

Projekt Methoden und Kreativität

Gruppe IT-S3 – Robot Wars

Abschlussbericht

Autoren: Leon Frei – 314332
Tobias Schieler – 314689
Sven Krohn – 314695
Louis Scharr – 314538

Betreuer: Prof. Alfred Schätter
Dipl.-Wirt.-Ing. René Triebenstein

Ort: Pforzheim

Abgabetermin: 26.06.2019

Semester: SS 2019

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konzept	4
Abbildung 2: Prototyp	5
Abbildung 3: Grundkörper Prototyp	6
Abbildung 4: Verbauung der Walze	6
Abbildung 5: Zusatzanbau Walze Prototyp	7
Abbildung 6: Leichtbau des Grundkörpers	8
Abbildung 7: Radkasten Draufsicht	8
Abbildung 8: Überarbeitetes Konzept der Walze	9
Abbildung 9: Überarbeitetes Konzept Innenleben Walze	10
Abbildung 10: Stützring	10
Abbildung 11: Altes Konzept Innenleben Walze	10
Abbildung 12: Finaler Roboter der Ant-Klasse	13
Abbildung 13: Explosionszeichnung Endergebnis	15
Abbildung 14: Elektronischer Schaltplan	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gewichtsübersicht	11
Tabelle 2: Gewichtsübersicht nach Überarbeitung der Bauteile	12

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis.....	2
1 Einleitung	4
2 Entwicklung des Roboters.....	4
2.1 Konzept	4
2.2 Prototyp	5
2.3 Bauteilevolution	7
2.3.1 Chassis.....	7
2.3.2 Walze.....	9
2.4 Gewichtsübersicht	11
3 Endergebnis.....	13
4 Elektrischer Schaltplan.....	16
5 Testdrucke	17
6 Projektfazit	17
Anhang	20

1 Einleitung

Das Projekt der Veranstaltung „Projekt Methoden und Kreativität“ bestand darin, einen Roboter der Ant-Klasse zu entwickeln. Der Roboter unterstand dabei Bemaßungsgrenzen von 10x10x10 cm und einer Gewichtsgrenze von 220 g. Der abschließende Wettkampf soll hierbei entweder durch die Kampfunfähigkeit des Gegners oder der Platzierung dreier Tischtennisbälle im gegnerischen Feld gewonnen werden. Im folgenden Bericht wird die Umsetzung des Ant-Bots auf der Grundlage des Konzeptes und des Prototyps, der Verbesserungsprozess sowie der fertige Roboter dargestellt und erläutert.

2 Entwicklung des Roboters

2.1 Konzept

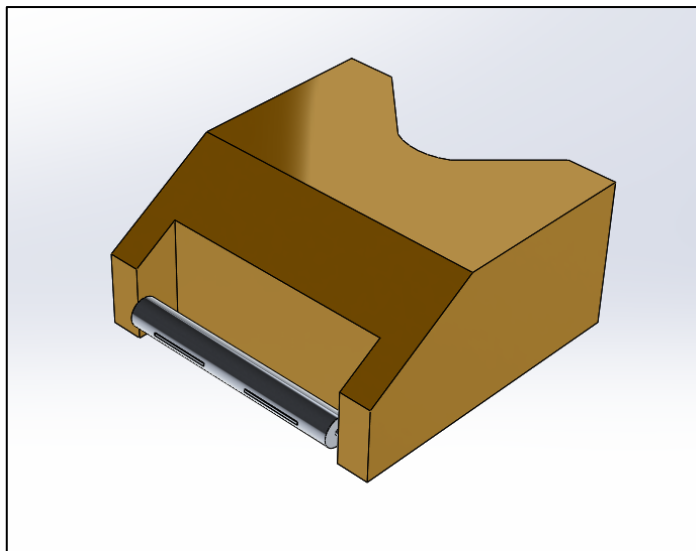


Abbildung 1: Konzept

Das Konzept diente als Grundlage für die Phase der Umsetzung bzw. für die Entwicklung des Prototyps. Bei der Entwicklung des Konzeptes wurden die ausgewählten Ausprägungen des morphologischen Kastens (siehe Anhang) umgesetzt. Bei der Ballführung wurde eine Dreiecksform mit einer Rundung kombiniert, um den Ball einerseits besser einfangen zu können und andererseits mithilfe der Rundung sicher führen zu können. Als Zusatzanbau wurde ein drehendes Element gewählt, welches als Walze zu erkennen ist (Abb. 1).

Der Verbau der Räder und des Stützrades ist in Abb. 1 nicht zu erkennen, jedoch wurde sich darauf geeinigt die Stützkugel hinten und die Polulu-Räder vorne anzuordnen, um so den Schwerpunkt nach hinten zu versetzen. Bei der Gewichtsbegrenzung wurde sich für die schwerste Variante entschieden, aufgrund des höheren Gewichts des Zusatzanbaus (Walze) und, um eine bessere Bodenhaftung zu erhalten.

2.2 Prototyp

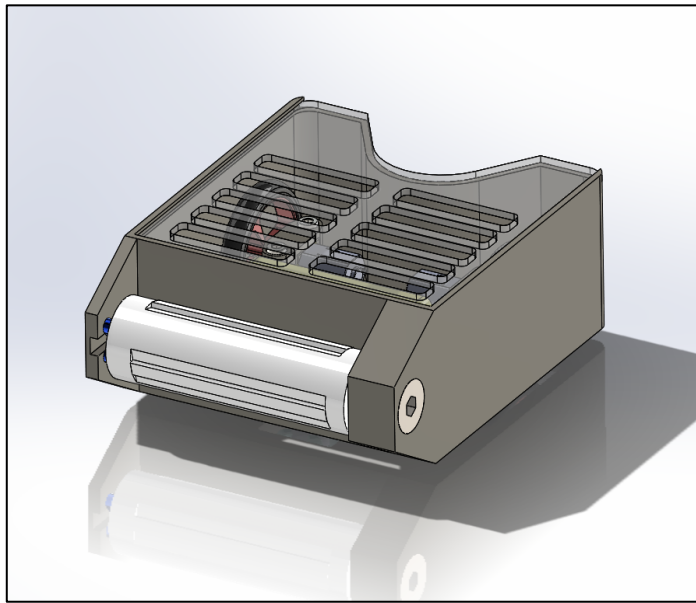


Abbildung 2: Prototyp

In Abb. 2 ist der komplette Prototyp inklusive des Zusatzanbaus zu sehen. Im Folgenden wird näher auf die einzelnen Teile des Prototyps, wie den Grundkörper, den Deckel und die Walze eingegangen und beschrieben, wie und warum diese so konstruiert wurden. Im Bild ist auch der Deckel zu sehen, der mit Einlässen versehen wurde, um einerseits für genug Kühlung des Akkus und der Motoren zu sorgen, außerdem um Gewicht zu sparen.

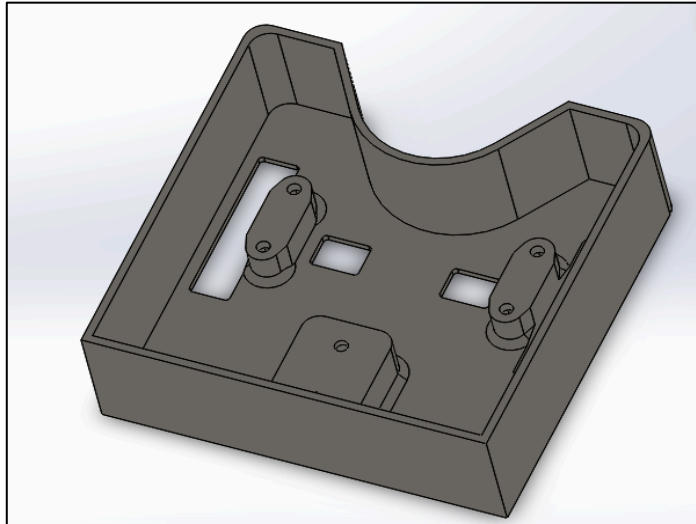


Abbildung 3: Grundkörper Prototyp

Abb. 3 zeigt den Grundkörper des Prototyps. Zu erkennen sind die Aussparungen für die Polulu-Räder mit entsprechender Befestigung für die beiden Getriebemotoren. Diese werden mit einer Halterung von oben mit einer M4-Schraube und einer Mutter auf der anderen Seite verschraubt. Am unteren Teil des Grundkörpers ist ebenfalls die Halterung für die Stützkugel zu erkennen. Diese wird mittels einer Presspassung von unten im Grundkörper fixiert. Die Ballführung im oberen Teil der Abbildung hat sich seit dem Konzept nicht verändert, hier wurde der v-förmige Einlass und die Rundung beibehalten, da so der Ball am besten fixiert werden kann.

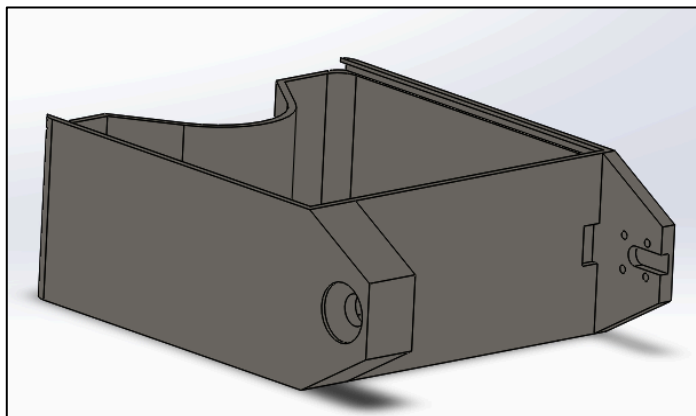


Abbildung 4: Verbauung der Walze

In Abbildung 4 ist die Verbauung der Walze zu sehen. Der Motor, der zum Antrieb der Walze benötigt wird, wird auf der rechten Seite verbaut und am Chassis mithilfe von vier M2-Schrauben fixiert.

Des Weiteren ist eine kleine Aussparung an der Rückseite des Grundkörpers zu erkennen, diese dient dem einfachen Verbau der Verkabelung. Auf der linken Seite wird die Walze mit einer Schraube, einer Mutter und einem Kugellager, welche sich im inneren der Walze befinden, verbaut und fixiert. Zuletzt ist noch eine Nut an der Oberkante des Chassis zu erkennen, welche dem einfachen Verbau des Deckels dienen soll. Somit ist auch ein schneller Akkuwechsel, falls benötigt, gewährleistet.

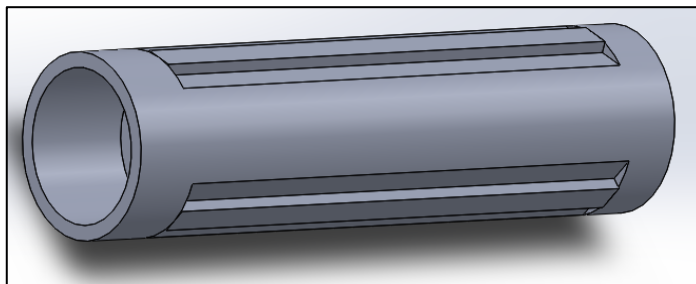


Abbildung 5: Zusatzanbau Walze Prototyp

Abb. 5 zeigt die Walze in der Komplettansicht. Auf der Außenseite der Walze wurden zusätzlich längliche Rillen konstruiert, welche die „Zerstörungskraft“ der Walze erhöhen sollen und es so leichter machen, den Gegner zu treffen und ihn zu verwunden.

2.3 Bauteilevolution

2.3.1 Chassis

Nach der Fertigstellung des Prototyps und dem letztlichen Wiegen wurde ersichtlich, dass die Gewichtsgrenze von 220 g um ca. 40 g überschritten wurde. Beim Vergleich der Bauteile im Hinblick auf das Gewicht fiel auf, dass das Chassis mit 91 g mitunter am meisten Einsparpotential bot. Wie im Vergleich der Abb. 4 & Abb. 6 zu sehen ist, wurde deshalb die Wanddicke des Grundkörpers an allen vier Seiten reduziert.

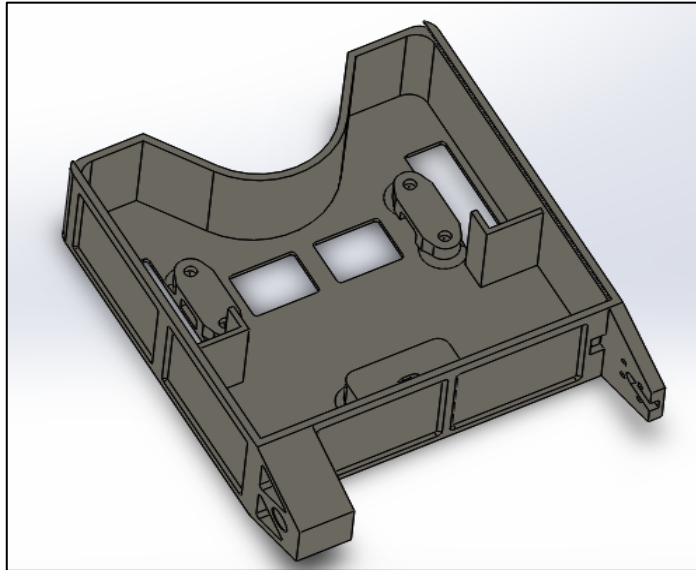


Abbildung 6: Leichtbau des Grundkörpers

Um keine Einbußen bei der Stabilität zu verzeichnen, wurden nur ausgewählte Bereiche der Seiten auf 1 mm, anstatt zuvor auf 2mm, reduziert und mit einer Phase versehen. Dadurch, dass nicht die gesamte Fläche dünner konstruiert wurde, sondern noch eine Verstrebung, sowie der Rand mit 2mm erhalten blieb, verschlechterte sich die Stabilität nahezu gar nicht. Darüber hinaus wurden Materialeinsparungen hinten, bei den Halterungen für die Walze, vorgenommen. Auf der linken Seite des Kugellagers lassen sich zwei Dreiecke erkennen, an welchen die Materialeinsparung vorgenommen wurde.

Im Inneren des Chassis-Bauteils wurde, wie in Abb. 7 zu erkennen ist, eine Art Schutzvorrichtung entworfen. Diese hat den Zweck, eine Berührung der Räder mit den Kabeln der Elektronik auszuschließen.

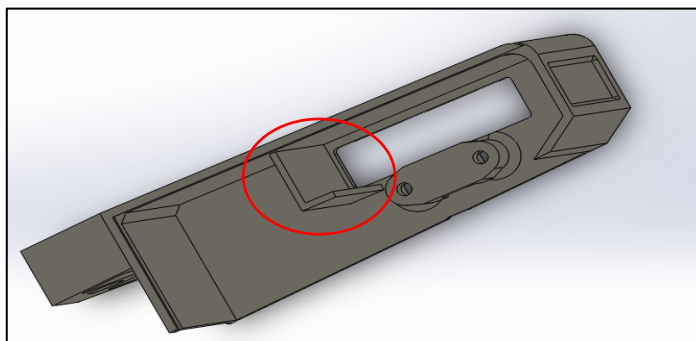


Abbildung 7: Radkasten Draufsicht

Im Laufe des Projekts wurden die zur Befestigung der Räder genutzten M8 Schrauben durch M4-Schrauben ersetzt, um eine Gewichtsreduktion herbeizuführen. Auch hier mussten mittels SolidWorks Anpassungen am Chassis-Bauteil vorgenommen werden und an der Walze ein Stützring, eingefügt werden.

2.3.2 Walze

Bei der als Waffe dienenden Walze war zunächst geplant Aluminium als Werkstoff zu nutzen. Jedoch wurde darauf verzichtet, da Aluminium viel schwerer als der für den 3D-Druck verwendete Kunststoff PLA ist und zudem die Rahmenbedingung besteht, lediglich mit Hilfe des 3D-Drucks zu arbeiten. Somit ist das Bearbeiten eines Bauteiles aus Aluminium mit Hilfe einer Drehmaschine untersagt. Zudem waren die ersten Überlegungen, anstelle der Ausprägungen, im weiteren Verlauf „Nupsis“ genannt, mehrere Schrauben durch die Walze zu schrauben, welche die Zerstörungskraft der Waffe durch die Rotation umsetzen sollte. Dieser Ansatz wurde jedoch aufgrund der Tatsache fallen gelassen, dass das verwendete PLA bei einer zu hohen Drehzahl und dem Kontakt der Schraube mit z.B. dem gegnerischen Roboter schlicht nicht Stand halten würde. Aufgrund dessen wurden Ausprägungen an der Walze realisiert, wie in Abb. 5 und Abb. 8 zu sehen ist. Diese Ausprägungen sollen in Verbindung mit einer hohen Drehzahl der Walze dazu führen, dass ein etwaiges gegnerisches Objekt bei Berührung Schaden nimmt.

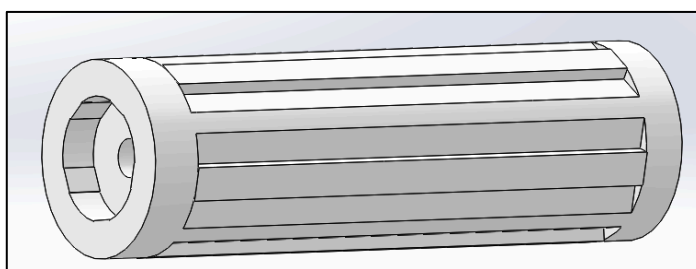


Abbildung 8: Überarbeitetes Konzept der Walze

Für den Prototypen wurden zunächst drei Nupsis in die Walze konstruiert. Anhand von Testdrucken, welche im nachfolgenden Kapitel näher beleuchtet werden, entstand zudem die Erkenntnis, dass die Nupsis einer größeren Ausprägung bedürften, also mehr aus der Walze herausragen sollten, sodass die Walze bei Berührung mehr Kraft auf das gegnerische Objekt ausüben kann. Zudem wurde die Anzahl der Nupsis von zunächst drei, beim Prototyp, auf letztendlich fünf erhöht, da dies mehr Zerstörungskraft versprechen soll.

Wie im Vergleich der Abb. 9 & Abb. 11 zu erkennen ist, wurde auf der linken Seite, wo später der Motor sitzen wird, eine Aussparung hinzugefügt. Diese Aussparung sorgt dafür, dass der Motor besser in der Walze sitzt.

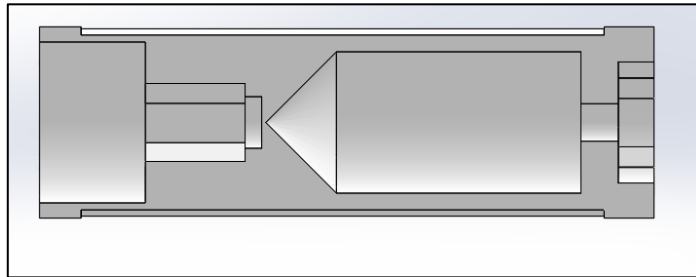


Abbildung 9: Überarbeitetes Konzept Innenleben Walze

Die Kegelförmige Form in Abb. 9 erfüllt den Zweck der Gewichtseinsparung. Durch den größeren Freiraum besteht die Walze schlicht aus weniger Material. Zudem musste aufgrund des 3D-Druckers eine Trichterform gewählt werden, da ein durchgehender Freiraum nicht hätte gedruckt werden können. Neben dem Chassis-Bauteil, sowie der Waffe, wurde ein weiteres Teil zur Fixierung des Kugellagers benötigt.

Wie in Abb. 12 zu erkennen ist, ist die Walze mit dem Chassis auf der Seite des Kugellagers durch eine Schraube verbunden.

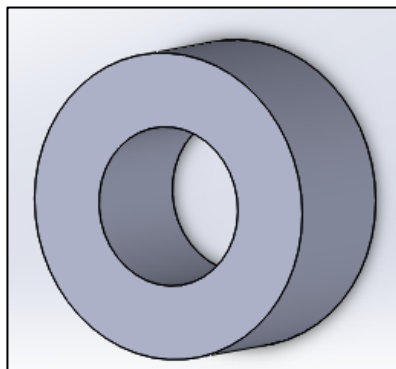


Abbildung 10: Stützring

Der Innendurchmesser des Kugellagers war zunächst weitaus größer als der Außendurchmesser der Schraube, was dazu geführt hätte, dass die Schraube ein zu hohes Spiel und die Walze bei Rotation einen zu hohen Umschwing gehabt hätte. Deshalb musste, wie in Abb. 10 zu erkennen ist, für das Innere des Kugellagers ein

zusätzliches Bauteil konstruiert werden, welches exakt dem Außendurchmesser des Gewindes der Schraube entspricht und das zuvor herrschende Delta der Durchmesser eliminiert.

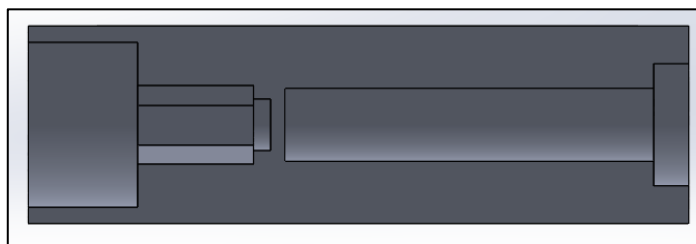


Abbildung 11: Altes Konzept Innenleben Walze

2.4 Gewichtsübersicht

Ein wichtiger Faktor, den es zu beachten galt, war das Gewicht. Der Zusatzanbau wurde nicht, wie zuerst angenommen, aus Aluminium gefertigt. Stattdessen wurde er aus PLA hergestellt, somit ist mit einem geringen Gewicht zu rechnen. Bei der Konstruktion des Roboters in SolidWorks wurde der zum Drucken genutzte Werkstoff eingetragen. So konnte, mithilfe des Programmes eingeschätzt werden, wie viel die jeweiligen Bauteile wiegen und ob das zulässige Gesamtgewicht eingehalten wird. Diejenigen Bauteile, die nicht gedruckt werden müssen (z.B. Räder, Platine), wurden bereits im Vorfeld gewogen. In der folgenden Tabelle wurden alle Bauteile des Ant-Bots inklusive ihres Gewichts aufgelistet.

Baugruppe	Element	Anzahl	Material	Gewicht (gr.)
Waffe	Walze	1	PLA	30,5
	Mutter M5	1	Stahl	1
	Mutter M8	1	Stahl	4
	Schraube M8	1	Stahl	12
	Wechselstrommotor	1		17
	Kugellager	1	Stahl	1
	Schraube M2	4	Stahl	1
Grundkörper	Grundkörper	1	PLA	91
	Deckel	1	PLA	15
Elektronik	Akku	1		36
	Platinen inkl. Kabel			10
Antrieb	Gleichstrommotor	2		20
	Polulu Rad	2		8
	Stützrad	1		9
	Schraube M4	4	Stahl	1,5
	Mutter M4	4		2
			Gesamtgewicht	259

Tabelle 1: Gewichtsübersicht auf Basis des Prototyps

Anhand der Tabelle ist zu erkennen, dass das zulässige Gesamtgewicht von 220 g überschritten wurde. Das liegt vor allem am hohen Gewicht des Chassis und der Walze. Mit insgesamt knapp 40 g Übergewicht musste vor allem das Gewicht des Chassis reduziert werden. Zudem gab es Einsparpotentiale bei der Schraube sowie der Mutter für die Walze.

Baugruppe	Element	Anzahl	Material	Gewicht (gr.)
Waffe	Walze	1	PLA	17
	Mutter M5	1	Stahl	1
	Mutter M4	1	Stahl	1
	Schraube M4	1	Stahl	2
	Wechselstrommotor	1		17
	Kugellager	1	Stahl	1
	Schraube M2	4	Stahl	1
Grundkörper	Grundkörper	1	PLA	60
	Deckel	1	PLA	15
Elektronik	Akku	1		36
	Platinen inkl. Kabel			11,5
Antrieb	Gleichstrommotor	2		20
	Polulu Rad	2		8
	Stützrad	1		9
	Schraube M4	4	Stahl	1,5
	Mutter M4	4		2
			Gesamtgewicht	203

Tabelle 2: Gewichtsübersicht nach Überarbeitung der Bauteile

Die obige Tabelle zeigt die Gewichtsübersicht nach der Überarbeitung der Bauteile. Wie im vorherigen Teil des Berichts bereits thematisiert wurde, wurden die M8-Mutter sowie die M8-Schraube durch eine M4-Mutter und eine M4-Schraube ersetzt.

Das neue Gewicht der Schraube beträgt 2 g, das der Mutter 1 g. Dadurch ergibt sich eine Gesamteinsparung von 13 g. Durch die partielle Reduzierung der Wanddicken des Chassis auf 1 mm konnte auch hier das Gewicht von 91 g auf 60 g verringert werden. Die letzte Gewichtsreduzierung wurde an der Walze vorgenommen. Diese wurde teilweise von innen ausgehöhlt, wie in Absatz 2.4.3 bereits erläutert. Mithilfe dieses Schrittes konnte das Gewicht der Walze von 30,5 g auf 17 g verringert werden. Somit ergibt sich ein neues Gesamtgewicht von 203 g, welches damit unter der Gewichtsgrenze liegt.

3 Endergebnis

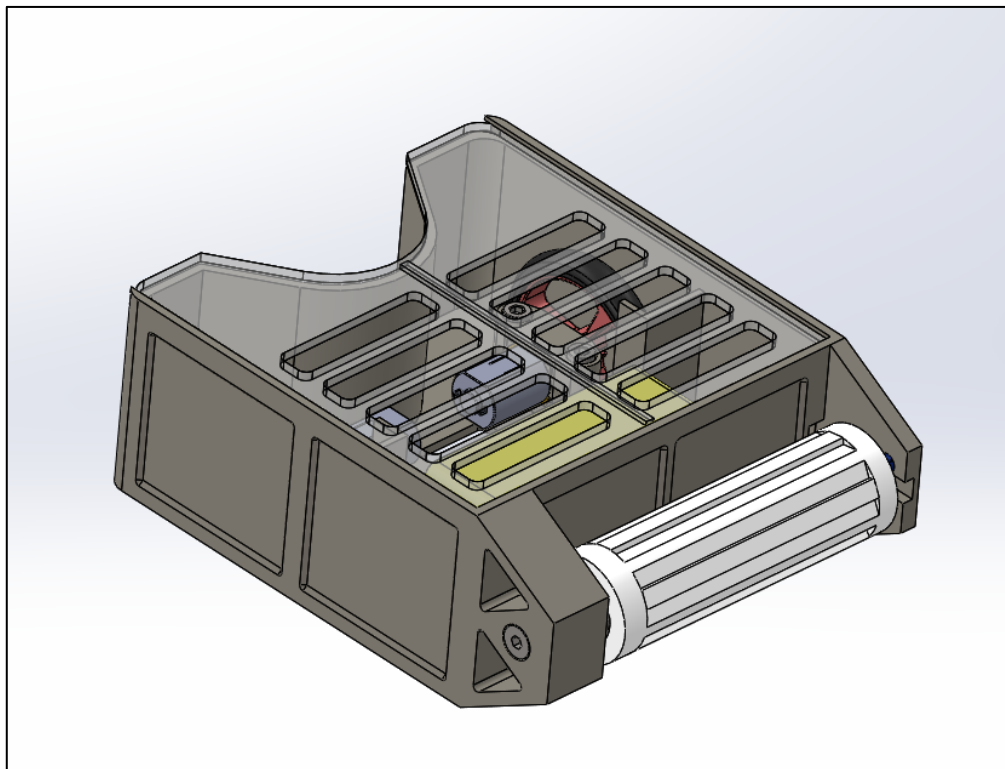


Abbildung 12: Finaler Roboter der Ant-Klasse

Wie sich aus Abb. 12 erkennen lässt, ist am hinteren Teil des Roboters die Walze angebracht, welche später durch den Joystick einer Fernbedienung zur Rotation gebracht werden kann. Es kann zudem die Geschwindigkeit und Drehzahl pro Minute, sowie die Dauer der Rotation selbst beeinflusst werden.

Ziel ist es, den gegnerischen Roboter mit Hilfe dessen auszuschalten oder ihm zumindest Schaden zuzufügen. Der vordere Teil des Roboters lässt eine V-Form erkennen, welche die Ballführung beim Wettkampf mit dem anderen Roboter darstellt. Durch diese wird es möglich sein, die Tischtennisbälle gezielt in die gewünschte Richtung zu transportieren. Der Deckel des Roboters, welcher in Abb. 12 zur Übersichtlichkeit transparent dargestellt ist, sitzt durch eine Nutführung fest am Chassis und kann problemlos entfernt werden. Dies ermöglicht es, den Roboter zu öffnen und den Akku zu wechseln, sollte dieser leer oder defekt sein.

Im Inneren des Roboters befinden sich zudem die restlichen Elektronikbauteile, bestehend aus: dem Empfänger, den Getriebemotoren für die Räder und dem Brushless Außenläufer der Walze sowie deren Regler, den Kondensatoren, dem Hauptregler und dem Akku. Weiter befinden sich hier die Räder, welche durch eine Halterung fixiert sind. Das Chassis in Abb. 13 bildet das Fundament des Roboters und wurde als ein Bauteil gedruckt. Es war also nicht nötig, mehrere Einzelteile zu drucken und diese durch Fertigungsverfahren der Kategorie Fügen, wie z.B. Kleben, zu verbinden. Lediglich die Halterung der Räder erforderte ein weiteres Bauteil, welches durch eine Schraubverbindung fixiert wurde.

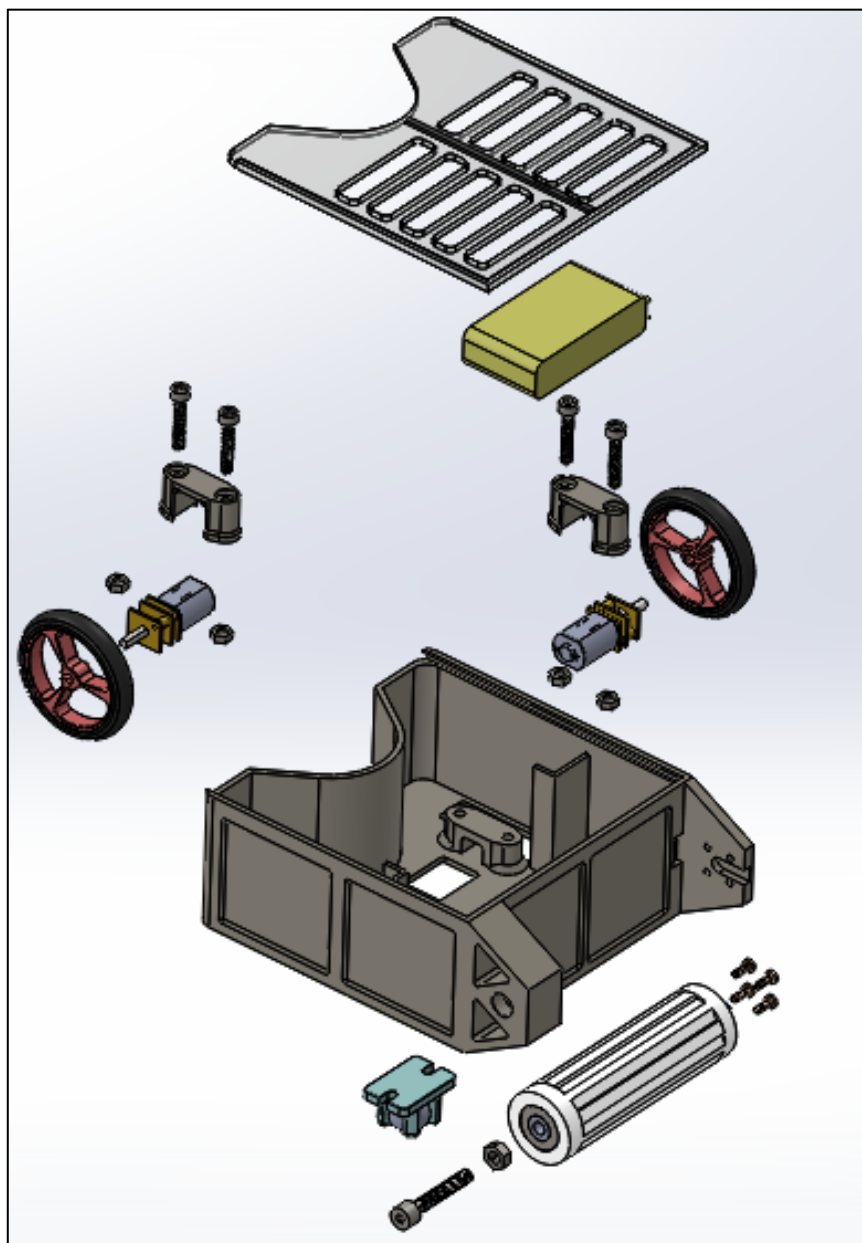


Abbildung 13: Explosionszeichnung Endergebnis

Bauteildefinition von unten nach oben:

1. Walze inkl. Kugellager und Motor	6. Antriebsmotoren Räder
2. Schrauben und Mutter	7. Polulu-Räder
3. Stützkugel (3. Rad)	8. Halterung zur Befestigung der Räder inkl. Schrauben
4. Chassis-Bauteil	9. Akku
5. Muttern zur Befestigung	10. Deckel

4 Elektrischer Schaltplan

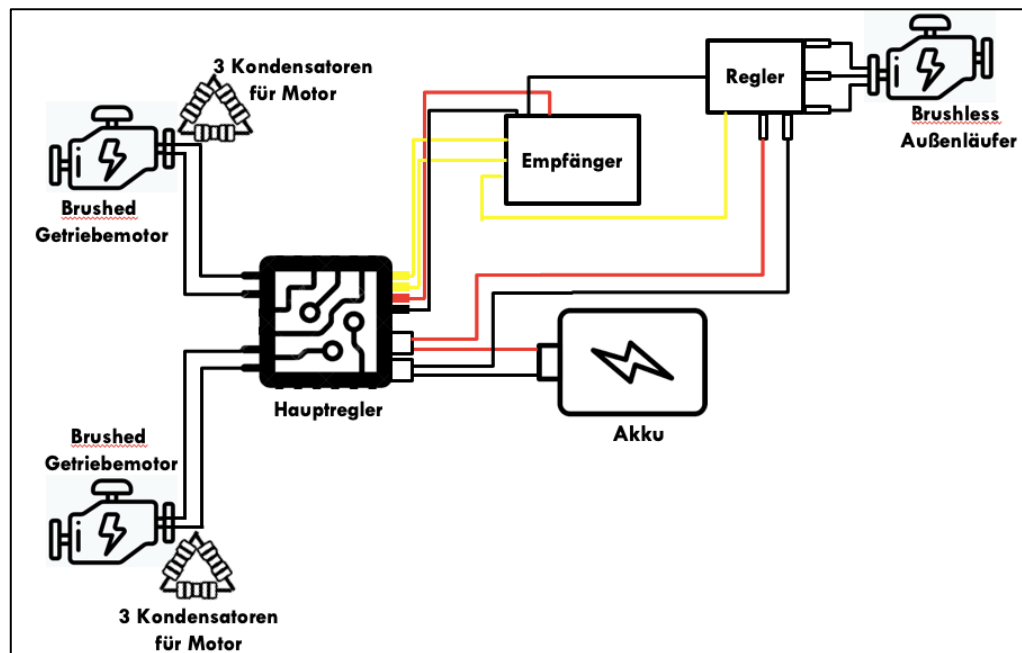


Abbildung 14: Elektronischer Schaltplan

In der oben gezeigten Abb. 14 ist der elektronische Schaltplan des Roboters zu sehen. An beide Getriebemotoren wurden jeweils drei Kondensatoren angeschlossen, welche hochfrequente Störsignale leiten, um damit elektromagnetische Störungen herabzusetzen. Beide wurden mit dem Hauptregler verbunden. Die beiden gelben Kabel, die vom Hauptregler in den Empfänger gehen sind für die Kanäle eins und zwei, welche für die Ansteuerung der beiden Getriebemotoren zuständig sind. Kanal drei dient der Ansteuerung des Außenläufermotors der Walze. Beim roten sowie dem schwarzen Kabel, das vom Hauptregler in den Empfänger geht, handelt es sich um stromführende Kabel. Das schwarze Kabel ist hierbei das (-)-Kabel und das Rote ist das (+)-Kabel. Selbiges gilt auch für die beiden Kabel die vom Hauptregler aus in den zweiten Regler gehen.

5 Testdrucke

Testdrucke waren nicht nur im Hinblick auf die Optimierung des Gewichtes wichtig, sondern auch für die als Waffe dienende Rolle sind sie unerlässlich. Dadurch, dass die Walze ein Kugellager, sowie einen Motor in sich verbaut hat, war es enorm wichtig, den Innendurchmesser, der als Passung dienenden Ausprägungen, exakt zu wählen. Schon geringe Abweichungen können dazu führen, dass die Bauteile entweder zu lose in der Rolle sitzen oder gar nicht hineinpassen. Zudem verfügt die Rolle ihrerseits über Ausprägungen, welche dafür sorgen sollen, die Kraft, welche bei der Rotation entsteht auf den gegnerischen Roboter zu übertragen und Schaden anzurichten. Auch hier war es wichtig, die Größe der Nupsis genau zu bestimmen, um größtmöglichen Schaden mit der Rolle verursachen zu können. Nachdem festgestellt wurde, dass die Innendurchmesser der Ausprägungen für Motor und Kugellager bei den ersten Drucken zu groß gewählt waren, wurden Anpassungen vorgenommen und der Durchmesser leicht verkleinert. Natürlich muss zudem darauf geachtet werden, dass das Zusammenführen der Bauteile unter gleichen Bedingungen geschieht, da eine unterschiedliche Raumtemperatur zu Ausdehnungen oder Verkleinerung bei den Bauteilen führen kann. Durch die Testdrucke wurde zudem klar, dass jeder Drucker individuell ist und Abweichungen bei den Maßen der gedruckten Bauteile auftauchen können. Der Testdruck und der finale Druck für ein bestimmtes Bauteil, sollten aus diesem Grund stets mit dem gleichen Drucker erfolgen.

6 Projektfazit

Das Konstruieren, Entwerfen, 3D-Drucken und letztlich das Zusammenbauen eines Roboters der Ant-Klasse stellte mit seiner Vielfältigkeit an Herausforderungen ein sowohl sehr anspruchsvolles, wie auch spannendes Projekt dar. Eine, und die wohl zugleich auch größte Herausforderung des Projektes war es, eine sinnvolle Projektplanung zu realisieren. Aufgrund der hohen Komplexität und des Projektumfanges war eine gute Koordination der Aufgaben, eine hohe Kommunikation innerhalb der Gruppe, sowie ein klarer Terminplan ausschlaggebend für den späteren Erfolg oder Misserfolg des Projektes.

Durch regelmäßige Treffen, eine klare Aufgabenverteilung innerhalb der Gruppe, sowie der Erarbeitung eines Terminplanes in Form eines Gant-Diagrammes, war es möglich eine hohe Teamdynamik zu entwickeln. Diese ermöglichte es letztendlich, selbst gesteckte Ziele und Meilensteine zum geplanten Zeitpunkt zu erreichen und unvorhergesehene Hürden, wie z.B. das Gewichtsproblem, zu überwinden. Die Erkenntnisse aus der engen Teamarbeit waren nicht nur für das Projekt selbst ein enormer Vorteil, sondern lassen sich ebenso auf die Arbeitswelt übertragen. Hierbei sind weniger projektspezifische Inhalte, wie das Konstruieren mit SolidWorks oder das Arbeiten mit dem 3D-Drucker gemeint, sondern vielmehr eine analytische und strukturierte Denkweise erforderlich. Diese stellen die Grundlage für ein erfolgreiches Projekt dar. Besonders exemplarisch ist hier der Projektbeginn zu erwähnen, bei welchem es vor allem darum ging, einen komplexen Sachverhalt zu analysieren und ein passendes Konzept zu entwickeln, welches eine optimale Lösung für die Aufgabenstellung darstellt. Wäre während dieser Phase nicht genau und sorgfältig gearbeitet worden, so wäre das gesamte Projekt durch diverse plötzlich auftretende Probleme gezeichnet gewesen, was zu späten Änderungen und einem deutlichen Mehraufwand geführt hätte. Eine weitere Herausforderung, welche bereits zu Beginn des Projektes auftrat, war es sich zunächst eine geeignete Waffe zu überlegen. Diese sollte sowohl mit den vorhandenen Ressourcen umsetzbar, jedoch zeitgleich auch einen tatsächlichen Nutzen mit sich bringen. Nach langem recherchieren im Internet, brainstormen und dem Abwägen der Möglichkeiten fiel die Entscheidung schließlich auf eine Walze, welche im Laufe des Berichtes bereits beschrieben wurde. Andere Möglichkeiten, wie ein Hebearm oder eine Umwerfvorrichtung wurden aufgrund der Komplexität und des Gewichtes nicht in Erwägung gezogen. Die nächste große Hürde des Projektes stellte die Gewichtsbeschränkung von 220 g dar, welche durch evaluieren und optimieren der Bauteile beim Konstruieren überwunden werden konnte. Mithilfe von Tutorials erfolgte eine problemlose und zügige Einarbeitung und erleichterte den Umgang mit der SolidWorks Software sowie dem 3D-Drucker.

Durch das Programm GitHub und das kontinuierliche Abstimmen darüber, wer für welches Bauteil zuständig ist, konnte zudem ein effizientes Arbeiten sichergestellt und etwaige Datenredundanzen vermieden werden.

Ferner lässt sich sagen, dass das Projekt durch seine vielfältigen Aufgaben und Facetten für jedes Gruppenmitglied neue Erkenntnisse mit sich gebracht hat. Darüber hinaus konnte ein klarer Mehrwert geschaffen werden. Dadurch, dass man während des Projektes die gesamte Produktentwicklung des Roboters durchlief, entstand ein einheitlicher Überblick des Fertigungsprozesses.

Anhang

Morphologischer Kasten:

Parameter	Ausprägungen			
Antrieb	Zwei Räder vorne breit, SR hinten	Zwei Räder vorne eng, SR hinten		
Größe	10x10x10 cm inkl. Anbauten	10x10x10 cm exkl. Anbauten		
Zusatzanbauten	Greifer	Umwerfvorrichtung	Drehendes Element	
Ballführung	Dreieck (V-Form)	Seitliche Führung	Runde Führung	Dreieck und Rund kombiniert
Gewicht	150 g	zw. 150 g – 220 g	220 g	
Form Chassis	Quadratisch	Dreieckig	Mehreckig	Rund
Verschlussart Rahmen	Schrauben	Stoffschlüssig	Steckverbindung	Formschlüssig
Zusatzanbauten Material	Plastik	Metall	Holz	
Schwerpunkt	Vorne	Hinten	Mittig	
Akkueinbau	Schnell wechselfähig			

Projektterminplan:

