungenutzten Fläche, ungeeignet ist. Ideal wäre ein Sensorstreifen, welcher anhand der benötigten Sensoren verändert werden kann. So kann Platz, Gewicht und potenzieller Widerstand eingespart werden.

Die Sensoren, die ich verwendet habe, reichen für ihren Zweck und sind kostengünstig. Hingegen bei den Interaktionstasten (Start/Stop) müssen Qualität bessere Modelle verwendet werden. Vor allem wenn der Roboter im Aussenbereich ist, müssen die Knöpfe Spritzwasserfest konstruiert sein und herkömmliche Plastikknöpfe mit Beleuchtung können diese Eigenschaft nicht garantieren.

Als Fazit kann ich sagen, dass der Roboter einzelne Verbesserungen, vor allem im Antriebsbereich, nötig hat. Im Antriebsbereich können aus meiner Sicht am meisten Ressourcen gespart werden ohne grossen Verlust zu erleiden. Bei der Fertigung und im Zusammenbau muss ich aus der Reflektion des ersten Baus einen idealen Ablauf erstellen, um möglichst effizient und einfach den Zusammenbau der Komponenten vollziehen zu können.

## 4 Projektabschluss

### 4.1 Projektüberwachung

Geplantes Datum	Arbeit	Tatsächliches Datum
11.09.2023	Erfassen des Projektauftrages	09.09.2023
12.09.2023	Auftragsklärung erstellen und einfügen	11.09.2023
12.09.2023	Problemerkennung und Beurteilung der Lage erstellen und einfügen	11.09.2023
13.09.2023	Zielscheibe erstellen und einfügen	09.09.2023
13.09.2023	Projektstrukturplan erstellen	05.09.2023
14.09.2023	Projekttablaufplanung erstellen	09.09.2023
15.09.2023	Arbeitsprodukte zusammen mit Arbeitgeber besprechen	26.09.2023
06.10.2023	Bau des A.R.C	17.10.2023
06.10.2023	Statik Test	10.10.2023
10.10.2023	Software programmieren und testen	16.10.2023
13.10.2023	Testen des kompletten robotischen Systems	18.10.2023
13.10.2023	Management Summary erstellen	21.10.2023
13.10.2023	SWOT-Analyse erstellen	13.10.2023
13.10.2023	Finanzierungsmodell erstellen	15.10.2023
16.10.2023	Evaluation der Zielerreichung	21.10.2023
18.10.2023	Reflektionsbericht verfassen	21.10.2023
18.10.2023	Lessons Learnt einfügen	21.10.2023
20.10.2023	Korrigieren, verbessern und ergänzen der Arbeit	22.10.2023
20.10.2023	Ablaufplanung Soll-/Ist Überwachung komplett	21.10.2023
23.10.2023	Abgabe der Arbeit gemäss Vorgabe	23.10.2023

### **4.1.1 Ablaufplanung – Soll / Ist-Überwachung**

---

Die Erstellung der Arbeit verlief bei mir äußerst erfolgreich, und ich konnte mich zu Beginn sehr schnell in das Thema einarbeiten. Ebenso forderte die Themenwahl wenig Zeit.

Im Nachhinein, wenn ich auf meine Projektüberwachungstabelle blicke, kann ich feststellen, dass die Initialisierung und Planungsphase sehr gut verliefen. Dies kann ich ebenfalls bestätigen. Bereits zu Beginn meiner Arbeit konnte ich früh mit den Planungsarbeiten beginnen und die benötigten Teile bestellen. Die Projektstruktur- und Ablaufplanung hatte ich bereits in einem Entwurf vorliegen, als die Arbeit offiziell begann. Dadurch konnte ich die sechswöchige Phase mit einem strukturierten Plan starten.

Als ich mit dem Bau des Roboters beginnen wollte, bemerkte ich, dass gewisse Teile, die ich bereits bestellt hatte, für ihre Funktion am Roboter ungeeignet waren, und ich musste sie durch passende Teile ersetzen. Dieser Prozess kostete mich mindestens eine halbe Woche, die ich ursprünglich nicht in der Planung berücksichtigt hatte. Zusätzlich kam am 16.09.2023 mein Umzug in meine erste eigene Wohnung hinzu, was mich fast eine ganze Woche lang blockierte. Ich bemerkte auch, wie aus der Überwachungstabelle ersichtlich ist, dass ich grosse Schwierigkeiten hatte, wieder im Projekt Fuß zu fassen. Der Bau verzögerte sich mindestens um eine Woche, und so konnte ich meine bereits erstellte Software und die gesamte Dokumentation erst im Nachhinein fertigstellen. Zusätzlich bemerkte ich während des Baus des A.R.C, dass ich bestimmte Konstruktionen verbessern konnte, wie zum Beispiel die Motorenhalter, die den Boden berührten. Einiges konnte ich direkt verbessern, doch all jene Aspekte, die zu viel Zeit in Anspruch nehmen würden, musste ich vorerst unbeachtet lassen und notierte mir die Probleme zur späteren Verbesserung.

All diese Aspekte führten dazu, dass ich meine Arbeit am Ende dennoch erfolgreich abschließen konnte, jedoch litt die Qualität des Baus darunter. Viele Dinge musste ich provisorisch montieren, um die Tests bereits durchführen und dokumentieren zu können, da eine feste Installation noch mehr Zeit in Anspruch genommen hätte.

Trotzdem gelang es mir am Ende der Arbeit, in sechs Wochen ein gutes Produkt zu entwickeln und mir viel wichtiges Wissen bezüglich des Baus eines Raupenroboters anzueignen. Dieses Wissen wird mir im Betrieb bei der Konstruktion der nächsten offiziellen Version sehr von Nutzen sein.

### **4.1.2 Evaluation der Zielerreichung**

---

Aus meiner Sicht habe ich mein Ziel zu etwa 80% erreicht. Alle von mir für die Arbeit relevanten Ziele wurden erfüllt. Jedoch aus Sicht des Unternehmens bestand mein Ziel darin, ein einsatzbereites Endprodukt vorzulegen. Jetzt bin ich gezwungen, die aktuelle Version des A.R.C. erneut zu überarbeiten oder eine völlig neue Version mit sämtlichen Verbesserungen zu entwerfen und zu konstruieren.

Persönlich betrachtet habe ich mein Ziel erreicht. Ich habe gelernt, wie man ein Projekt von Grund auf plant und umsetzt. Zusätzlich erwarb ich die Fähigkeit, einen selbstfahrenden Roboter von Grund auf zu bauen und zu programmieren. Bei der Umsetzung musste ich auf zahlreiche Aspekte achten, angefangen bei der Energieversorgung bis hin zur Wahl der

Baumaterialien. All diese gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen es mir, bei der nächsten Version des Roboters ein robustes Produkt vorzulegen.

### **4.1.3 Erhebung des Erfüllungsgrades**

---

#### **Meine gestellten Ziele:**

- Die Aufgabenstellung ist in einem Satz verständlich beschrieben.
- Es liegen keine Abweichungen zwischen Projektstrukturplan und Projektablaufplan vor.
- Der A.R.C kann bis zu einer Nutzlast von 80 Kg alle gestellten Funktionen erfüllen,
- Der A.R.C kann ein Oval, welches einen Durchmesser von 1m und einer Länge von 2m hat mit der Line Tracking Funktion abfahren,
- Der A.R.C fällt in ein Notstopp bei einer frontalen Objektdistanz von <10cm,
- Der A.R.C kann mittels Remote Control von einem Smartphone einen Parkour mit 3 Hindernissen umfahren,
- Die Projektüberwachung ist lückenlos geführt,
- Der Erfüllungsgrad aller gestellten Ziele ist begründet und beschrieben,
- Drei positive und Drei negative Punkte, welche gut gelungen sind und welche verbessert werden können,

#### **Ziel 1:**

Das erste Ziel konnte ich im Management Summary im ersten Satz erreichen. Dort gelang es mir meine Aufgabenstellung in einem Satz widerzugeben.

#### **Ziel 2:**

Aus meiner Sicht ist mir keine Abweichung zwischen Projektstruktur und Ablaufplanung bekannt. Ich musste in der Hälfte meiner Arbeitszeit eine neue Ablaufplanung erstellen, doch die Punkte aus der Strukturplanung blieben dabei gleich. Lediglich der Zeitpunkt und die Bearbeitungsdauer änderten sich.

#### **Ziel 3:**

Das dritte Ziel ist gemäss den vorliegenden Testprotokollen ebenfalls erfüllt. Der A.R.C konnte mindestens einmal den Test erfüllen.

#### **Ziel 4:**

Das vierte Ziel ist ebenfalls gemäss den vorliegenden Testprotokollen erfüllt.

#### **Ziel 5:**

Die Projektüberwachung ist mittels einer Überwachungstabelle geführt. Die Solldaten in der linken Spalte, entsprechen den Daten der überarbeiteten Projektablaufplanung.

#### **Ziel 6:**

Dieser Punkt wird in der Abschlussphase meiner Arbeit intensiv behandelt.

#### **Ziel 7:**

Die Lessons Learnt werden als letzter Punkt im Abschluss behandelt.

---

#### **4.1.4 Ausblicke**

---

Während der Erstellung meines Roboters führte ich viele Meetings und Gespräche mit Kunden, aber auch mit Teamkameraden aus dem Unternehmen, um die Weiterführung und Verbesserungspotenziale des A.R.C. zu besprechen. In diesem Abschnitt werde ich eine Zusammenfassung dieser Gespräche geben und somit alle Verbesserungs- und Modifikationsideen vorstellen.

##### **Verbesserung der Grundstruktur**

Meine erste Priorität besteht darin, eine solide Grundstruktur zu erstellen und zu bauen. Dies beinhaltet die feste Verbindung aller Komponenten. Die Verkabelung der elektronischen Teile muss ordnungsgemäß und langfristig angelegt sein. Das bereits geplante Batteriemanagement-System wurde umgesetzt. Neben den Batterien sollen auch die Sensoren an der Front und die Knöpfe am Heck besser gestaltet werden. Die Anschlüsse der Knöpfe sollen nicht mehr sichtbar sein, sondern gut geschützt in einem Gehäuse untergebracht werden. Ebenso erhalten die Sensoren an der Front jeweils ein Gehäuse zum Schutz und für ein ansprechenderes Design. Zudem beabsichtige ich, eine verbesserte Variante für das Raupensystem zu finden. Wie bereits erwähnt, werden größere Antriebsräder und ein anderer Raupensatz das aktuelle Set ersetzen. Schließlich plane ich, das Design moderner und ästhetisch ansprechender zu gestalten. Das gesamte Gestell soll lackiert werden und eine modernere, leicht abgerundete Silhouette erhalten.

##### **Einsatzgebiete**

In unserer Firma haben wir bereits ausführlich darüber gesprochen, wo der A.R.C. überall eingesetzt werden kann. Unter anderem plant die Feuerwehr Basel, den A.R.C. zu nutzen, um eine Drohne zu transportieren, die während eines Brandes in der Luft Informationen an die Feuerwehr übermitteln kann. Ebenso möchten wir das Fahrgestell für unsere humanoiden Roboter als Fortbewegungsmittel einsetzen. Das Fahrgestell kann auch in Industrieunternehmen verwendet werden, um beispielsweise Robotergreifarme mobil zu machen. Dabei kann ein Greifarm mehrere Stationen in einer Fertigungsstrasse besetzen, und der A.R.C. stellt sicher, dass der Roboter immer zur richtigen Zeit am richtigen Ort ist.

##### **Zusatzfunktionen**

Neben der Erweiterung der Sensoren und der Hinzufügung verschiedener Fahrmodi kann ich den A.R.C. auch mit einer intelligenten Kamera ausstatten. Neben dieser Projektarbeit habe ich eine Software entwickelt, die mittels künstlicher Intelligenz ein Gesicht einem in der Datenbank hinterlegten Foto zuordnen kann, was heutzutage als Gesichtserkennung bezeichnet wird. Mit der Kamera und meiner neuen Software kann ich den A.R.C. mit einem Sicherheitssystem ausstatten, das mittels Gesichtserkennung das Ein- und Ausschalten des Roboters steuert. Dies kann verhindern, dass der Roboter beispielsweise bei der Feuerwehr, wo er 48 Stunden im Freien stehen kann, gestohlen oder deaktiviert wird.

## 4.2 Reflexionsbericht/Lessons Learnt

---

In diesem Abschnitt der Arbeit werde ich jeweils drei positive und drei negative Punkte auflisten. Abschließend werde ich mein Schlusswort geben und meine wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Arbeit zusammenfassen.

### **Positiv:**

#### 1. Vorbereitung auf die Diplomarbeit

Bereits im Vorfeld konnte ich wertvolle Informationen zum Thema mobile Robotik sammeln, die sich später in meiner Arbeit als äußerst nützlich erwiesen.

#### 2. Planungs- und Initialisierungsphase

In den ersten beiden Phasen meiner Arbeit konnte ich effizient und erfolgreich voranschreiten. Die intensive Auseinandersetzung mit der Problemanalyse ermöglichte es mir, die bevorstehenden Herausforderungen frühzeitig zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Aufgrund dieser Analyse konnte ich eine solide Struktur- und Ablaufplanung entwickeln.

#### 3. Überwachung

Durch kontinuierliches Hinterfragen und Reflektieren konnte ich immer genau identifizieren, welches aktuelle Problem mich behinderte und warum. Dadurch begann ich frühzeitig, Punkte festzuhalten, die ich in der nächsten Version verbessern möchte. Letztendlich war dies der Grund, warum ich trotz meines Umzugs und der Abweichungen von der ursprünglichen Planung das Projekt erfolgreich abschließen konnte.

### **Negativ:**

#### 1. Motorenwahl

Im Nachhinein erkenne ich, dass die Wahl von Schrittmotoren für die Umsetzung möglicherweise vorteilhafter gewesen wäre. Schrittmotoren hätten mir ermöglicht, das Haltemoment zu meinem Vorteil zu nutzen, was in meinen zukünftigen Anwendungsbereichen definitiv von Nutzen gewesen wäre.

#### 2. Konstruktion des Grundgerüsts

Bei der Konstruktion des Grundgerüsts habe ich bestimmte Aspekte wie den Abstand der Motorenhalter zum Boden erst spät erkannt. Ebenso hatte ich bei der Planung die Kabelführung der elektrischen Komponenten ins Chassis nicht ausreichend berücksichtigt.

#### 3. Verkabelung/Installation der Elektronik

Aufgrund von Zeitmangel war ich gezwungen, die Verkabelung und Installation der elektrischen Komponenten provisorisch durchzuführen. Das führte dazu, dass Teile immer wieder abfielen und neu montiert werden mussten. Außerdem fielen Pins aus den Steckverbindungen, was die Fehlersuche erschwerte.

**Lessons Learned:**

Abgesehen von allen kleinen technischen Details, die ich während des Baus erlernte, gibt es eine wichtige Erkenntnis, die sich herauskristallisierte. Wenn ein System von Grund auf selbst konstruiert wird, sollte viel Zeit in die sorgfältige Planung und Erstellung eines Konzepts (Skizze oder 3D-Zeichnung) investiert werden. Die spätere Konstruktion wird dadurch erheblich vereinfacht, und unerwartete Probleme treten seltener auf, wenn bereits im Vorfeld eine solide Planung erstellt wurde. Diese Planung sollte eine Skizze der Konstruktion und im Idealfall bereits ein Prototyp beinhalten.

## 5 Redlichkeitserklärung

---

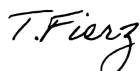
Die Verfasserinnen und Verfasser bestätigen mit ihrer Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel erstellt wurde.

Die aus fremden Quellen (einschliesslich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht vorgelegt worden.

Unterschriften:

Datum/Ort:



Tobias Fierz

23.10.2023 / 5243 Mülligen

## 6 Anhang

- 00\_ArduinoSourceCode
- 01 DCMotor\_Variante3
- 02 Getriebemotor\_Variante2
- 03 Motortreiber
- 04 Schrittmotor\_Variante1
- 05 Sicherheitsdatenblatt Akku
- 06 Infrarot Distanzsensor
- 07\_HC06\_BTModul