



UNIVERSITÄT AUGSBURG

Fakultät für Angewandte Informatik

Praktikum für Produktionstechnik

Entwicklungsprozess eines lenkbaren Fahrzeuges TEGGLA

| | |
|-----------------------------|---|
| vorgelegt von: | Jonas Wilfert: 1541778 Niklas Paprotta: 1543350 Johannes Evertz: 1463672 Marcel Khodabakhsh: 1333430 |
| eingereicht am: | 30.07.2019 |
| Studiengang: | B.Sc. Ingenieurinformatik |
| Anfertigung am Lehrstuhl: | Produktionsinformatik |
| | Fakultät für Angewandte Informatik |
| Verantwortlicher Professor: | Prof. Dr. Ing. Johannes Schilp |
| Wissenschaftliche Betreuer: | M.Sc. Michael Aumüller M.Sc. Fabian Herzer M.Sc. Shuang Lu M.Sc. Paul Haase |

Kurzfassung

Dieser Bericht soll als Dokumentation des Entwicklungsprozesses und der technischen Komponenten des TEGGLA dienen. Hierbei handelt es sich um ein Fahrzeugs, welches durch die besonderen Mecanum-Räder mehr Freiheitsgrade hat als ein konventionelles Automobil. Dieses wurde im Rahmen des Praktikum für Produktionstechnik entwickelt und gebaut.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Einleitung & Motivation | 1 |
| 2 Anforderungen | 2 |
| 2.1 Anforderungsliste | 2 |
| 2.2 Lastenheft | 3 |
| 3 Planung | 6 |
| 3.1 Entwürfe | 6 |
| 3.1.1 Seggway | 6 |
| 3.1.2 Weggchair | 8 |
| 3.1.3 TEGGLA | 9 |
| 3.2 Morphologischer Kasten | 10 |
| 3.3 Online Bestellungen | 12 |
| 3.4 Verwendete Technologien | 13 |
| 3.4.1 Git | 13 |
| 3.4.2 Creo | 14 |
| 3.4.3 PlatformIO | 14 |
| 4 Entwicklung der Schlüsselemente | 16 |
| 4.1 Übersicht des gesamten Modells | 16 |
| 4.2 Schaltplan | 17 |
| 4.3 BMS und Laden | 18 |
| 4.4 Mecanum | 19 |
| 4.5 Planetengetriebe | 20 |
| 4.6 ESP-32 vs. ESP-8266 | 24 |
| 4.7 User-Interface | 25 |
| 4.7.1 Java (obsolete) | 25 |
| 4.7.2 HTML5 und Controller-Anbindung | 27 |
| 4.7.3 Protokoll | 29 |
| 4.8 Steuerung per (XBox) Controller | 29 |

| | | |
|------------------------------|---|------------|
| 4.9 | PLA vs. TPU | 30 |
| 4.10 | Eierhalter | 31 |
| 4.11 | Leichtbau | 31 |
| 5 | Zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten | 32 |
| 5.1 | Regler | 32 |
| 5.2 | Verbesserungen | 33 |
| 5.2.1 | Hardware | 33 |
| 5.2.2 | Software | 34 |
| 6 | Zusammenfassung | 35 |
| 6.1 | Fazit | 35 |
| 6.2 | Errungene Erfahrung | 36 |
| A | Quellcode | 38 |
| A.1 | ESP32 | 38 |
| A.2 | Webpage | 51 |
| A.3 | Java | 62 |
| B | Technische Zeichnungen | 88 |
| Literaturverzeichnis | | 103 |
| Listings | | 104 |
| Abbildungsverzeichnis | | 105 |
| Tabellenverzeichnis | | 107 |

1 Einleitung & Motivation

Im Rahmen des Praktikums für Produktionstechnik an der Universität Augsburg im Sommersemester 2019 wurden lenkbare Fahrzeuge entwickelt und durch die Verwendung von 3D Druckern realisiert. Die Aufgabe des Praktikums bestand darin, ein herkömmliches Ei mit Hilfe des selbst entwickelten Autos unbeschädigt durch einen vom Lehrstuhl definierten Parcours zu transportieren.

In diesem Bericht wird detailliert auf die Planung, Anforderungsermittlung, Systementwicklung und Systemvalidierung eingegangen.

Zusätzlich werden die Schlüsseltechnologien des TEGGLA beschrieben und weitere interessante Teilespekte wie mögliche Erweiterungs- und Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert. Des weiteren befinden sich im Anhang des Berichts noch alle relevanten technischen Daten, der gesamte Quellcode sowie alle technischen Zeichnungen der verschiedenen Baugruppen.

2 Anforderungen

Für den ersten Meilenstein, dessen Abgabe am 12.05.2019 war, musste eine Anforderungsliste und ein Lastenheft abgegeben werden. Eine Liste mit 18 Anforderungen wurde noch am gleichen Tag erstellt und im Laufe der nächsten Woche ausformuliert. Die Entscheidung, die Abgabefristen und Termine in das Lastenheft aufzunehmen, wurde getroffen, da diese elementar für das Bestehen des Projektes sind, auch wenn sie schlussendlich nicht relevant für das Fahrzeug sind.

2.1 Anforderungsliste

| w4 > w3 > w2 > w1 | | Anforderungsliste | Erstellt am 7.5. | |
|-------------------|-----|---|------------------|----------------|
| Lfd. | F/W | Anforderung | Änderung | Verantwortlich |
| 1 | F | Fahren | | Marcel |
| 2 | F | Lenken können | | Jonas |
| 3 | F | Mindestdistanz 4 Meter | | Johannes |
| 4 | F | Ei transportieren können | | Niklas |
| 5 | F | Vorpräsentation: 28.5. | | Marcel |
| 6 | F | Finales Konzept und CAD Modell: 12.6. | | Jonas |
| 7 | F | Abgabetermin: 23.7. | | Johannes |
| 8 | F | Abgabe Bericht: 30.7. | | Niklas |
| 9 | W4 | Ei unbeschädigt transportieren | | Marcel |
| 10 | W3 | Leichtbauweise | | Jonas |
| 11 | W3 | Ressourceneffizienz | | Johannes |
| 12 | W3 | Kosteneffizienz | | Niklas |
| 13 | W3 | innovatives Design | | Marcel |
| 14 | W2 | Wartbarkeit | | Jonas |
| 15 | W2 | externe Steuerung oder autonomes Fahren | | Johannes |
| 16 | W1 | schnelles Fahren | | Niklas |
| 17 | W1 | fahren durch unwegsames Gelände | | Marcel |
| 19 | W1 | Modularisierung/Erweiterbarkeit | | Johannes |

Tabelle 2.1: Anforderungsliste

2.2 Lastenheft

Fahren (F)

Das finale Fahrzeug muss in der Lage sein, von Startpunkt 1 zu einem definierten Endpunkt 2 fahren zu können. Die Art und Weise der Fortbewegung steht dabei nicht im Mittelpunkt, lediglich die fehlerfreie Funktionalität muss gegeben sein.

Lenken können (F)

Da Fahren allein nicht ausreicht, um die S-förmige Strecke zu absolvieren, muss das Fahrzeug ebenfalls lenkbar sein. Hierfür ist es nötig mit ausreichender Genauigkeit lenken zu können, um nicht den Bereich der Strecke zu verlassen.

Mindestdistanz 4 Meter (F)

Das Fahrzeug muss in der Lage sein, beladen mit einem Ei, eine Distanz von mindestens 4 Metern zu überwinden, damit das Ei es auch bis zum Zielpunkt schafft und nicht auf halber Strecke stehen bleibt.

Ei transportieren können (F)

Es wird gefordert, dass das finale Fahrzeug in der Lage ist, ein Ei über eine gewisse Distanz transportieren zu können.

Ei unbeschädigt transportieren (W4)

Bei dieser Anforderung handelt es sich um eine optionale Anforderung, welche jedoch eine hohe Priorität erhalten hat (W4). Das Ei sollte also am Ende des Projekts unbeschädigt von Startpunkt 1 zu Endpunkt 2 transportiert werden können, um diese Anforderung zu erfüllen.

Kosteneffizienz (W3)

Da das Budget dieses Projektes begrenzt ist, ist darauf zu achten, dass das Fahrzeug sehr kosteneffizient konstruiert und produziert wird.

Ressourceneffizienz (W3)

Aufgrund der Vermeidung zusätzlicher Kosten, der limitierten Baumaterialien und der Vermeidung eines größeren Zeitaufwandes soll das Projekt möglichst ressourceneffizient geplant und umgesetzt werden. Bei dieser Anforderung handelt es sich um eine optionale Anforderung, welche jedoch eine hohe Priorität erhalten hat (W3).

Leichtbauweise (W3)

Diese Anforderung ist ebenfalls optional mit recht hoher Wichtigkeit (W3). Bei der Entwicklung und Konzipierung des Fahrzeugs sollte auf ein möglichst geringes Gewicht geachtet werden.

Innovatives Design (W3)

Bei dieser Anforderung handelt es sich um eine optionale Anforderung, welche eine relativ hohe Priorität erhalten hat (W3). Zusätzlich zur grundlegenden Funktionalität des Fahrzeugs wird auch noch Wert auf das optische Design des Fahrzeugs gelegt sowie die Art und Weise der Fortbewegung bewertet. Hierbei werden insbesondere kreative und einzigartige Denkansätze wertgeschätzt.

Externe Steuerung oder autonomes Fahren (W2)

Um das Fahrzeug sicher durch den Parcours zu navigieren, benötigt es entweder eine externe Steuerung (z.B. Fernbedienung + IR Empfänger, Pfeiltasten der Tastatur + WLAN-Verbindung etc.) oder es muss in der Lage sein, völlig autonom (durch Sensorik und „künstliche Intelligenz“) den Parcours zu meistern.

Wartbarkeit (W2)

Bei dieser Anforderung handelt es sich um eine optionale Anforderung, welche jedoch eine relativ niedrige Priorität erhalten hat (W2). Durch Achtung auf Wartbarkeit und Reparaturfreundlichkeit des Fahrzeugs kann besser auf unvorhergesehene Fehlfunktionen reagiert werden.

Modularisierung/Erweiterbarkeit (W1)

Für die Aspekte „Kosteneffizienz“, „Ressourceneffizienz“ und „Wartbarkeit“ spielt die modulare Entwicklung und Konstruktion eine große Rolle. Durch die Modularisierung

kann das Fahrzeug leichter überarbeitet, erweitert und gewartet werden. Des Weiteren ist eine zukünftige Erweiterung des Projekts dadurch leichter umsetzbar. Bei dieser Anforderung handelt es sich um eine optionale Anforderung, welche eine niedrige Priorität erhalten hat (W1).

Schnelles Fahren (W1)

Da in der Logistikbranche Zeitdruck ein wesentlicher Faktor ist, besteht der Wunsch, dass das Fahrzeug die zurückzulegende Strecke in möglichst kurzer Zeit bewältigt und sich deshalb mit hohem Tempo fortbewegt.

Fahren durch unwegsames Gelände (W1)

Das finale Fahrzeug kann sich im Optimalfall nach dem Abschluss des Projekts auch auf unwegsamen Geländen effizient und zielsicher fortbewegen. Diese Anforderung ist nicht explizit durch den Auftraggeber vorgegeben, würde jedoch einen Mehrwert des Produkts erzielen. Daher handelt es sich um eine optionale Anforderung, welche eine niedrige Priorität erhalten hat (W1).

3 Planung

Nachdem das Lastenheft abgegeben wurde war der nächste Meilenstein der Abschluss der Konzeptphase, zu dem eine kurze Präsentation über Gesamt- und Teilfunktionen, Lösungsprinzipien und Morphologischer Kasten gehalten werden sollte. Außerdem sollte die Präsentation pro Gruppenmitglied ein vorläufiges Konzept mit Freihandskizze enthalten.

3.1 Entwürfe

Da die Entscheidung für das finale Konzept sehr früh gefallen ist, wurde sich darauf geeinigt, dass zwei Gruppenmitglieder dieses Konzept bearbeiten, und dabei viel tiefer ins Detail gehen. Die übrigen zwei Gruppenmitglieder haben jeweils eine eigene Idee behandelt, blieben dabei aber deutlich oberflächlicher.

Insgesamt sind dabei die drei im Folgenden vorgestellte Konzepte entwickelt worden.

3.1.1 Seggway

Das Konzept des (S)Eggways (Abb. 3.1) ist, wie der Name schon verrät, inspiriert durch die immer populärer werdende Fortbewegungsart des Segways. Dieses Konzept würde viele Vorteile mit sich bringen: Das Gesamtgewicht des Seggways ist relativ gering, da es keine massiven Bauteile gibt und technische Bauteile wie das Breadboard gleichzeitig mehrere Zwecke erfüllen (Stabilisierung und Verbindung).

Zusätzlich könnte der Seggway einen sicheren Ei-Transport durch eine passende Regelung sicherstellen, da diese ermöglicht, dass auch bei starken Steigungen und unebenen Strecken immer das Gleichgewicht beibehalten beziehungsweise wiederhergestellt werden kann. Das gelingt durch das Prinzip des inversen Pendels.

Die Steuerung des Fahrzeugs erfolgt über das eingezeichnete Bluetooth-Modul, welches die erhaltenen Daten an den Arduino weitergibt. Der Arduino verarbeitet die Daten und steuert anschließend (falls nötig) die zwei Stepper-Motoren an.

Die Stepper-Motoren sind für diese Anwendung ideal geeignet und können auch direkt ohne Getriebe mit den zwei Reifen verbunden werden. Das Gyroskop dient dem Messen von Geschwindigkeit, Beschleunigung und aktuellem Winkel.

Der Eierhalter ist genau so konzipiert wie in dem realisierten TEGGLA Modell, nämlich werden mehrere einzelne Segmente verbunden um möglichst wenig Gewicht mit möglichst viel Stabilität zu verbinden.

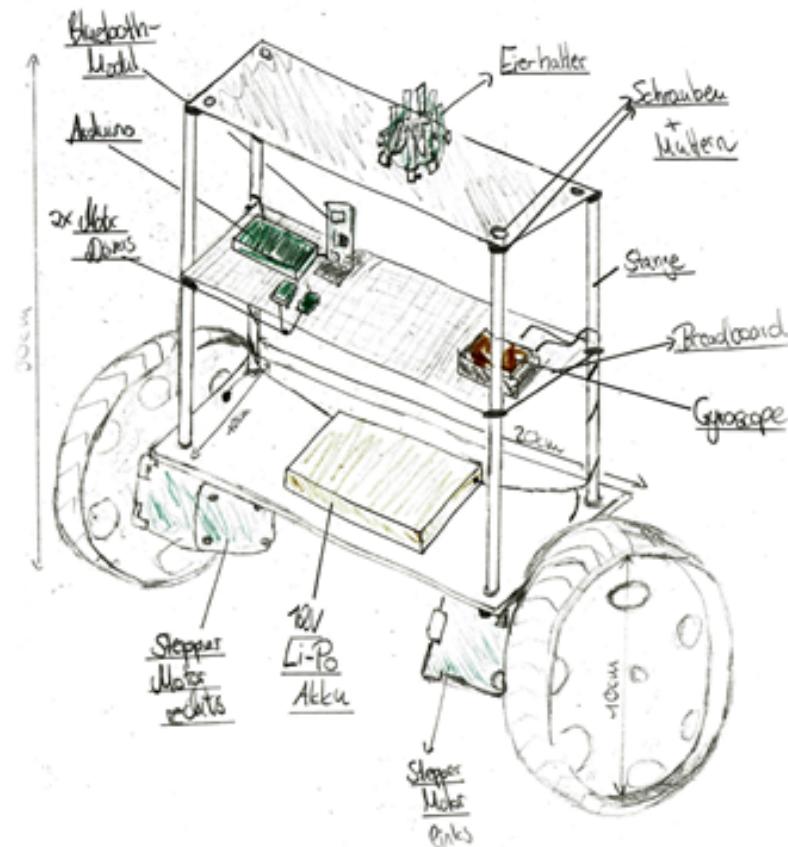


Abbildung 3.1: Skizze Seggway

Siehe Tabelle 3.1 für eine genaue Aufzählung der benötigten Komponenten. Alle restlichen Bauteile wie die Stangen, Ebenen und Reifen könnten problemlos via 3D-Druck mit PLA hergestellt werden.

| Bezeichnung | Anzahl |
|-------------------|--------|
| Bluetooth-Modul | 1 |
| Arduino | 1 |
| Motor Driver | 2 |
| Stepper Motor | 2 |
| 12V Li-Po Akku | 1 |
| Gyroscope | 1 |
| Breadboard | 1 |
| Schraube + Mutter | 8 |

Tabelle 3.1: Stückliste Seggway

3.1.2 Weggchair

Beim Weggchair ist die Namensgebung leider ein wenig misslungen. Der Rest vom Konzept wäre mit den vom Lehrstuhl bereitgestellten Materialien recht leicht zu realisieren gewesen. Deswegen wäre es der Plan B gewesen, falls das präferierte Konzept nicht realisiert werden kann.

Das Konzept orientiert sich, wie der Name andeuten soll, recht nahe an einem Rollstuhl. Die gesamte Elektronik befindet sich in einer Zwischenebene unter der "Sitzfläche". Gelenkt wird der Weggchair indem sich beide Motoren verschieden schnell drehen. Wie in der Skizze (Abb. 3.2) zu sehen ist, ist das "Stützrad" eher eine "Stützkugel", die in alle Richtungen über den Boden gleiten kann. Statt einer Kugel wären auch eine oder zwei drehbar gelagerte Rollen denkbar gewesen, ähnlich wie bei einem Einkaufswagen oder natürlich dem originalen Rollstuhl.

Da die verwendeten DC-Motoren unter Volllast über 7000 Umdrehungen schaffen, dafür aber weniger Drehmoment haben, wäre – wie in der finalen Idee – ein Planetengetriebe innerhalb der großen Räder zum Einsatz gekommen.

Das Ei wäre beim Weggchair an der Stelle befestigt, wo normalerweise der Rollstuhlfahrer sitzt. Dafür wäre eine Federung und Halterung an dieser Stelle gewesen. Vermutlich wäre ein mit Watte oder einem ähnlichen elastischen, polsternden Material ausgestatteter Eierbecher zum Einsatz gekommen.

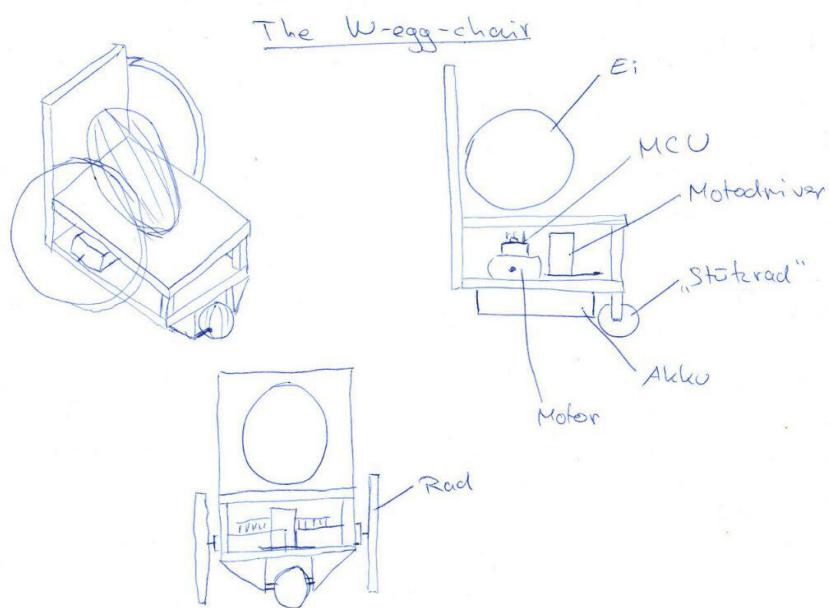


Abbildung 3.2: Skizze Weggchair

3.1.3 TEGGLA

Da sich die nächsten drei Kapitel nur mit dem finalen Konzept auseinandersetzen, wird an dieser Stelle nur ganz kurz auf das Konzept des TEGGLA (Abb. 3.3) eingegangen, damit die nachfolgenden Kapitel nachvollziehbar sind.

Das besondere Feature beim TEGGLA sind die omnidirektionalen Räder, auch als Me- canum bezeichnet, die neben dem normalen Vorwärtsfahren auch Seitwärtsbewegungen und Rotation zulassen. Diese drei Freiheitsgrade lassen sich auch beliebig kombinieren. Dadurch ist in der Ebene jede denkbare Richtung befahrbar. Dazu sind allerdings vier Motoren notwendig.

Daher wächst die Elektronikteileliste wie folgt: Für die zwei Extramotoren wird eine zusätzliche H-Brücke benötigt. Leider hat das bereitgestellte ESP-8266 nicht genug Pins für die zusätzliche Elektronik, weswegen zum ESP-32 upgegraded werden musste. Es folgen noch viel mehr Details, aber um die folgenden Kapitel zu verstehen, muss noch gesagt werden, dass der TEGGLA in der Entwicklungsphase noch Omni-Move hieß. Beide Namen sind im Folgenden also synonym.

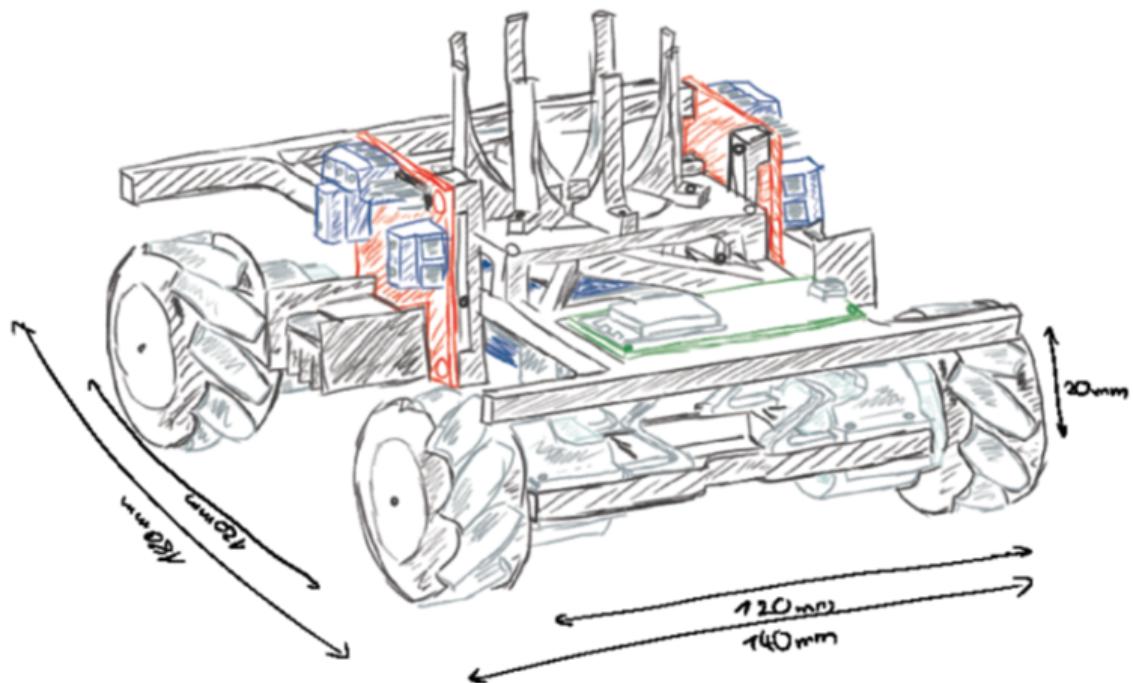


Abbildung 3.3: Skizze TEGGLA

3.2 Morphologischer Kasten

Mithilfe des Morphologischen Kastens (Abb. 3.4) lassen sich die benötigten Komponenten auf eine einfach ersichtliche Weise vergleichen.

| | OmniMove | (S)eg(g)way | W-egg-chair |
|---------------|------------|-----------------------------|---------------|
| | Variante A | Variante B | Variante C |
| Antrieb | Servo | DC-Motor | Step-Motor |
| Lenkung | Lenkachse | Einzelne gesteuerte Motoren | |
| Räder | Mecanum | Rad | Kette |
| Getriebe | Keins | Planetengetriebe | Gearbox |
| Controller | ESP32 | ESP8266 | Arduino |
| Akku | LiPo 2S | Battery | LiPo 3S |
| Ladetechnik | Keiner | BMS + 9V Netzteil | BMS + 5V USB |
| Steuerung | Laptop | Spiele-Controller | Handy |
| Federung | Keine | 3D-Druck | Feder-Dämpfer |
| Lage-Sensorik | Keine | Gyroskop | Pendel |
| Material | PLA | PLA+TPU | Holz |
| Verbindung | Schrauben | Pins | ABS |

Abbildung 3.4: Morphologischer Kasten

Um sich aufrecht zu halten benötigt der Seggway Stepper-Motoren statt der DC-Motoren, da diese genauer kontrolliert werden können. Dadurch könnte das Getriebe gespart werden. Allerdings braucht der Seggway auf jeden Fall ein Gyroskop (und eine gute Regelung) um aufrecht stehen zu bleiben und zu fahren.

Bei der Steuerung setzen alle Konzepte auf einen Spiele-Controller, da es keine leichtere und intuitivere Steuerung gibt.

Der Weggchair würde, wie oben angemerkt, mit den vom Lehrstuhl bereitgestellten Materialien auskommen. Für die Übersetzung wäre ein Planetengetriebe im Rad zuständig.

Der TEGGLA braucht ein ESP-32, da das ESP-8266 zu wenig Anschlüsse hat. Das Highlight, die Räder, sind bei diesem Konzept die Mecanum-Wheels. Als Energiespeicher kommt ein zweizelliger LiPo in Kombination mit einem BMS (Battery Management System) zum Einsatz. Hier ist der Einsatz des Spiele Controllers besonders wichtig, da damit alle drei Achsen (X-Achse, Y-Achse und Rotation) analog gesteuert werden können. Für die Sicherheit des Eies sorgt eine Federung aus TPU. Zum TEGGLA werden alle Teile und Entscheidungen in diesem Bericht noch näher beleuchtet.

3.3 Online Bestellungen

Um das Fahrzeug nach dem Praktikum behalten zu können, war eine Voraussetzung, dass nur Teile verbaut werden, die nicht Eigentum des Lehrstuhls sind. Aus diesem Grund wurden die nötigen Bauteile bei unterschiedlichen Onlineshops herausgesucht und bestellt. Hierbei fiel die Entscheidung auf Pollin, einem deutschen Elektronik-Händler und AliExpress, einem chinesischen Großhändler. In der ursprünglichen Planung wurden die Kosten pro Fahrzeug auf circa 20 € – 25 € überschlagen. In der finalen Bestellung beliefen sich die Kosten auf insgesamt etwa 32 €.

Da die Bauteile in Sammelbestellungen für insgesamt 4 Fahrzeuge getätigt wurden, verteilten sich die Versandkosten auf die Fahrzeuge, wodurch sich der Preis nach unten hin anpasste.

Siehe Tabelle 3.2 für eine genaue Aufteilung der Kosten.

| Artikel | Stk | €/Stk | € | Laden |
|---------------------------|------|-------|---------|------------|
| Netzteil 9V 1A | 1 | 0,95 | 0,95 | Pollin |
| DC Motor | 4 | 0,95 | 3,80 | Pollin |
| 2S LiPo | 1 | 9,95 | 9,95 | Pollin |
| XT60 5er Satz | 0,5 | 1,8 | 0,90 | AliExpress |
| ESP32 | 1 | 3,77 | 3,77 | AliExpress |
| 2s BMS | 1 | 0,89 | 0,89 | AliExpress |
| Kabelset 20cm | 0,5 | 3,30 | 1,65 | AliExpress |
| Kabelset F – F 10cm | 0,5 | 0,68 | 0,34 | AliExpress |
| Gyroskop | 1 | 0,93 | 0,93 | AliExpress |
| H-Brücken | 2 | 1,17 | 2,34 | Bestand |
| Filament [kg] | 0,05 | 20,00 | 1,00 | Bestand |
| Schrauben + Muttern [Set] | 1 | 1,00 | 1,00 | Bestand |
| Motorkabel | 1 | 0,50 | 0,50 | Bestand |
| Versandkosten AliExpress | 0,25 | 9,00 | 2,25 | |
| Versandkosten Pollin | 0,25 | 5,00 | 1,25 | |
| | | Total | 31,52 € | |

Tabelle 3.2: Kostenübersicht

3.4 Verwendete Technologien

Damit alle Teammitglieder an dem Projekt arbeiten können, musste sich vor dem Beginn auf die Software geeinigt werden, die verwendet wird. Diese Entscheidungsfindung wird in diesem Kapitel genauer betrachtet.

3.4.1 Git

Zu Beginn des Projekts war bereits klar, dass eine Datenversionskontrolle für alle Projektdateien benötigt wird. Durch verschiedene Vorerfahrungen fiel die Entscheidung sehr leicht. Git löst genau diese Aufgaben perfekt. Das Projekt wurde in einem privaten Repository auf Github gehostet. Die Wahl der graphischen Oberfläche für Git war jedem Gruppenmitglied selbst überlassen. Vereinzelt wurde hier auf "Git Extensions" oder meist eher "GitKraken" (Abb. 3.5) gesetzt, aufgrund der übersichtlichen graphischen Oberfläche.



Abbildung 3.5: Graphische Oberfläche für Git (GitKraken)

3.4.2 Creo

Bei der CAD-Software standen mehrere unterschiedliche Programme unterschiedlicher Hersteller zur Auswahl. Diese waren "Catia" von Dassault Systemes, "Sketchup" von Trimble Inc., "Creo Parametrics" von PTC Inc., "Blender" von Blender Foundation, "OpenSCAD" (Opensource Programm) und "FreeCAD" (ebenfalls Opensource). Nach längerem Abwägen fiel die Entscheidung auf das Programm Creo Parametrics (Abb. 3.5), da dieses vergleichbar einfach zu bedienen ist, aber trotzdem einen sehr großen Funktionsumfang bieten kann. Des Weiteren bietet Creo eine gute 3D-Maus Unterstützung, was das Modellieren deutlich vereinfacht. Trotz des großen Funktionsumfangs reichten die Möglichkeiten, die Creo bietet, nicht immer aus, weshalb in Einzelfällen auf andere CAD-Programme zurückgegriffen wurde. Diese werden allerdings an den betroffenen Stellen extra erwähnt.

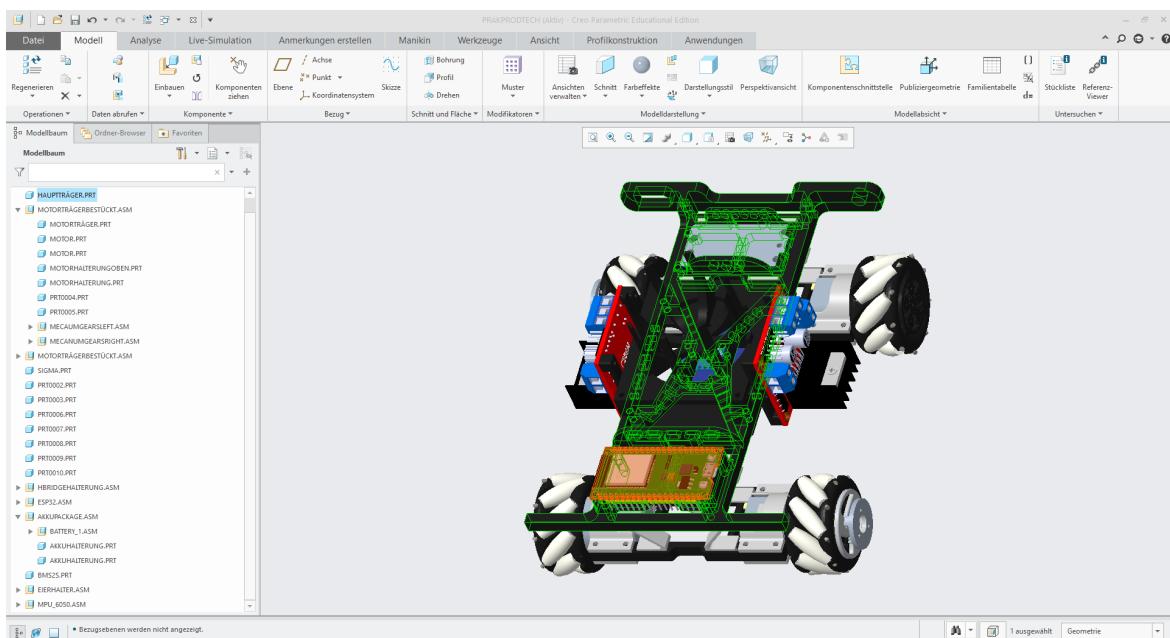


Abbildung 3.6: CAD Programm “Creo Parametrics”

3.4.3 PlatformIO

Die Wahl der Entwicklungsumgebung fiel auf Visual Studio Code mit PlatformIO, anstelle der in der Vorlesung vorgestellten Arduino IDE.

Mit der umfangreichen Erweiterbarkeit von VSCode ist hier die Programmierung einfacher und fehlerfreier durchzuführen, da in Arduino IDE nur bedingtes Syntax-checking vorhanden ist.

Durch PlatformIO stellt sich das Einbinden von externen Bibliotheken ebenfalls als Leichtigkeit heraus. Des Weiteren ist hier die Unterstützung von einer Vielzahl von MicroControllern bereits integriert.

4 Entwicklung der Schlüsselemente

4.1 Übersicht des gesamten Modells

Wie in Abbildung 4.1 zu erkennen, besteht das Fahrzeug aus vielen Einzelteilen. Auf die wichtigsten Komponenten, die in der Stückliste (Tabelle 4.1) genannt werden, wird in den folgenden Kapiteln genauer eingegangen.

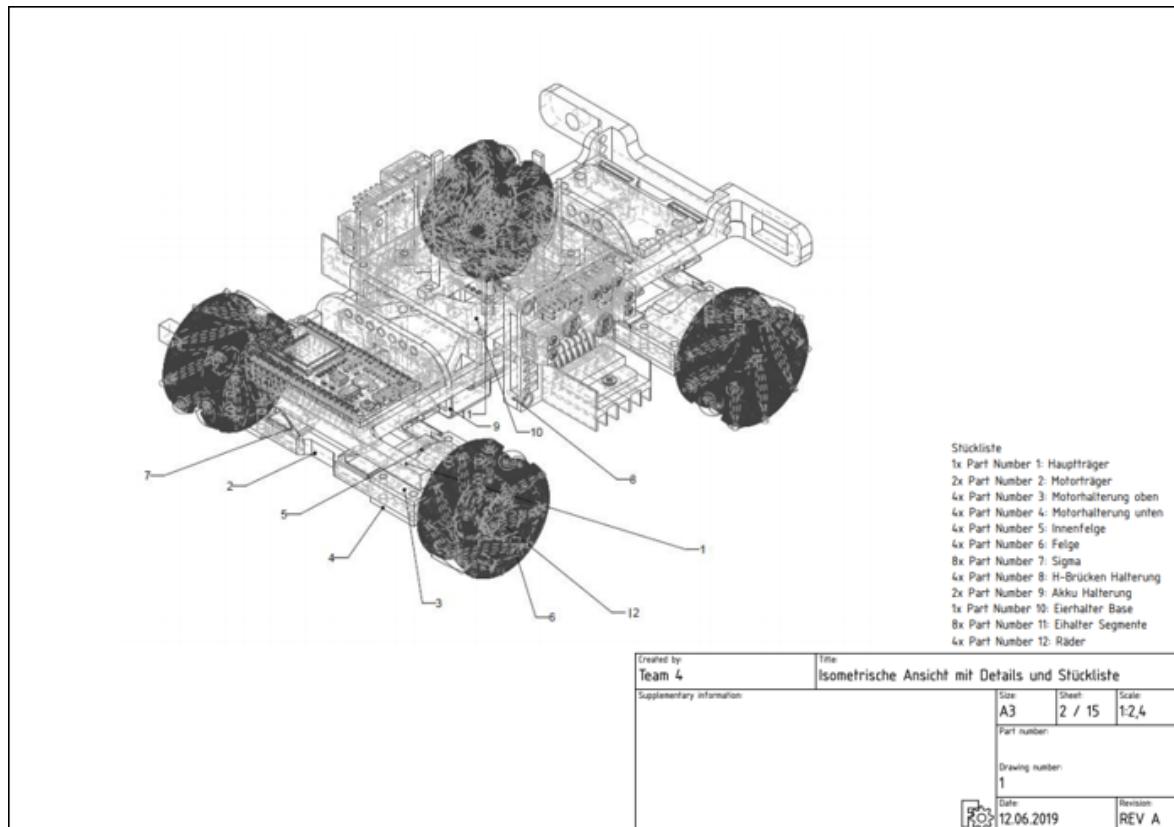


Abbildung 4.1: Übersicht der TEGGLA-Komponenten

| Bezeichnung | Anzahl |
|----------------------|--------|
| Hauptträger | 1 |
| Motorträger | 2 |
| Motorhalterung oben | 4 |
| Motorhalterung unten | 4 |
| Innenfelge und Felge | 4 |
| Sigma | 8 |
| H-Brücken Halterung | 4 |
| Akku Halterung | 2 |
| Eihalterung Base | 1 |
| Eihalter Segmente | 8 |
| Mecanum-Räder | 4 |

Tabelle 4.1: Stückliste der TEGGLA-Komponenten

4.2 Schaltplan

Der Schaltplan (Abb 4.2) zeigt eine grobe Skizze der Verkabelung des TEGGLA Fahrzeuges. Der 2S Lipo Akku wird hierbei durch die beiden Einzellenakkus dargestellt. Der Hauptschalter, ein Dreipositionenschalter, dient zum Ein- und Ausschalten, sowie um das Fahrzeug in den Lademode zu versetzen. Die linke der beiden H-Brücken dient neben der Motoransteuerung auch zur Spannungsregulierung für das ESP.

Das ESP32 ist die zentrale Steuereinheit und steuert mit je sechs digitalen Pins die H-Brücken an und kann so die Motordrehrichtung sowie die Geschwindigkeit der Motoren steuern. Das ESP32 kommuniziert auch via dem I2C Bus mit dem Gyroskop und versorgt dieses mit der 3.3V Spannungsversorgung.

Die Widerstände am Ausgang des BMS, auf welches im folgenden Abschnitt eingegangen wird, bilden einen 3:1 Spannungsteiler. Dieser wird benötigt, da das ESP32 einen maximalen Spannungseingang von 3.3V verträgt, am BMS jedoch bis zu 9V anliegen können. Durch diesen Spannungsteiler ist es über den Analog-Digital-Wandler in dem ESP32 möglich, den Akkustand in 4095 Schritten auszulesen. Hierdurch wird dem User ein Feedback gegeben, wie lange die Akkuladung noch ausreicht.

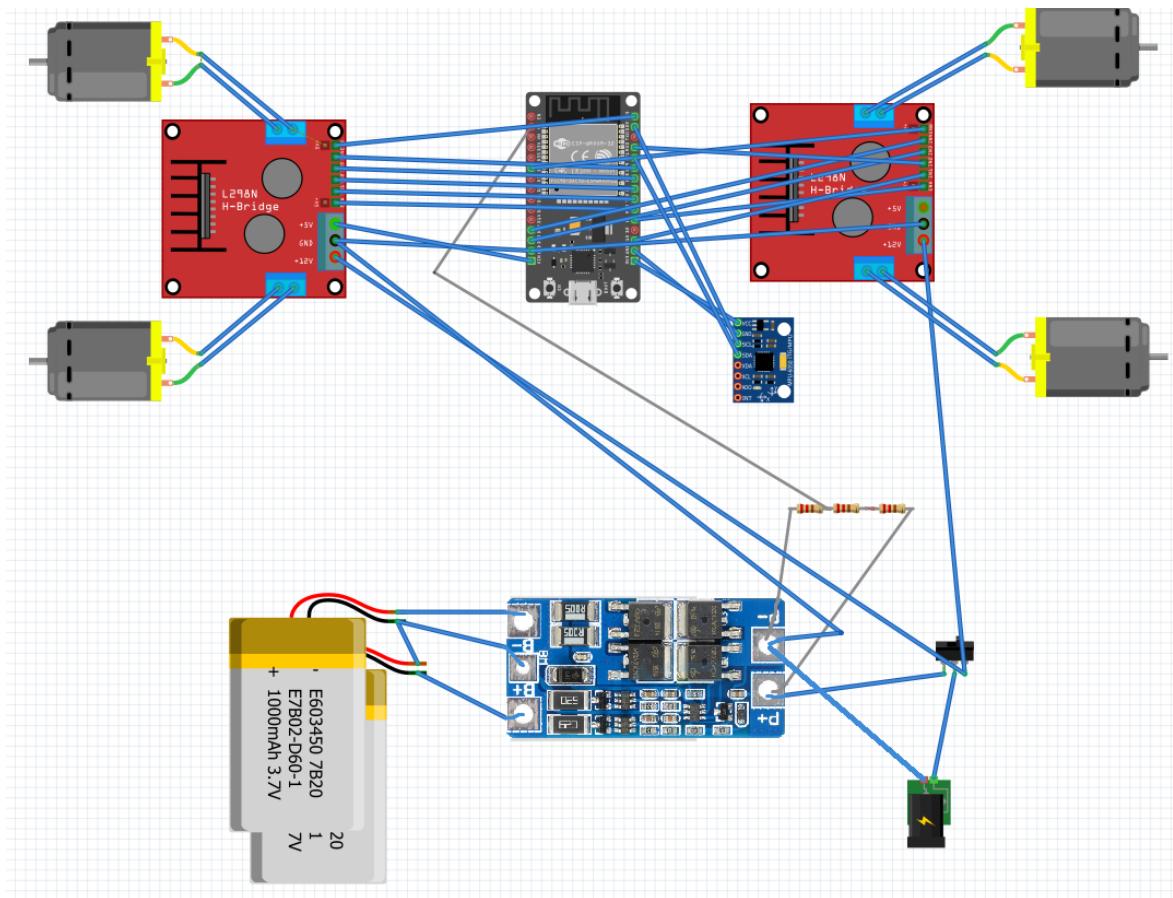


Abbildung 4.2: Schaltplan (gezeichnet mit Fritzing)

4.3 BMS und Laden

Um einem Akkuschaden vorzubeugen, sollte ein User doch einmal übersehen, dass der Akku des Fahrzeugs leer ist, wurde ein BMS (Battery Management System) verbaut. Dieses verhindert durch rechtzeitiges Abschalten ein Über- und Tiefenentladen des Akkus. Um das Fahrzeug wieder aufladen zu können, wurde ein externes Netzteil gekauft, welches über einen XT60 Stecker an das Fahrzeug angeschlossen werden kann. Sobald der Hauptschalter in die Ladeposition gebracht wird, beginnt das Fahrzeug nun den internen Akku zu laden, bis das BMS bei geladenem Akku den Ladevorgang vollautomatisch beendet.

4.4 Mecanum

Als besonderes Merkmal des TEGGLA fallen sofort die besonderen Räder auf, die sogenannten Mecanum-Räder. Hierbei handelt es sich um von Bengt Ilon 1972 erfundene Räder, die es dem Fahrzeug erlauben sich in drei Freiheitsgraden zu bewegen. Dies wird ermöglicht durch die um 45° gedrehten Rollen auf den Rädern, sodass diese wie ein X aussehen. Durch unterschiedliche Drehrichtung und Drehgeschwindigkeit der Motoren kann das Fahrzeug in jegliche Richtungen innerhalb der Ebene bewegt werden. (vgl. Abb 4.3)

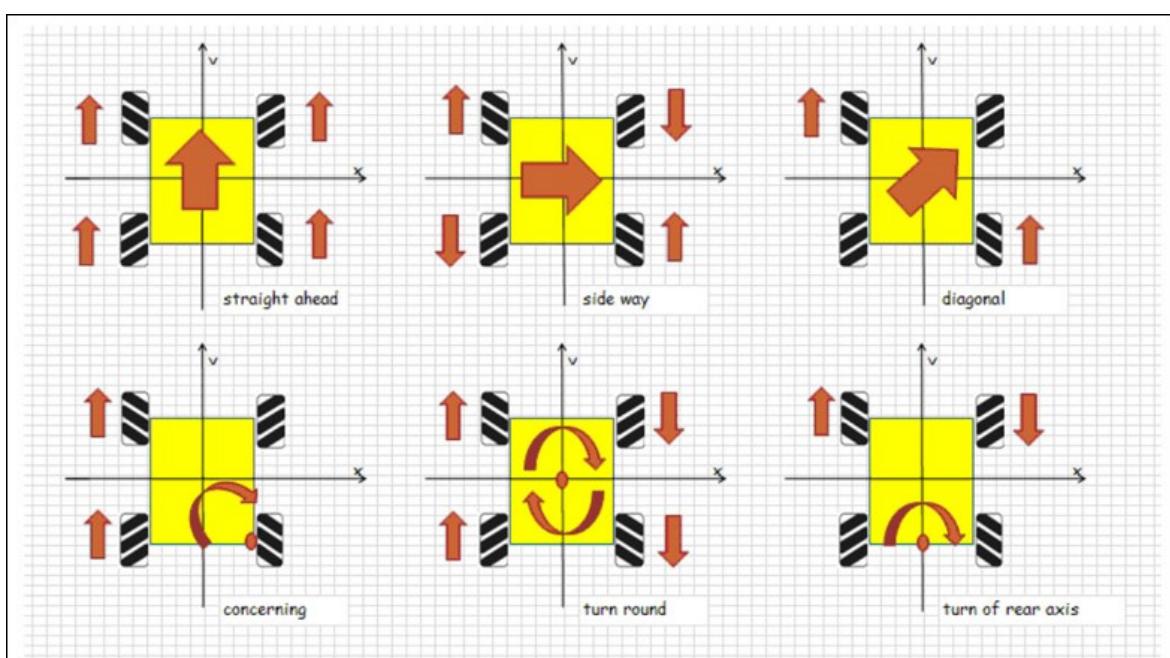


Abbildung 4.3: Freiheitsgrade von Mecanum [5]

Die jeweiligen Motorgeschwindigkeiten lassen sich hierbei durch Formeln 4.1–4.4 berechnen.

V_x = Motorgeschwindigkeit des x-ten Rads im Uhrzeigersinn (beginnend vorderes linkes Rad)

V_d = gewünschte Roboter Geschwindigkeit $[-1, 1]$

θ_d = gewünschter Winkel $[0, 2\pi]$

V_θ = gewünschte Rotationsgeschwindigkeit $[-1, 1]$

$$V_1 = V_d \sin \left(\theta_d + \frac{\pi}{4} \right) + V_\theta \quad (4.1)$$

$$V_2 = V_d \cos \left(\theta_d + \frac{\pi}{4} \right) - V_\theta \quad (4.2)$$

$$V_3 = V_d \cos \left(\theta_d + \frac{\pi}{4} \right) + V_\theta \quad (4.3)$$

$$V_4 = V_d \sin \left(\theta_d + \frac{\pi}{4} \right) - V_\theta \quad (4.4)$$

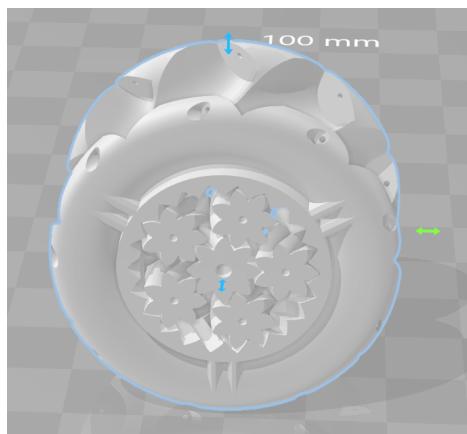
Abbildung 4.4: Formeln für die individuellen Motoren [5]

Bei den in diesem Praktikum verwendeten Rädern handelt es sich um eine Modifizierung der STL Dateien von Jonah Innoart von dem Internetportal Thingiverse [4]. In das Zentrum des Rades wurde mithilfe einer Boolean Operation von Blender3D eine Führung für die Getriebe geschnitten, sodass diese in das Rad eingeschoben werden können.

4.5 Planetengetriebe

Bereits in der 2. Woche des Projekts sind die ersten Entwürfe für die Planetengetriebe entstanden. Dieser setzte sich aus zwei 3D-Modellen zusammen, dem Getriebe (Abb 4.5b) und dem Rad, die beide von der Onlineplattform “Thingiverse” bezogen wurden. Diese wurden in Blender zu einem Bauteil zusammenfügt (Abb 4.5a).

Nach einigen erfolgreichen Testdrucken stellte sich allerdings heraus, dass die Getriebe zu viel Reibung hatten, sodass sie nicht anlaufen konnten.



(a) Version 1 des Planetengetriebes



(b) Original des verwendeten Planetengetriebes [1]

Um der Reibung entgegen wirken zu können, wurden im nächsten Schritt mit dem CAD Programm “OpenSCAD” (Abb 4.6) eigene Planetengetriebe erstellt. Hierbei lassen sich

vielerlei Parameter einstellen, beispielsweise Größe, Toleranzen, Zahanzahl, Planetenzahl, etc. Dies ermöglicht frei mit der Übersetzung sowie den druckbaren Toleranzen zu testen um das bestmögliche Getriebe zu bekommen.

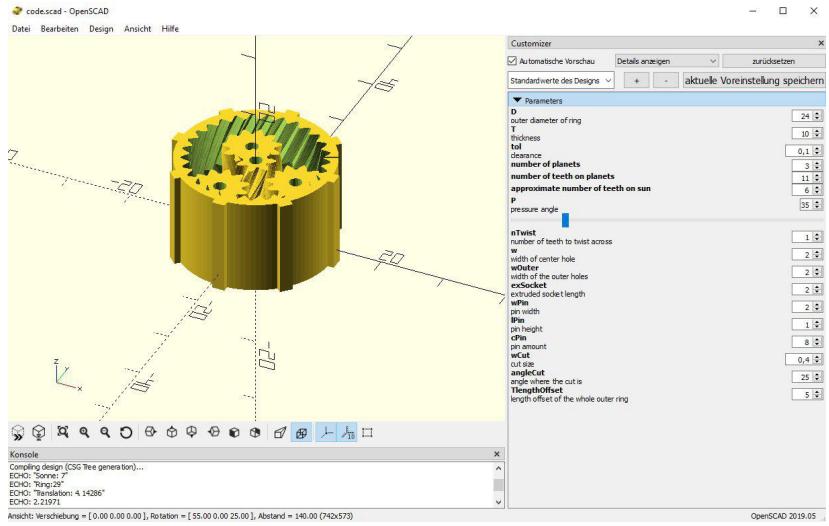


Abbildung 4.6: OpenSCAD zum Erstellen von Planetengetrieben

Durch die Funktionsweise von Additiver Fertigung lassen sich V-förmig verzahnte Getriebe als eine Einheit drucken. Dies wäre mit konventionellen Fertigungsprozessen nicht möglich. Da jedoch aufgrund von mangelnder Genauigkeit des 3D Druckers die Toleranzen so hoch gewählt werden müssen, sodass sich die Zahne nicht verschmelzen, führt dies zu viel Spiel in dem Getriebe.

Um jedoch das Getriebe weiterhin platzsparend in das Rad zu senken, wurde hier ebenfalls mit geradverzahnten Getrieben (Abb. 4.7) getestet. Hierbei entsteht jedoch das Problem der Fixierung der Planeten. Es entstand somit der Plan eine Gegenfalte zu Benutzten um alle Teile zu halten.

Weiterhin gab es noch das Problematik der zu niedrigen Übersetzungen. Hier hat es einige Iterationen gedauert bis eine Übersetzung von über 1:4 erreicht werden konnte. Probleme die hier aufgetreten sind, sind beispielsweise zu kleine Zahne (Abb. 4.8a), sodass diese nicht mehr ineinander greifen konnten.

Desweiteren hängt die mögliche Übersetzung auch von der Anzahl der Planeten ab. Sind zu viele Planeten im Ring (Abb. 4.8c) überschneiden sie sich, und man muss somit auf weniger Planeten (Abb. 4.8b) zurückgreifen, was die Stabilität beeinträchtigt. Hierbei lässt sich auch der Kraftwinkel der Zahne einstellen. Ist der Winkel zu niedrig (Abb. 4.8d) rutschen die Zahne einfacher durch, verhaken sich jedoch nicht so stark. Da Versuche mit höheren Übersetzungen als 1:4 nie Erfolg hatten, wurden ebenfalls mehrstufige Getriebe (Abb.) getestet, sogenannten “Composite Gear Sets”. Hierbei sind

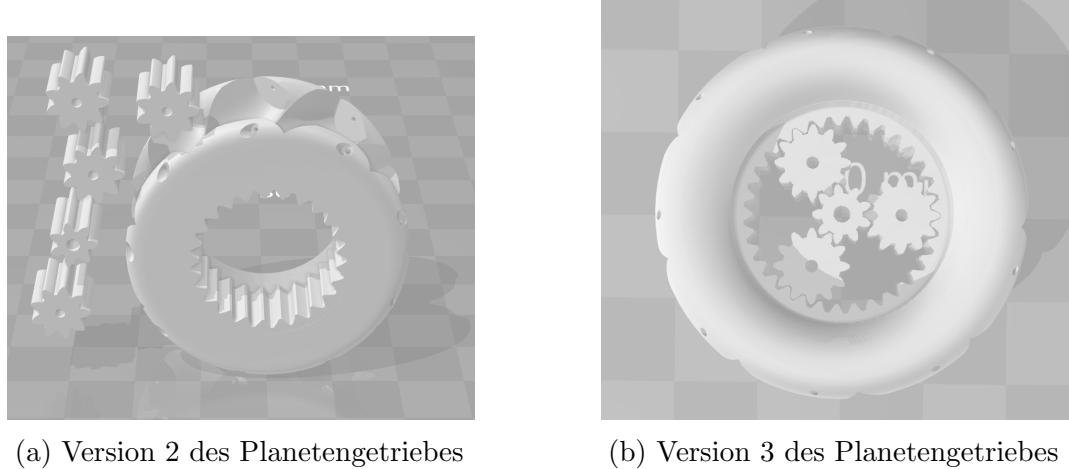


Abbildung 4.7: Im Rad integrierte Getriebe

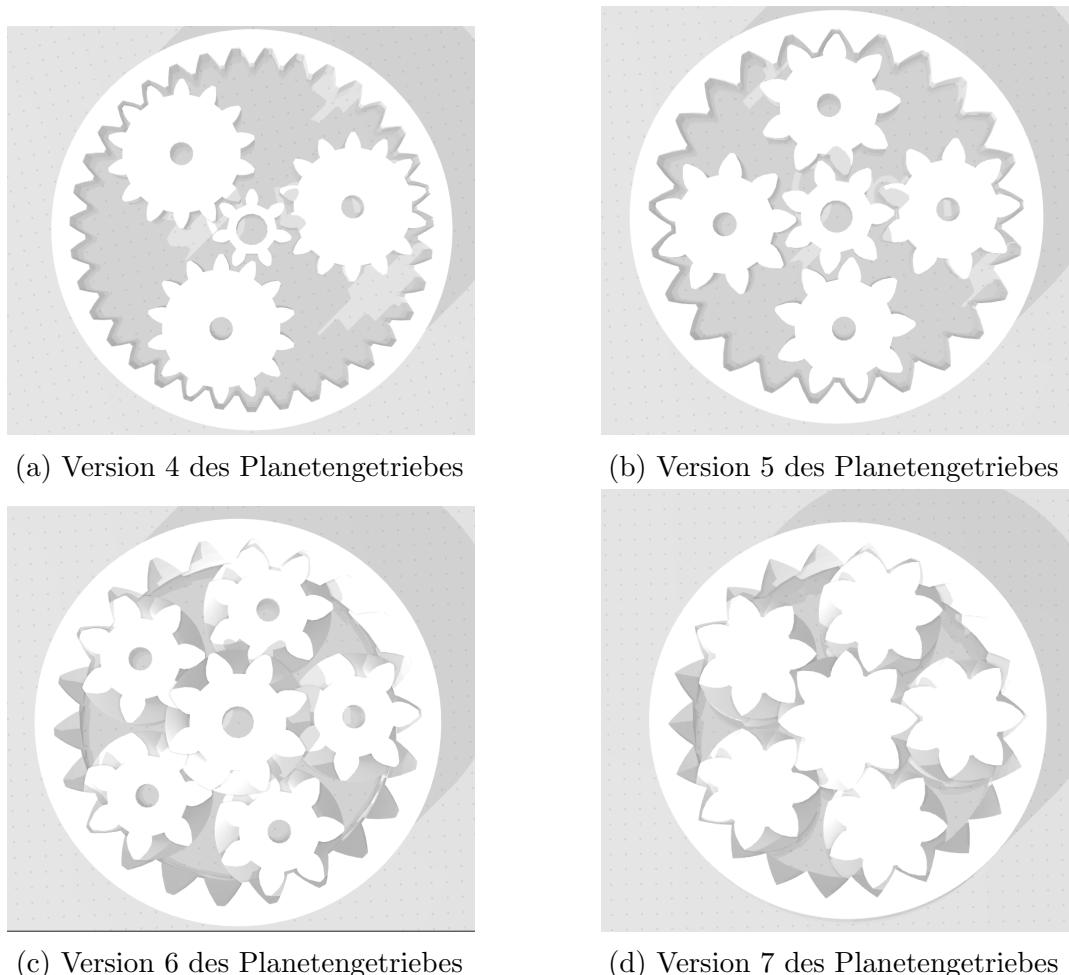


Abbildung 4.8: Iterationen der Getriebe

Übersetzungen von über 1:66 möglich, was für diese Anwendung perfekt wäre. Selbst bei mehrfachen Testdrucken der Zweistufigen Getriebe gelang es nicht, ein lauffähiges Getriebe mit ausreichendem Wirkungsgrad zu erreichen. Es gelang bei einigen Getrieben sie per Hand mit einiger Gewalt zu drehen, jedoch hatten die Motoren nicht genug Moment um überhaupt aus dem Stillstand loszudrehen.

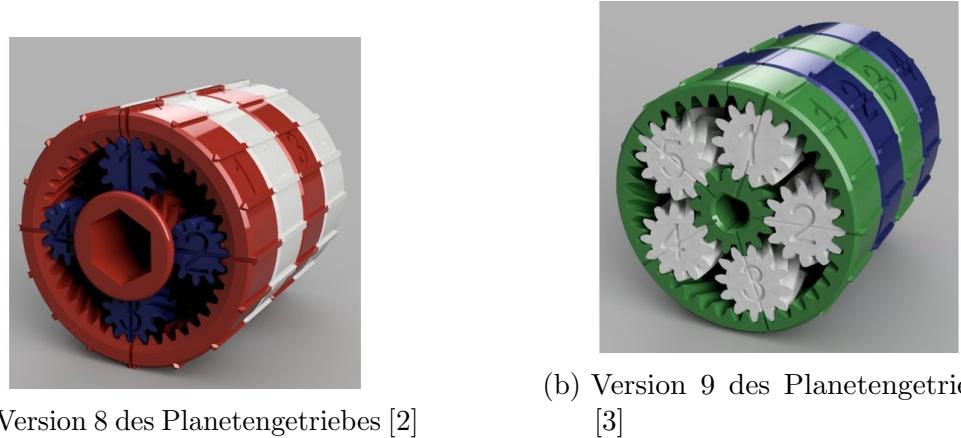


Abbildung 4.9: Mehrstufige Getriebe

Aus diesen Gründen wurde sich letztendlich auf einstufige Getriebe mit einer Übersetzung von 1 : 4.14 geeinigt. Obwohl dies zwar nicht ausreichend ist, um die Motoren von einer Lastdrehzahl von bis zu 6000 rpm auf eine lenkbare Geschwindigkeit zu übersetzen, wurde hier ebenfalls mit bedacht, dass weitere Steuerung durch Software mithilfe der H-Brücken möglich ist.

Dies führt zu dem finalen Design (Abb. 4.10a). Aufgrund der geringeren Reibung wurde sich hierbei für eine Geradverzahnung entschieden. Der 14mm lange Ring ist an einer Seite offen, sodass er aufgebogen werden kann um ihn um den Käfig (Abb. 4.10b) zu schließen. Bei dem Käfig handelt es sich um eine Verbindung der Innenfelge, die auf den Motor aufgesteckt wird mit der Außenfelge. Der Käfig erfüllt ebenfalls den Zweck die Planeten an ihrem Platz zu halten, sowie zusätzliche Stabilität der Achsen zu gewährleisten. Für die Achsen der Planeten dienen hier 1.5mm, die auf der Innenseite eingeklebt sind.

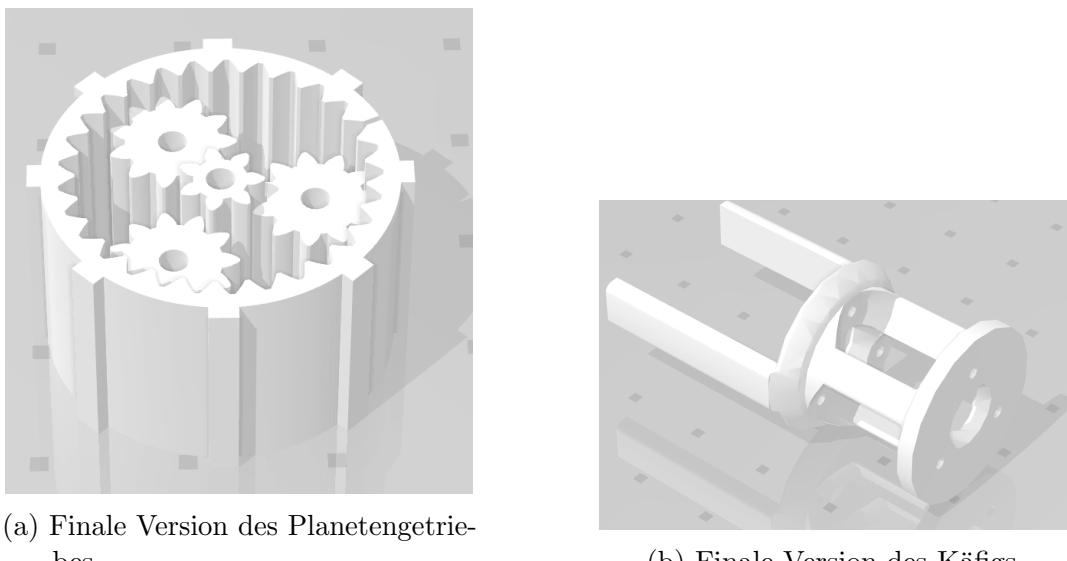


Abbildung 4.10: Finale Getriebebaugruppe

4.6 ESP-32 vs. ESP-8266

Bei dem vom Lehrstuhl gestellten ESP-8266 handelt es sich um einen WiFi-fähigen Microcontroller der chinesischen Firma “espressif”. Dieser besitzt 17 GPIO Pins, wovon jedoch lediglich 11 Pins nutzbar sind, da 6 an den externen SPI Flash angeschlossen sind. Da dies wie in Tabelle 4.2 aufgezeigt nicht für unsere Zwecke reicht, musste auf den leistungsstärkeren ESP-32 ausgewichen werden.

| Benötigte Pins | |
|---------------------|------------------|
| 4x PWM | Motor Enable |
| 8x Output | Motor Richtung |
| 2x I ² C | Gyroskop |
| 1x ADC | Batteriespannung |
| 15 Pins | |

Tabelle 4.2: Aufzählung benötigter Pins

Obwohl die Anzahl der Pins das ausschlaggebende Argument für einen Austausch des MicroControllers war, bringt dieser natürlich weitere Vorteile mit sich. Beispielsweise profitiert die später genauer erklärte Website stark davon, auf einen zweiten Core ausgelagert werden zu können.

Siehe Tabelle 4.3 für einen Vergleich der beiden MicroController anhand der für dieses Projekt relevanten Faktoren.

| | ESP-8266 | ESP-32 |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| Cores | single core | dual core |
| Max Frequenz | 160 MHz | 240 MHz |
| GPI | 17 (11 nutzbar) | 36 (30 nutzbar) |
| SRAM | 160 KB | 520 KB |
| ADC Auflösung | 10 bit | 12 bit |
| Stromverbrauch | 80 mA | 260 mA |
| Preis (aus China) | 2€ | 4€ |

Tabelle 4.3: Vorteile des ESP-32

4.7 User-Interface

Eine passende, nutzerfreundliche und optisch ansprechende UI hatte für das Projekt TEGGLA von Anfang an eine hohe Priorität. Es wurden zwei verschiedene UIs für das Projekt entwickelt, welche nachfolgend detailliert beschrieben werden.

4.7.1 Java (obsolete)

Das erste Konzept für eine passende UI wurde mit Java entwickelt. Java (und das Framework Java Swing) bieten grundsätzlich einige Möglichkeiten Benutzeroberflächen zu bauen und da Java eine der meistgenutzten Programmiersprachen ist, haben wir uns vorerst dafür entschieden.

Die Java UI besteht aus zwei Fenstern, welche vorerst die Verbindung zum TEGGLA sicherstellen und anschließend die Steuerung und Kommunikation ermöglichen.

Im ersten Fenster (Abb. 4.11) müssen in die Textfelder „IP Adresse“ und „PORT“ die passenden Daten eingegeben werden, um anschließend mit dem „Connect“ Button eine Verbindung zum TEGGLA aufzubauen. Falls das nicht gelungen ist, bekommt der Nutzer eine Fehlermeldung als Pop-Up und muss die Daten erneut eingeben. Im Erfolgsfall erscheint eine kurze Erfolgsmeldung und es öffnet sich das zweite Fenster. Im zweiten Fenster (Abb. 4.12) werden alle wichtigen Daten für die Steuerung und Kommunikation des TEGGLA angezeigt, nämlich Geschwindigkeit und Akkustand.

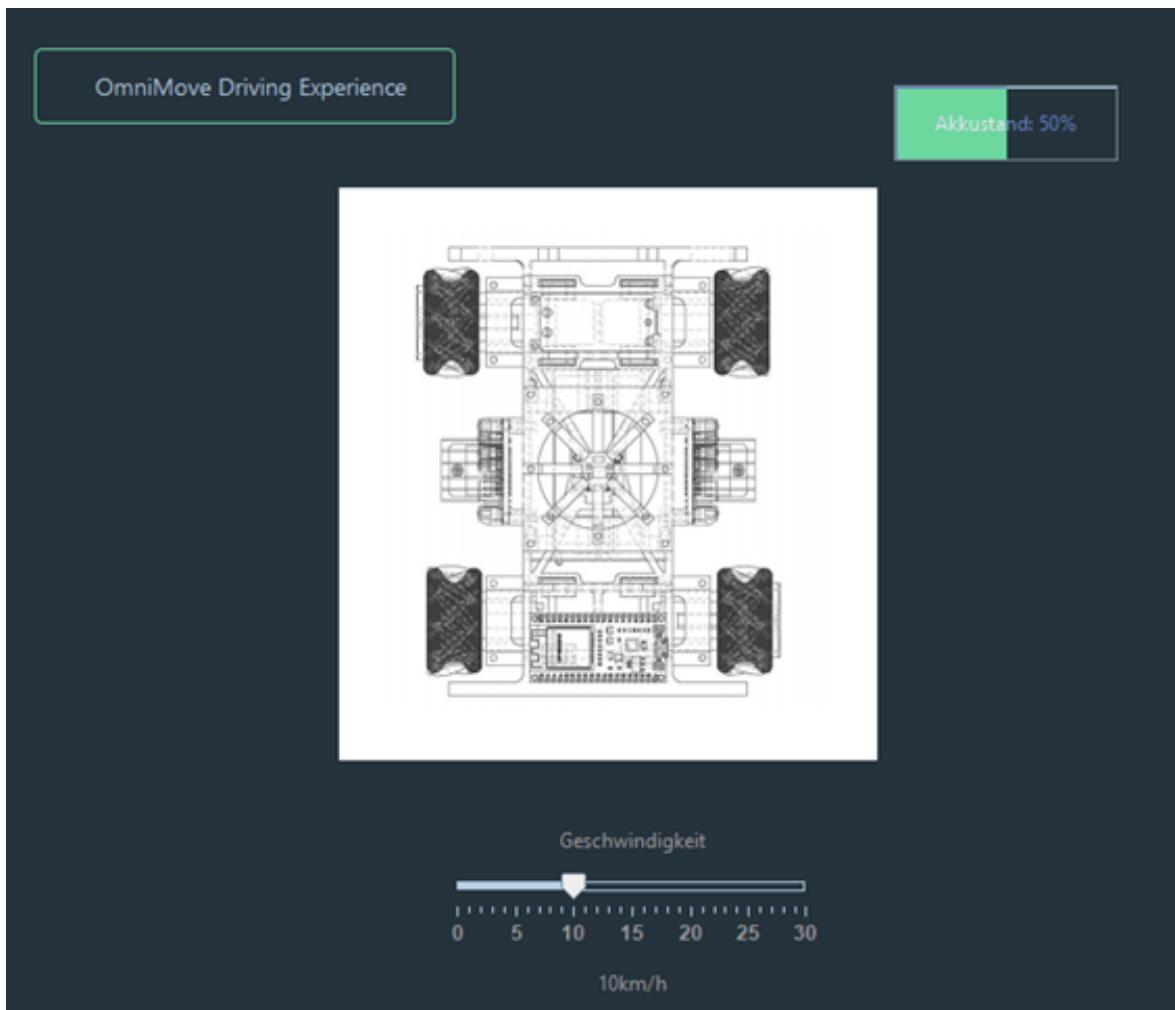


Abbildung 4.11: Java Fenster 1: Verbindungsauflbau

Die Entwicklung des zweiten Fensters war noch nicht ganz abgeschlossen, als Java durch die Verwendung der neuen UI mit JavaScript / HTML5 abgelöst wurde. Daher wäre dieses Fenster noch durch die Visualisierung der Motoransteuerung und -auslastung ergänzt worden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Entwicklung einer UI mit Java (und Java Swing) durchaus Vorteile hat, aber das Erstellen einer optisch ansprechenden Benutzeroberfläche sehr zeitaufwändig ist. Für diese zwei Fenster (mit Logikschicht) wurden in etwa 1000 Zeilen Quellcode benötigt, was für größere Projekte mit mehr Komponenten nicht empfehlenswert ist. Der zugehörige Quellcode ist im Anhang des Berichts und kann bei Interesse daher noch genauer betrachtet werden.

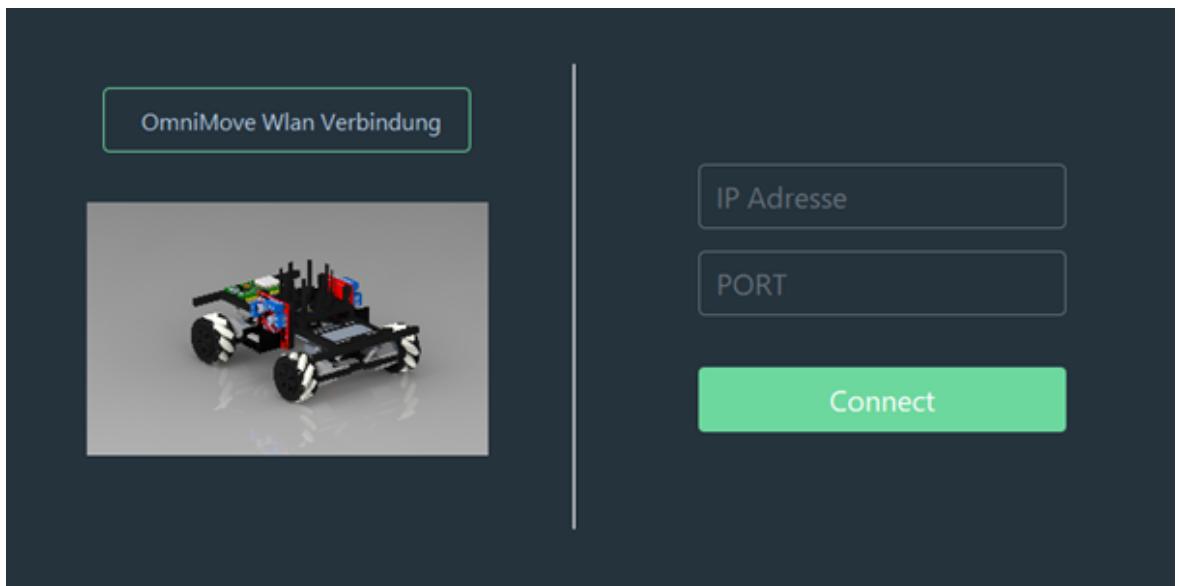


Abbildung 4.12: Java Fenster 2: Steuerung

4.7.2 HTML5 und Controller-Anbindung

Das Java Programm wurde aus mehreren Gründen zugunsten einer auf HTML5 sowie JavaScript basierten Weboberfläche ersetzt:

- Native und einheitliche Unterstützung für Controller unterschiedlichster Marken in HTML5
- Unabhängig von Java Laufzeitumgebung, sowie Verfügbarkeit des Programms. (Hierbei muss nur ein Browser auf dem PC installiert sein.)
- Einfache Übertragung der Daten per WebSockets anstatt von “raw” Sockets, ohne ein eigenes “Frame” um die Daten bauen zu müssen

Die Erstellung der Website lässt sich sehr leicht durch die ESPAsyncWebServer Library für den ESP32 lösen.

Diese hostet direkt auf dem ESP32 einen WebServer der sowohl HTML5, JS, als auch CSS bereitstellen kann. Als Speicherort für diese Dateien wird das sogenannte Dateisystem SPIFFS verwendet, welches den Flashspeicher des ESP32 als Dateisystem benutzt, wie es beispielsweise aus Windows bekannt ist.

Eine Einschränkung ist die Limitierung auf eine gleichzeitige Verbindung zu dem Server. Dies wurde empirisch herausgefunden und somit konnte nicht sicher gesagt werden, ob es sich hier um eine Einschränkung aufgrund mangelnder Rechenleistung handelt

oder ob die Library nicht mehr gleichzeitige Verbindungen unterstützt. Als Lösung dieses Problems, wurde nun die Anzahl der Verbindungen, die der WiFi Accesspoint akzeptiert, auf eins gesetzt.

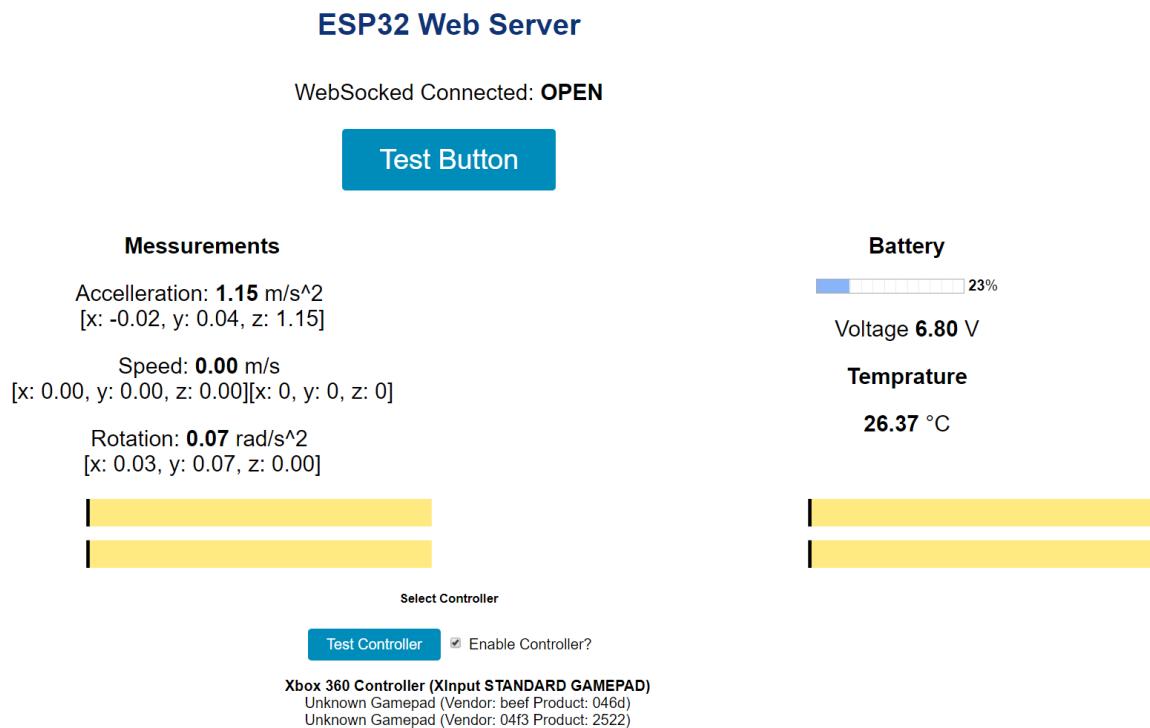


Abbildung 4.13: Bildschirmfoto Weboberfläche

In der Weboberfläche (Abb. 4.13) sind ebenfalls noch jegliche Messwerte hinterlegt, die das Fahrzeug sammelt.

Diese sind:

- Beschleunigung
- Geschwindigkeit
- Rotationsgeschwindigkeit
- Batteriespannung
- Temperatur
- Drehgeschwindigkeit der jeweiligen Motoren

Für die Wahl des Controllers ist eine auswählbare Liste aller angeschlossenen Controller am Ende der Seite vorhanden. Falls der Nutzer keinen Controller besitzt oder angegeschlossen hat, kann durch das Abwählen der Checkbox auf die Steuerung per WASD, sowie die Pfeiltasten gewechselt werden.

4.7.3 Protokoll

Zum Übertragen wurde ein binäres Protokoll (Tabelle 4.4) entwickelt, um die Datenrate gering zu halten, sowie die Verarbeitung auf dem Microcontroller zu vereinfachen.

Da durch Websockets bereits ein Integrierter Frame geschickt wird, muss nicht bei jeder Nachricht die Länge sowie Anfangs- und Endbyte mitgeschickt werden, wie es sonst bei raw Sockets nötig gewesen wäre.

Hierbei wird jeder Wert als Int16 geschickt, um ein ausreichend großes Spektrum bei geringer Datenrate zu gewährleisten.

Am Anfang jeder Nachricht wird die ID ebenfalls als int16 geschickt, somit wären 65536 unterschiedliche Nachrichten erlaubt.

Um die Anzahl an Nachrichten zu verringern, wurden die Batteriespannung und Werte des Gyroskop zu einer kombinierte Nachricht zusammengefasst, um den Overhead gering zu halten.

| Name | ID | Werte | | | | | | | | | | | |
|---------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|-------|-------|-------|---------|------|--|
| DRIVE | 0 | X-Achse L | Y-Achse L | X-Achse R | Y-Achse R | | | | | | | | |
| GYRO | 1 | Speed-X | Speed-Y | Speed-Z | Accel-X | Accel-Y | Accel-Z | Rot-X | Rot-Y | Rot-Z | | | |
| BATTERY | 2 | Voltage | | | | | | | | | | | |
| MOTOR | 3 | Speed-M1 | Speed-M2 | Speed-M3 | Speed-M4 | | | | | | | | |
| COMB | 4 | Speed-X | Speed-Y | Speed-Z | Accel-X | Accel-Y | Accel-Z | Rot-X | Rot-Y | Rot-Z | Battery | Temp | |

Tabelle 4.4: Binäres Protokoll

4.8 Steuerung per (XBox) Controller

Wie bereits in der Dokumentation der Weboberfläche erwähnt, wird die Steuerung primär per Spiele Controller gelöst, beispielsweise einem XBox-Controller von Microsoft. Diese Entscheidung ist durch die erhöhte Mobilität motiviert.

Mit einer Steuerung per WASD bzw. per Pfeiltasten sind nur binäre Zustände messbar, gedrückt oder nicht gedrückt, volle Geschwindigkeit oder Stillstand. Im Vergleich dazu erlauben uns die JoySticks des Controllers durch unterschiedlich starke Auslenkung die Geschwindigkeit sehr variabel zu bestimmen.

Da hierbei ebenfalls der JoyStick in jegliche Richtungen bewegt werden kann, können ebenfalls die Mecanum-Räder so angesteuert werden, dass sie in genau diese Richtung fahren.

Jedoch sind hiermit nur zwei der drei Freiheitsgrade unseres Fahrzeugs abgedeckt. Um Rotationen um die eigene Achse mit variabler Geschwindigkeit zu steuern, wird die Eingabe des linken und des rechten JoySticks mit folgenden Formeln überlagert.

Sei hier $controlSide$ Auslenkung des linken Sticks in X Richtung (nach rechts), $controlFront$ Auslenkung des linken Sticks in Y Richtung (nach vorne) und $controlTurn$ Auslenkung des rechten Sticks in X Richtung (nach rechts),

$$\theta = \text{atan2}(controlSide, controlFront) \quad (4.5)$$

$$V_d = \min(\sqrt{controlFront^2 + controlSide^2}, 1023) - \frac{controlTurn}{2} \quad (4.6)$$

$$V_\theta = \frac{controlTurn}{2} \quad (4.7)$$

4.9 PLA vs. TPU

Der Großteil der Teile für den TEGGLA wurde mit PLA Filament gedruckt. PLA steht für Polyactide, TPU steht für thermoplastisches Polyurethan. In diesem Kapitel wird auf die Unterschiede zwischen TPU und PLA eingegangen.

PLA hat im Vergleich ein höheres E-Modul, was zu einer höheren Zugfestigkeit und Steifigkeit führt. Auch in Sachen Verarbeitung ist PLA deutlich einfacher als TPU. Im Gegensatz zu TPU ist der Druckprozess mit PLA problemlos. Darüber hinaus ist TPU ein bisschen teurer als PLA.

Warum also TPU? TPU ist im Vergleich zu PLA viel flexibler und elastischer. Deswegen fiel die Wahl beim Rohstoff für die Sigmas und die Motorhalterungen auf TPU. Acht Sigmas verbinden die zwei Motorträger mit dem Hauptträger. Sie dienen hier quasi als Federung für die beiden "Achsen". Die Motorhalterungen sind das Bindeglied zwischen Motor und Motorträger. Es ist naheliegend, eine Federung und eine Befestigung für die Motoren aus einem elastischen Material zu drucken, auch wenn man mit einigen Nachteilen leben muss.

Um ein ansprechendes Design zu erhalten und um die Unterscheidung der Materialien zu erleichtern, wurde für den Roboter, sowie in den Skizzen, für PLA die Farbe schwarz verwendet, für TPU die Farbe weiß.

4.10 Eierhalter

Der Leichtbau-Anspruch lässt sich bei allen Komponenten des TEGGLA wiederfinden, sogar beim Eierhalter. Dieser wurde aus mehreren einzelnen Bauteilen erstellt, um mit möglichst wenig Gewicht die größte Stabilität für das Ei zu erreichen. Es wurde vorerst das Fundament des Eihalters gedruckt und anschließend mit 8 Eihalter-Segmenten verbunden. Somit kann das zu transportierende Ei schnell und sicher auf dem TEGGLA verwahrt werden.

Zusätzlich befindet sich der Eierhalter genau im Schwerpunkt des Fahrzeugs, um sicherzustellen, dass die aufgenommene Last gleichmäßig verteilt werden kann und die omnidirektionale Fahrweise des TEGGLA nicht beeinträchtigt werden kann.

4.11 Leichtbau

Bei der Konstruktion des TEGGLA wurde auf die Verwendung von massiven und schweren Bauteilen komplett verzichtet, wodurch das geringe Gesamtgewicht des Fahrzeugs (ca. 500 Gramm) erreicht worden ist. Dabei sind die schwersten Bauteile die Elektronikbauteile, auf die kein Einfluss genommen werden kann, wie die Motoren (je 36g), die H-Brücken (je 25g) sowie der Akku (62g).

Um ein omnidirektionales Fahren zu ermöglichen, benötigt der TEGGLA vier Motoren und zwei H-Brücken, welches das Gewicht des Fahrzeugs im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen erhöht. Die Leichtbau Anforderung ist daher in gewisser Weise in Konflikt mit einer innovativen Idee, schnellem Fahren und vor allem dem omnidirektionalen Fahren.

Durch die Verwendung einer elastischen Federung konnte auf ein Gehäuse für den Schutz der Elektronik verzichtet werden und zusätzlich konnten die dadurch entstandenen Hohlräume für technische Bauteile und Verbindungskabel genutzt werden.

5 Zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten

Obwohl das Praktikum erfolgreich verlief, werden in diesem Kapitel noch Verbesserungsvorschläge und Ausbaumöglichkeiten beleuchtet.

5.1 Regler

Die Messwerte des Gyroskops können für einen Regelkreis (Abb. 5.1) benutzt werden.

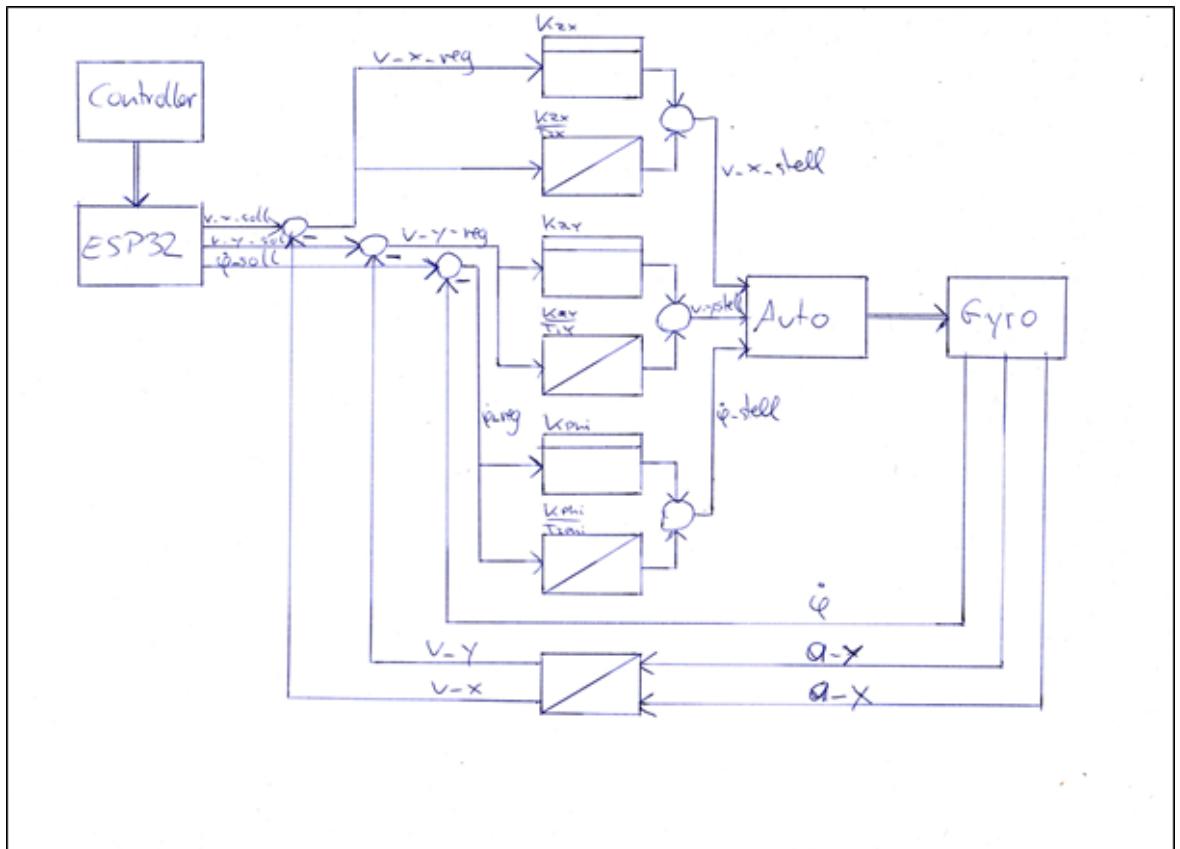


Abbildung 5.1: Blockschaltbild Regler

Durch die Eingaben des Spiele-Controllers und deren Interpretation durch das ESP-32 werden Sollwerte für Geschwindigkeiten in allen Achsen vorgegeben. Das Gyroskop misst Beschleunigung in X- und Y-Richtung und die Winkelgeschwindigkeit der Rotation. Deswegen müssen die Beschleunigungswerte einmal integriert werden, um auf die momentane Ist-Geschwindigkeit in beiden Richtungen zu kommen. Das übernimmt der Integrator ganz unten.

Anschließend wird von den Soll- und Ist-Werten die Differenz gebildet. Über diese Regelungsdifferenz wird jeweils durch einen PI-Regler (Proportional und Integrationsglied) mit empirisch bestimmten Faktoren die Stellgröße ermittelt. Das Integrationsglied der PI-Regler ist dabei wichtig für die stationäre Genauigkeit.

Die Stellgrößen werden nach Umrechnung an die Motoren weitergeleitet, was wiederum zu veränderten Messgrößen am Gyroskop führt. Damit ist der Kreis geschlossen.

5.2 Verbesserungen

Stillstand bedeutet Rückschritt. Daher werden bei zukünftigen TEGGLA Versionen sowohl Hardware – als auch Software – Komponenten angepasst, um jedes Fahrzeug besser als dessen Vorgänger zu machen.

5.2.1 Hardware

Für das omnidirektionale Fahren mit den Mecanum-Rädern sind Stepper-Motoren besser geeignet als die aktuell verwendeten DC-Motoren, da diese eine vorgegebene Drehzahl besser halten können. Daher werden zukünftige TEGGLAs mit vier Stepper-Motoren ausgestattet sein.

Eine weitere hardwarenahe Verbesserung ist die Neugestaltung des Hauptschalter am Rahmen des Fahrzeugs. Dieser ist aktuell so konstruiert, dass der Hauptschalter bei einer Kollision des Fahrzeugs mit Objekten unbeabsichtigt betätigt werden kann. Daher wird in der nächsten Version des TEGGLA der Hauptschalter nach innen zeigen, um vor Kollisionen und unerwünschtem Betätigen geschützt zu sein.

Die Verbesserung des Planetengetriebes ist zwar ein zeitaufwändiges Vorhaben, jedoch würde sich das ebenfalls positiv auf die Übersetzungsrate und somit auf das Fahren auswirken. Durch das Anpassen von Stellgrößen im CAD Modell und durch einige Druckversuche kann immer weniger Spiel im Getriebe erreicht werden. Eine Alternative

wäre die Verwendung eines besseren, genaueren 3D-Druckers, da beim 3D-Druck eines Planetengetriebes bereits sehr geringe Druckgenauigkeiten problematisch sind.

Die vorerst letzten hardwarenahen Verbesserungsmöglichkeiten beziehen sich auf den Ladestecker und die Rollen der Mecanum-Räder. Der aktuell verwendete Ladestecker (XT60) ist für ein häufiges Aufladen des Fahrzeugs nicht gut geeignet, da sich das Kabel schwer ein- und ausstecken lässt.

Die Rollen der Mecanum-Räder sollen bei zukünftigen Versionen des TEGGLA mehr Grip haben, was eventuell durch die Verwendung eines anderen Filaments erreicht werden kann.

5.2.2 Software

Die Weboberfläche für die Kommunikation und Steuerung des TEGGLA soll fortlaufend erweitert und verbessert werden. Beispielsweise kann durch das Integrieren der Beschleunigung, welche vom Gyroscope gemessen wird, zusätzlich auch noch die aktuelle Geschwindigkeit des TEGGLA angezeigt werden.

Eine weitere softwarenahe Verbesserung des TEGGLA wäre das Beheben von Verbindungsproblemen. Bei dem Testen des fertigen Fahrzeugs kam es teilweise zu Verbindungsabbrüchen zum WLAN des TEGGLA. Dadurch konnte das Fahrzeug natürlich nicht mehr gesteuert werden und zusätzlich wurde der letzte erhaltene Befehl dauerhaft ausgeführt. Dieses Verbindungsproblem kann durch zwei Schritte verbessert werden: Vorerst sollte der Code so angepasst werden, dass bei einem Verbindungsabbruch kein Befehl mehr ausgeführt wird und der TEGGLA somit keine unkontrollierten Bewegungen durchführt. Anschließend können automatische Reconnects implementiert werden, welche bei einem Verbindungsabbruch in kleinen Zeitabständen versuchen, die Verbindung automatisch wiederherzustellen. Dadurch kann die Zeit ohne Verbindung mit dem TEGGLA minimiert werden.

6 Zusammenfassung

In diesem abschließenden Kapitel werden die gesammelten Erfahrungen reflektiert, sowie die wichtigsten erlernten, beziehungsweise verbesserten Fähigkeiten beim Entwickeln des TEGGLA zusammengefasst.

6.1 Fazit

Das Entwickeln des TEGGLA hat dem gesamten Team sehr viel Spaß gemacht. Um das erwünschte Ergebnis zu erreichen, wurde der Umgang mit vielen neuen Technologien erlernt beziehungsweise das bereits vorhandene Wissen vertieft. Vor allem das Konstruieren in CAD, die Anfertigung von technischen Zeichnungen und das tatsächliche Drucken und Zusammenbauen der Baugruppen hatten einen großen Mehrwert für unsere zukünftigen Projekte. Die wichtigsten verwendeten Technologien waren:

Creo

Konstruieren aller Bauteile des TEGGLA.

C++

Programmierung des MicroController auf einer Hardwarenahen Ebene.

JavaScript / HTML5

Weboberfläche mit Sockets für die Kommunikation und Steuerung des TEGGLA.

Github

Repository für die Sicherung, Versionierung, Verteilung und Aktualisierung aller Daten, technischen Zeichnungen, Skizzen, Berichte, Präsentationen und Quellcode.

6.2 Errungene Erfahrung

Der wohl zeitaufwändigste und schwierigste Aspekt des Projekts war der 3D-Druck eines Planetengetriebes, welches die erforderliche Übersetzung für das omnidirektionale Fahren bereitstellen kann. Bereits geringe Druckerungengenauigkeiten führten zu nicht nutzbaren Getriebeverisionen und daher wurden viele Anläufe benötigt, um ein passendes Planetengetriebe zu entwickeln. Für zukünftige Projekte mit 3D-Druckern wird das berücksichtigt und der Fokus bei der Entwicklung darauf gelegt.

Als sehr positiv war die zeitliche Planung und Zusammenarbeit des Teams zu bewerten. Trotz unerwarteten Mehraufwänden für Teilaufgaben, kam es zu keinerlei zeitlichen Engpässen und dadurch zu einem qualitativ hochwertigen Endprodukt. Eine möglichst präzise Aufgabendefinition und -verteilung am Projektanfang ist enorm wichtig, um dies sicherstellen zu können. Zusätzlich waren die Meilensteintermine des Lehrstuhls ebenfalls hilfreich, um sich an den Terminplan zu halten.

Die Nutzung eines GIT Repositories war ebenfalls äußerst gewinnbringend, da die Versierung, Verteilung, Aktualisierung und Sicherung jederzeit und für alle Teammitglieder gewährleistet werden konnte.

Insgesamt wurden enorm viele Erfahrungen über den Entwicklungsprozess eines lenkbaren Fahrzeugs gesammelt, welche sich natürlich auch auf andere Produkte und Projekte abstrahieren lassen. Die einzelnen Entwicklungsschritte, nämlich die Auswahl einer Idee, das Anfertigen eines Lastenhefts, die Rollen- und Aufgabenverteilung innerhalb des Teams sowie die zeitliche Einhaltung von Terminen sind alles wichtige Kenntnisse für unsere zukünftigen Projekte.

Anhang

A Quellcode

A.1 ESP32

```
1 #include "communication.h"
2
3 AsyncWebSocketClient *ws_client = nullptr;
4
5 void Communication::onWSData(AsyncWebSocket *server, AsyncWebSocketClient *client,
6     AwsEventType type, uint8_t *data, size_t len) {
7     ws_client = client;
8
9     int16_t *d16 = (int16_t *)data;
10    int16_t id = d16[0];
11
12    switch (id) {
13        case OmniMessageType::DRIVE:
14            onDrive(d16[1], d16[2], d16[3], d16[4]);
15            break;
16
17        default:
18            Serial.printf("No such command %i\n", id);
19            break;
20    }
21
22 void Communication::onDrive(int16_t x1, int16_t y1, int16_t x2, int16_t y2) {
23     // Serial.printf("Driving with speed: %i, %i and %i, %i now\n", x1, y1, x2,
24     // y2);
25     Movement::drive(y1, x1, x2);
26 }
27
28 void Communication::sendCurrGyro(XYZ speed, XYZ accel, XYZ rot) {
29     int16_t buff[10] = {OmniMessageType::CURR_GYRO, speed.x, speed.y, speed.z,
30     accel.x, accel.y, accel.z, rot.x, rot.y, rot.z};
31     ws->binaryAll((uint8_t *)buff, 20);
```

```

30 }
31
32 void Communication::sendCurrGyBatComb(int16_t sX, int16_t sY, int16_t sZ, int16_t
33     aX, int16_t aY, int16_t aZ, int16_t rX, int16_t rY, int16_t rZ, int16_t bat,
34     int16_t temp) {
35     int16_t buff[12] = {OmniMessageType::CURR_GY_BAT_COMB, sX, sY, sZ, aX, aY, aZ,
36     rX, rY, rZ, bat, temp};
37     ws->binaryAll((uint8_t *)buff, 24);
38 }
39
40 void Communication::sendCurrMotor(int16_t vl, int16_t vr, int16_t hl, int16_t hr) {
41     int16_t buff[5] = {OmniMessageType::CURR_MOTOR, vl, vr, hl, hr};
42     // Serial.println("should send now");
43     ws->binaryAll((uint8_t *)buff, 10);
44 }
45
46 void Communication::sendCurrBattery(int16_t cell1, int16_t cell2) {
47     int16_t buff[5] = {OmniMessageType::CURR_BATTERY, cell1, cell2};
48     // Serial.println("should send now");
49     ws->binaryAll((uint8_t *)buff, 10);
50 }
51
52 AsyncWebSocket *Communication::ws;

```

Listing A.1: communication.cpp

```

1 #pragma once
2
3 #include "movement.h"
4 #include <ESPAsyncWebServer.h>
5
6 /**
7 * Limitations due to js:
8 * Buffer has to be all the same type
9 *
10 * Type is int16 as well at the start of the array
11 *
12 */
13 enum OmniMessageType {
14     DRIVE = 0,           //L4 {x1} int16 [-1023, 1023] :: {y1} int16 [-1023,
15     1023] :: {x2} int16 [-1023, 1023] :: {y2} int16 [-1023, 1023]

```

```

15     CURR_GYRO = 1,           //L18 {speed m/s} (x) int16 (y) int16 (z) int16 :: 
16     {accel m/s^2} (x) int16 (y) int16 (z) int16 :: {rot} (x) int16 (y) int16 (z)
17     int16
18     CURR_BATTERY = 2,       //L1 {cell1} int16 [0, 2^12]
19     CURR_MOTOR = 3,         //L4 {vl} int16 [-1023, 1023] :: {vr} int16 [-1023,
20     1023] :: {hl} int16 [-1023, 1023] :: {hr} int16 [-1023, 1023]
21     CURR_GY_BAT_COMB = 4,   //L20 {speed m/s} (x) int16 (y) int16 (z) int16 :: 
22     {accel m/s^2} (x) int16 (y) int16 (z) int16 :: {rot} (x) int16 (y) int16 (z)
23     int16 :: {bat} int16 [0, 2^12] :: {temp} int16
24 };
25
26
27 struct XYZ {
28     int16_t x;
29     int16_t y;
30     int16_t z;
31 };
32
33
34 class Communication {
35 public:
36     static void onWSData(AsyncWebSocket *server, AsyncWebSocketClient *client,
37     AwsEventType type, uint8_t *data, size_t len);
38     static void onDrive(int16_t x1, int16_t y1, int16_t x2, int16_t y2);
39     static void sendCurrGyro(XYZ speed, XYZ accel, XYZ rot);
40     static void sendCurrBattery(int16_t cell1, int16_t cell2);
41     static void sendCurrGyBatComb(int16_t sX, int16_t sY, int16_t sZ, int16_t aX,
42     int16_t aY, int16_t aZ, int16_t rX, int16_t rY, int16_t rZ, int16_t bat,
43     int16_t temp);
44     static void sendCurrMotor(int16_t vl, int16_t vr, int16_t hl, int16_t hr);
45
46     static AsyncWebSocket *ws;
47 };

```

Listing A.2: communication.h

```

1 #include "movement.h"
2
3 // ----- Motor Class
4 // ##### Functions #####
5 void Motor::setSpeed(int16_t speed) {
6     // disable before before changing direction
7     // (probably not needed) safety to prevent shoutthrough

```

```
8     ledcWrite(channel, 0);
9     if (speed > 0) {
10         digitalWrite(pin_dir1, LOW);
11         digitalWrite(pin_dir2, HIGH);
12     } else if (speed < 0) {
13         digitalWrite(pin_dir1, HIGH);
14         digitalWrite(pin_dir2, LOW);
15     } else {
16         digitalWrite(pin_dir1, LOW);
17         digitalWrite(pin_dir2, LOW);
18         return;
19     }
20
21     ledcWrite(channel, abs(speed));
22 }
23
24 void Motor::stop() {
25     ledcWrite(channel, 0);
26     digitalWrite(pin_dir1, LOW);
27     digitalWrite(pin_dir2, LOW);
28 }
29
30 // ----- Movement Class
31 // ##### Attributes #####
32 Motor Movement::MOTOR_VL = Motor(CH_MOTOR_VL, PIN_MOTOR_VL_DIR1,
33     PIN_MOTOR_VL_DIR2);
33 Motor Movement::MOTOR_VR = Motor(CH_MOTOR_VR, PIN_MOTOR_VR_DIR1,
34     PIN_MOTOR_VR_DIR2);
34 Motor Movement::MOTOR_HL = Motor(CH_MOTOR_HL, PIN_MOTOR_HL_DIR1,
35     PIN_MOTOR_HL_DIR2);
35 Motor Movement::MOTOR_HR = Motor(CH_MOTOR_HR, PIN_MOTOR_HR_DIR1,
36     PIN_MOTOR_HR_DIR2);
36
37 // ##### Functions #####
38 void Movement::initPWM() {
39     Serial.println("Initing PWMs");
40
41     // Setting all pins to output
42     pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
43     pinMode(PIN_MOTOR_VL_EN, OUTPUT);
44     pinMode(PIN_MOTOR_VL_DIR1, OUTPUT);
45     pinMode(PIN_MOTOR_VL_DIR2, OUTPUT);
```

```
46
47     pinMode(PIN_MOTOR_VR_EN, OUTPUT);
48     pinMode(PIN_MOTOR_VR_DIR1, OUTPUT);
49     pinMode(PIN_MOTOR_VR_DIR2, OUTPUT);
50
51     pinMode(PIN_MOTOR_HL_EN, OUTPUT);
52     pinMode(PIN_MOTOR_HL_DIR1, OUTPUT);
53     pinMode(PIN_MOTOR_HL_DIR2, OUTPUT);
54
55     pinMode(PIN_MOTOR_HR_EN, OUTPUT);
56     pinMode(PIN_MOTOR_HR_DIR1, OUTPUT);
57     pinMode(PIN_MOTOR_HR_DIR2, OUTPUT);
58
59 // Disable all pins by default to not possibly cause shootthrough
60 digitalWrite(PIN_MOTOR_VL_EN, LOW);
61 digitalWrite(PIN_MOTOR_VL_DIR1, LOW);
62 digitalWrite(PIN_MOTOR_VL_DIR2, LOW);
63
64 digitalWrite(PIN_MOTOR_VR_EN, LOW);
65 digitalWrite(PIN_MOTOR_VR_DIR1, LOW);
66 digitalWrite(PIN_MOTOR_VR_DIR2, LOW);
67
68 digitalWrite(PIN_MOTOR_HL_EN, LOW);
69 digitalWrite(PIN_MOTOR_HL_DIR1, LOW);
70 digitalWrite(PIN_MOTOR_HL_DIR2, LOW);
71
72 digitalWrite(PIN_MOTOR_HR_EN, LOW);
73 digitalWrite(PIN_MOTOR_HR_DIR1, LOW);
74 digitalWrite(PIN_MOTOR_HR_DIR2, LOW);
75
76 // configure LED PWM functionalitites
77 ledcSetup(CH_LED, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
78 ledcSetup(CH_MOTOR_VL, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
79 ledcSetup(CH_MOTOR_VR, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
80 ledcSetup(CH_MOTOR_HL, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
81 ledcSetup(CH_MOTOR_HR, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
82
83 // attach the channel to the GPIO2 to be controlled
84 ledcAttachPin(PIN_LED, CH_LED);
85 ledcAttachPin(PIN_MOTOR_VL_EN, CH_MOTOR_VL);
86 ledcAttachPin(PIN_MOTOR_VR_EN, CH_MOTOR_VR);
87 ledcAttachPin(PIN_MOTOR_HL_EN, CH_MOTOR_HL);
88 ledcAttachPin(PIN_MOTOR_HR_EN, CH_MOTOR_HR);
```

```
89     Serial.println("Initiated PWMs");
90 }
91
92
93 void Movement::drive(int controlFront, int controlSide, int controlTurn) {
94     if (abs(controlFront) < CONTROLLER_LOWER_LIMIT && abs(controlSide) <
95         CONTROLLER_LOWER_LIMIT && abs(controlTurn) < CONTROLLER_LOWER_LIMIT) {
96         // Serial.println("Stopping Motors");
97         MOTOR_VL.stop();
98         MOTOR_VR.stop();
99         MOTOR_HL.stop();
100        MOTOR_HR.stop();
101
102        Communication::sendCurrMotor(0, 0, 0, 0);
103        return;
104    }
105
106    int speedVL = 0;
107    int speedVR = 0;
108    int speedHL = 0;
109    int speedHR = 0;
110
111    if (abs(controlFront) > 0 && controlSide == 0 && controlTurn == 0) {
112        speedVL = controlFront;
113        speedVR = controlFront;
114        speedHL = controlFront;
115        speedHR = controlFront;
116    } else if (abs(controlSide) > 0 && controlFront == 0 && controlTurn == 0) {
117        speedVL = controlSide;
118        speedVR = -controlSide;
119        speedHL = -controlSide;
120        speedHR = controlSide;
121    } else if (controlSide == 0 && controlFront == 0 && abs(controlTurn) > 0) {
122        speedVL = controlTurn;
123        speedVR = -controlTurn;
124        speedHL = controlTurn;
125        speedHR = -controlTurn;
126    } else {
127        driveAlgorithm(controlFront, controlSide, controlTurn, &speedVL, &speedVR,
128                      &speedHL, &speedHR);
129    }
130}
```

```

129     speedVL = speedVL / 1023.0 * USEABLE_UPPER_LIMIT + (1023 -
130     USEABLE_UPPER_LIMIT) * sgn(speedVL);
131     speedVR = speedVR / 1023.0 * USEABLE_UPPER_LIMIT + (1023 -
132     USEABLE_UPPER_LIMIT) * sgn(speedVR);
133     speedHL = speedHL / 1023.0 * USEABLE_UPPER_LIMIT + (1023 -
134     USEABLE_UPPER_LIMIT) * sgn(speedHL);
135     speedHR = speedHR / 1023.0 * USEABLE_UPPER_LIMIT + (1023 -
136     USEABLE_UPPER_LIMIT) * sgn(speedHR);
137
138
139     MOTOR_VL.setSpeed(speedVL);
140     MOTOR_VR.setSpeed(speedVR);
141     MOTOR_HL.setSpeed(speedHL);
142     MOTOR_HR.setSpeed(speedHR);
143
144
145     Communication::sendCurrMotor(speedVL, speedVR, speedHL, speedHR);
146 }
147
148 void Movement::driveAlgorithm(int controlFront, int controlSide, int controlTurn,
149     int *speedVL, int *speedVR, int *speedHL, int *speedHR) {
150     double phi = atan2(controlSide, controlFront);
151
152     int vd = min((int)sqrt(controlFront * controlFront + controlSide *
153     controlSide), 1023);
154     vd -= controlTurn / 2;
155     int vphi = controlTurn / 2;
156
157     double s = vd * sin(phi + PI / 4);
158     double c = vd * cos(phi + PI / 4);
159
160     *speedVL = s + vphi;
161     *speedVR = c - vphi;
162     *speedHL = c + vphi;
163     *speedHR = s - vphi;
164 }
```

Listing A.3: movement.cpp

```

1 #pragma once
2
3 #include "communication.h"
4 #include "util.h"
5 #include <Arduino.h>
```

```
6 #include <math.h>
7
8 class Motor {
9 private:
10     char channel;
11     char pin_dir1;
12     char pin_dir2;
13
14 public:
15     Motor(char channel, char pin_dir1, char pin_dir2) : channel(channel),
16         pin_dir1(pin_dir1), pin_dir2(pin_dir2){};
17     ~Motor() {}
18
19     /**
20      * speed in [-1023; 1023]
21      */
22     void setSpeed(int16_t speed);
23
24     void stop();
25 };
26
27 class Movement {
28 private:
29     /* data */
30
31     static Motor MOTOR_VL;
32     static Motor MOTOR_VR;
33     static Motor MOTOR_HL;
34     static Motor MOTOR_HR;
35
36
37     /** Amount of values down from 1023 which can be used */
38     static const int USEABLE_UPPER_LIMIT = 700;
39     /** Wont move below this limit */
40     static const int CONTROLLER_LOWER_LIMIT = 50;
41
42     static const char PIN_MOTOR_VL_EN = 23;
43     static const char PIN_MOTOR_VL_DIR1 = 18;
44     static const char PIN_MOTOR_VL_DIR2 = 19;
45
46     static const char PIN_MOTOR_VR_EN = 32;
47     static const char PIN_MOTOR_VR_DIR1 = 12;
```

```

48     static const char PIN_MOTOR_VR_DIR2 = 13;
49
50     static const char PIN_MOTOR_HL_EN = 16;
51     static const char PIN_MOTOR_HL_DIR1 = 17;
52     static const char PIN_MOTOR_HL_DIR2 = 5;
53
54     static const char PIN_MOTOR_HR_EN = 4;
55     static const char PIN_MOTOR_HR_DIR1 = 3;
56     static const char PIN_MOTOR_HR_DIR2 = 15;
57
58     static const int PWM_FREQ = 500;
59     static const char CH_LED = 0;
60     static const char CH_MOTOR_VL = 1;
61     static const char CH_MOTOR_VR = 2;
62     static const char CH_MOTOR_HL = 3;
63     static const char CH_MOTOR_HR = 4;
64     static const char PWM_RESOLUTION = 10; //Resolution 8, 10, 12, 15
65
66     static void initPWM();
67
68     static void driveMotor(char channel, char dir1, char dir2, int speed);
69
70 /**
71  * Converts the given controls into wheel speeds
72  * Algorithm source:
73  * http://eprints.utm.edu.my/16543/1/Omni%20Directional%20Control%20Algorithm%20For%20Mecanu
74  */
75
76     static void drive(int controlFront, int controlSide, int controlTurn);
77
78 private:
79     static void driveAlgorithm(int controlFront, int controlSide, int controlTurn,
80     int *speedVL, int *speedVR, int *speedHL, int *speedHR);
81 };

```

Listing A.4: movement.h

```

1 #include "util.h"
2
3 ****
4 * high precision sine/cosine
5 *
6 * Source: https://gist.github.com/geraldyeo/988116

```

```
7  *
8  *
9  ****
10 void cossin(float x, float *outCos, float *outSin) {
11     float sin, cos;
12
13     //always wrap input angle to -PI..PI
14     if (x < -3.14159265)
15         x += 6.28318531;
16     else if (x > 3.14159265)
17         x -= 6.28318531;
18
19     //compute sine
20     if (x < 0) {
21         sin = 1.27323954 * x + .405284735 * x * x;
22
23         if (sin < 0)
24             sin = .225 * (sin * -sin - sin) + sin;
25         else
26             sin = .225 * (sin * sin - sin) + sin;
27     } else {
28         sin = 1.27323954 * x - 0.405284735 * x * x;
29
30         if (sin < 0)
31             sin = .225 * (sin * -sin - sin) + sin;
32         else
33             sin = .225 * (sin * sin - sin) + sin;
34     }
35
36     //compute cosine: sin(x + PI/2) = cos(x)
37     x += 1.57079632;
38     if (x > 3.14159265)
39         x -= 6.28318531;
40
41     if (x < 0) {
42         cos = 1.27323954 * x + 0.405284735 * x * x;
43
44         if (cos < 0)
45             cos = .225 * (cos * -cos - cos) + cos;
46         else
47             cos = .225 * (cos * cos - cos) + cos;
48     } else {
49         cos = 1.27323954 * x - 0.405284735 * x * x;
```

```

50
51     if (cos < 0)
52         cos = .225 * (cos * -cos - cos) + cos;
53     else
54         cos = .225 * (cos * cos - cos) + cos;
55 }
56
57 *outSin = sin;
58 *outCos = cos;
59 }
60
61 /**
62 * Branchless signum function
63 */
64
65 int sgn(int val) {
66     return (0 < val) - (val < 0);
67 }

```

Listing A.5: util.cpp

```

1 #pragma once
2
3 void coassin(float x, float *outCos, float *outSin);
4
5 int sgn(int val);

```

Listing A.6: util.h

```

1 #include "MPU6050.h"
2 #include "communication.h"
3 #include "movement.h"
4 #include <Arduino.h>
5 #include <ESPAsyncWebServer.h>
6 #include <SPIFFS.h>
7 #include <WiFi.h>
8 #include <Wire.h>
9
10 // Replace with your network credentials
11 const char *ssid = "ESP32-OmniMove";

```

```
12 const char *password = "123456789";
13
14 // const byte DNS_PORT = 53;
15 IPAddress apIP = IPAddress(192, 168, 4, 1);
16
17 AsyncWebServer server(80);
18 AsyncWebSocket ws("/ws");
19 MPU6050 mpu;
20
21 void onEvent(AsyncWebSocket *server, AsyncWebSocketClient *client, AwsEventType
22 type, void *arg, uint8_t *data, size_t len) {
23
24     switch (type) {
25         case WS_EVT_CONNECT:
26             Serial.printf("Client connected from %s\n",
27 client->remoteIP().toString().c_str());
28             break;
29
30         case WS_EVT_DATA:
31             Communication::onWSData(server, client, type, data, len);
32             break;
33
34     }
35 }
36
37 void setup() {
38     // enableCore1WDT();
39     Serial.begin(115200);
40
41     Wire.begin();
42
43     mpu.initialize();
44
45     // mpu.CalibrateAccel_MP6500(6);
46     // mpu.CalibrateGyro(6);
47
48     // mpu.PrintActiveOffsets_MP6500();
49     mpu.setXGyroOffset(96);
50     mpu.setYGyroOffset(92);
51     mpu.setZGyroOffset(-20);
52 }
```

```
53 // Serial.printf("\n");
54 Movement::initPWM();
55
56 // enable AP with dns
57 WiFi.mode(WIFI_AP);
58
59 // Setup websockets
60 ws.onEvent(onEvent);
61 server.addHandler(&ws);
62 Communication::ws = &ws;
63 ws.enable(true);
64
65 // Initialize SPIFFS
66 if (!SPIFFS.begin(true)) {
67     while (true) {
68         Serial.println("An Error has occurred while mounting SPIFFS");
69         delay(1000);
70     }
71     return;
72 } else {
73     Serial.println("Mounted SPIFFS successfully");
74 }
75
76 // Route for root / web page
77 server.on("/", HTTP_GET, [] (AsyncWebRequest *request) {
78     // Serial.println("request on index");
79     request->send(SPIFFS, "/index.html", String(), false, nullptr);
80 });
81
82 // Route to load style.css file
83 server.on("/style.css", HTTP_GET, [] (AsyncWebRequest *request) {
84     // Serial.println("request on style");
85     request->send(SPIFFS, "/style.css", "text/css");
86 });
87
88 // Route to load code.js file
89 server.on("/code.js", HTTP_GET, [] (AsyncWebRequest *request) {
90     // Serial.println("request on code");
91     request->send(SPIFFS, "/code.js", "text/javascript");
92 });
93
94 // Route to load code.js file
95 server.on("/progressbar.min.js", HTTP_GET, [] (AsyncWebRequest *request) {
```

```

96     // Serial.println("request on progressbar");
97     request->send(SPIFFS, "/progressbar.min.js", "text/javascript");
98 }
99
100 // WiFi.softAPConfig(apIP, apIP, IPAddress(255, 255, 255, 0));
101 WiFi.setSleep(false);
102 WiFi.softAP(ssid, password, 6, 1);
103 delay(1000);
104
105 server.begin();
106 }
107
108 void loop() {
109
110 // put your main code here, to run repeatedly:
111 // dnsServer.processNextRequest();
112 uint16_t v = analogRead(39);
113 int16_t x, y, z, gx, gy, gz, temp;
114
115 temp = mpu.getTemperature();
116 mpu.getMotion6(&x, &y, &z, &gx, &gy, &gz);
117
118 // Serial.printf("x: %6.2fg, y: %6.2fg, z: %6.2fg, gx: %6.2f°/s, gy: %6.2f°/s,
119 // gz: %6.2f°/s, temp: %6.2f°C\r", x / 16384.0, y / 16384.0, z / 16384.0, gx /
250.0, gy / 250.0, gz / 250.0, temp / 340.0 + 36.53);
120 // power = (v / 4095 * 3.1 + .1) * 3;
121 Communication::sendCurrGyBatComb(0, 0, 0, x, y, z, gx, gy, gz, v, temp);
122 delay(1000);
123 }
```

Listing A.7: main.cpp

A.2 Webpage

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3
4 <head>
5   <title>ESP32 Web Server</title>
6   <meta charset="utf-8" />
```

```
7  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
8  <link rel="icon" href="data:, ">
9  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
10 </head>
11
12 <body>
13  <h1>ESP32 Web Server</h1>
14  <p>WebSocked Connected: <strong id="wsState">CONNECTING</strong></p>
15  <p><button class="button" onclick="sendSpeed()">Test Button</button></p>
16
17
18 <div class="wrapper">
19  <div class="left">
20   <h2>Messurements</h2>
21   <p>Accelleration: <strong id="valAccelTotal">0</strong> m/s2
22   <br /> <span id="valAccel">[x: 0, y: 0, z: 0]</span>
23  </p>
24
25  <p>Speed: <strong id="valSpeedTotal">0</strong> m/s
26  <br /> <span id="valSpeed">[x: 0, y: 0, z: 0]</span></p>
27
28  <p>Rotation: <strong id="valRotTotal">0</strong> rad/s2
29  <br /> <span id="valRot">[x: 0, y: 0, z: 0]</span></p>
30
31 </div>
32
33 <div class="right">
34  <h2>Battery</h2>
35  <progress id="progBattery" value="60" max="100"></progress>
36
37  <strong id="valBatteryTotal">-1</strong>%
38  <p>Voltage <strong id="valVolt">-1</strong> V</p>
39
40  <h2>Temprature</h2>
41  <p><strong id="valTemp">-1</strong> °C</p>
42 </div>
43 </div>
44
45
46 <div>
47  <svg viewBox="0 0 205 10" preserveAspectRatio="none" style="width: 100%; height: 100%;">
```

```

48   <path id="pathVL" d="M50,2 L100,2 0,2 50,2" stroke="#FFEA82"
49   stroke-width="4" fill-opacity="0"
50   style="stroke-dasharray: 100, 100; stroke-dashoffset: 0;"/></path>
51 <path id="pathHL" d="M50,8 L100,8 0,8 50,8" stroke="#FFEA82"
52   stroke-width="4" fill-opacity="0"
53   style="stroke-dasharray: 100, 100; stroke-dashoffset: 0;"/></path>
54
55 <path id="pathVR" d="M155,2 L205,2 105,2 155,2" stroke="#FFEA82"
56   stroke-width="4" fill-opacity="0"
57   style="stroke-dasharray: 100, 100; stroke-dashoffset: 0;"/></path>
58 <path id="pathHR" d="M155,8 L205,8 105,8 155,8" stroke="#FFEA82"
59   stroke-width="4" fill-opacity="0"
60   style="stroke-dasharray: 100, 100; stroke-dashoffset: 0;"/></path>
61
62 <path d="M 50 0 L 50 4" stroke="black" stroke-width="0.5" fill="none" />
63 <path d="M 50 6 L 50 10" stroke="black" stroke-width="0.5" fill="none" />
64 <path d="M 155 0 L 155 4" stroke="black" stroke-width="0.5" fill="none" />
65 <path d="M 155 6 L 155 10" stroke="black" stroke-width="0.5" fill="none" />
66 </svg>
67 </div>
68
69 <div>
70   <h5>Select Controller</h5>
71   <button class="buttonsmall" onclick="updateControllerList()">Test
72     Controller</button>
73   <input type="checkbox" id="controllerEnabled" checked>
74   <label for="controllerEnabled">Enable Controller?</label>
75   <ul id="controllerList">
76     <li onclick="onControllerSelected(0)">Test</li>
77
78   </ul>
79 </div>
80
81 </body>
82
83 <script type="text/javascript" src="progressbar.min.js"></script>
84 <script type="text/javascript" src="code.js"></script>
85
86 </html>

```

Listing A.8: index.html

```
1 let ws = new WebSocket("ws://192.168.4.1/ws");
2 // let ws = new WebSocket("ws://demos.kaazing.com/echo");
3 ws.binaryType = 'arraybuffer';
4
5 let barVL = new ProgressBar.Path('#pathVL', { easing: 'easeInOut', duration: 140,
6 });
7 let barVR = new ProgressBar.Path('#pathVR', { easing: 'easeInOut', duration: 140,
8 });
9 let barHL = new ProgressBar.Path('#pathHL', { easing: 'easeInOut', duration: 140,
10 });
11 let barHR = new ProgressBar.Path('#pathHR', { easing: 'easeInOut', duration: 140,
12 });
13 barVL.set(0.1)
14 barVR.set(0.1)
15 barHL.set(0.1)
16 barHR.set(0.1)
17
18 let selectedControllerIndex = -1;
19 window.onload = function () {
20     setInterval(controllerFunc, 100);
21     updateControllerList();
22 };
23
24 //##region >>> WebSocket
25 ws.onopen = (event) => {
26     document.getElementById("wsState").innerHTML = "OPEN";
27 };
28
29 ws.onerror = (event) => {
30     document.getElementById("wsState").innerHTML = "ERROR";
31 };
32
33 ws.onclose = (event) => {
34     document.getElementById("wsState").innerHTML = "CLOSED";
35 };
36
37 ws.onmessage = function (event) {
38     // console.log("WebSocket message received:", event);
39     let dv = new DataView(event.data);
40     let id = dv.getInt16(0, true);
41
42     switch (id) {
43         case 1: //gyro
```

```

40     let a = [dv.getInt16(2, true), dv.getInt16(4, true), dv.getInt16(6, true)];
41     let s = [dv.getInt16(8, true), dv.getInt16(10, true), dv.getInt16(12, true)];
42     let r = [dv.getInt16(2, true), dv.getInt16(4, true), dv.getInt16(6, true)];
43
44     document.getElementById("valAccelTotal").innerHTML = Math.sqrt(a[0] * a[0] +
45       a[1] * a[1] + a[2] * a[2]).toFixed(2);
46     document.getElementById("valSpeedTotal").innerHTML = Math.sqrt(a[0] * s[0] +
47       s[1] * s[1] + s[2] * s[2]).toFixed(2);
48     document.getElementById("valRotTotal").innerHTML = Math.sqrt(r[0] * r[0] +
49       r[1] * r[1] + r[2] * r[2]).toFixed(2);
50
51     document.getElementById("valAccel").innerHTML = "[x: " + a[0] + ", y: " +
52       a[1] + ", z: " + a[2] + "]";
53     document.getElementById("valSpeed").innerHTML = "[x: " + s[0] + ", y: " +
54       s[1] + ", z: " + s[2] + "]";
55     document.getElementById("valRot").innerHTML = "[x: " + r[0] + ", y: " + r[1] +
56       ", z: " + r[2] + "]";
57     break;
58
59 case 2: //battery
60   let c1 = (dv.getInt16(2, true) / 4095 * 3.1 + .1) * 3;
61
62   document.getElementById("valVolt").innerHTML = c1.toFixed(2);
63   break;
64
65 case 3: //motors
66   const UPPER_LIMIT = 300;
67
68   let vl = dv.getInt16(2, true) / (1023 * 4);
69   let vr = dv.getInt16(4, true) / (1023 * 4);
70   let hl = dv.getInt16(6, true) / (1023 * 4);
71   let hr = dv.getInt16(8, true) / (1023 * 4);
72
73   barVL.animate(vl);
74   barVR.animate(vr);
75   barHL.animate(hl);
76   barHR.animate(hr);
77   break;
78
79 case 4: //gyroBatComb
80   let s1 = [dv.getInt16(2, true), dv.getInt16(4, true), dv.getInt16(6, true)];
81   let a1 = [dv.getInt16(8, true) / 16384.0, dv.getInt16(10, true) / 16384.0,
82     dv.getInt16(12, true) / 16384.0];

```

```

75     let r1 = [dv.getInt16(14, true) / 250.0, dv.getInt16(16, true) / 250.0,
76     dv.getInt16(18, true) / 250.0];
77
78     document.getElementById("valAccelTotal").innerHTML = Math.sqrt(a1[0] * a1[0]
79     + a1[1] * a1[1] + a1[2] * a1[2]).toFixed(2);
80     document.getElementById("valSpeedTotal").innerHTML = Math.sqrt(s1[0] * s1[0]
81     + s1[1] * s1[1] + s1[2] * s1[2]).toFixed(2);
82     document.getElementById("valRotTotal").innerHTML = Math.sqrt(r1[0] * r1[0] +
83     r1[1] * r1[1] + r1[2] * r1[2]).toFixed(2);
84
85     document.getElementById("valAccel").innerHTML = "[x: " + a1[0].toFixed(2) +
86     ", y: " + a1[1].toFixed(2) + ", z: " + a1[2].toFixed(2) + "J";
87     document.getElementById("valSpeed").innerHTML = "[x: " + s1[0].toFixed(2) +
88     ", y: " + s1[1].toFixed(2) + ", z: " + s1[2].toFixed(2) + "J";
89     document.getElementById("valRot").innerHTML = "[x: " + r1[0].toFixed(2) + ",
90     y: " + r1[1].toFixed(2) + ", z: " + r1[2].toFixed(2) + "J";
91
92     let bat = (dv.getInt16(20, true) / 4095 * 3.1 + .1) * 3;
93     let batPercent = (bat - 6.5) / (7.8 - 6.5) * 100;
94     let temp = dv.getInt16(22, true) / 340.0 + 36.53;
95
96     document.getElementById("valVolt").innerHTML = bat.toFixed(2);
97     document.getElementById("progBattery").value = batPercent.toFixed(2);
98     document.getElementById("valBatteryTotal").innerHTML = batPercent.toFixed(0);
99
100    document.getElementById("valTemp").innerHTML = temp.toFixed(2);
101    break;
102
103    default:
104      break;
105  }
106
107  //endregion
108
109 //##region >>> Controller
110 window.addEventListener("gamepadconnected", (event) => {
111   console.log("A gamepad connected:");
112   console.log(event.gamepad);
113
114   updateControllerList();
115 });

```

```
111
112 window.addEventListener("gamepaddisconnected", (event) => {
113   console.log("A gamepad disconnected:");
114   console.log(event.gamepad);
115
116   updateControllerList();
117 });
118
119
120
121
122 // Lets the user select which connected controller to use
123 function updateControllerList() {
124   let inner = ""
125
126   let pads = navigator.getGamepads();
127   console.log(pads);
128
129   for (let i = 0; i < pads.length; i++) {
130     const element = pads[i];
131     if (element === null)
132       continue;
133     if (selectedControllerIndex == i) {
134       inner += "<li onclick=\"onControllerSelected(" + i + ")\"><strong>" +
135       element.id + "</strong></li>";
136     } else {
137       inner += "<li onclick=\"onControllerSelected(" + i + ")\">" + element.id +
138       "</li>";
139     }
140   }
141
142   document.getElementById("controllerList").innerHTML = inner;
143
144 // gets called when a Controller gets selected in the List
145 function onControllerSelected(index) {
146   selectedControllerIndex = index;
147   updateControllerList();
148
149
150 let lastX1 = 0, lastX2 = 0, lastY1 = 0, lastY2 = 0;
151 function controllerFunc() {
```

```

152 if (!document.getElementById("controllerEnabled").checked)
153   return;
154
155 let pads = navigator.getGamepads();
156 if (pads === null || pads === undefined || pads[selectedControllerIndex] === null
157   || pads[selectedControllerIndex] === undefined)
158   return;
159 x1 = Math.floor(pads[selectedControllerIndex].axes[0] * 1023);
160 y1 = -Math.floor(pads[selectedControllerIndex].axes[1] * 1023);
161 x2 = Math.floor(pads[selectedControllerIndex].axes[2] * 1023);
162 y2 = -Math.floor(pads[selectedControllerIndex].axes[3] * 1023);
163
164 if (Math.abs(x1) < 200)
165   x1 -= x1;
166 if (Math.abs(y1) < 200)
167   y1 -= y1;
168 if (Math.abs(x2) < 200)
169   x2 -= x2;
170 if (Math.abs(y2) < 200)
171   y2 -= y2;
172
173 if (lastX1 != x1 || lastY1 != y1 || lastX2 != x2 || lastY2 != y2) {
174   console.log(x1 + ", " + y1 + " : " + x2 + ", " + y2);
175   if (ws.readyState == WebSocket.OPEN) {
176     let buf = new Int16Array([0, x1, y1, x2, y2])
177     ws.send(buf);
178   }
179   lastX1 = x1;
180   lastX2 = x2;
181   lastY1 = y1;
182   lastY2 = y2;
183 }
184
185 }
186 //endregion
187
188 //#region >>> Keyboard Control
189 let dirX = 0;
190 let dirY = 0;
191 let rotX = 0;
192 //a: 65, s: 83, d:68, w:87
193 document.addEventListener('keydown', function (event) {

```

```
194 let c = event.keyCode;
195 switch (event.keyCode) {
196     case 65:
197         dirX = -1;
198         break;
199     case 68:
200         dirX = 1;
201         break;
202     case 87:
203         dirY = 1;
204         break;
205     case 83:
206         dirY = -1;
207         break;
208     case 39:
209         rotX = 1;
210         break;
211     case 37:
212         rotX = -1;
213         break;
214     case 27:
215         dirY = 0;
216         dirX = 0;
217         break;
218     default:
219         break;
220 }
221
222 if (lastX1 != dirX * 1023 || lastY1 != dirY * 1023 || lastX2 != rotX * 1023 ||
223     lastY2 != 0) {
224     console.log(dirX * 1023 + ", " + dirY * 1023 + " : " + rotX * 1023 + ", " + 0);
225     if (ws.readyState == WebSocket.OPEN) {
226         let buf = new Int16Array([0, dirX * 1023, dirY * 1023, rotX * 1023, 0])
227         ws.send(buf);
228     }
229     lastX1 = dirX * 1023;
230     lastY1 = dirY * 1023;
231     lastX2 = rotX * 1023;
232     lastY2 = 0;
233
234 // console.log("x: " + dirX + " y: " + dirY);
235});
```

```
236
237 document.addEventListener('keyup', function (event) {
238     let c = event.keyCode;
239     switch (event.keyCode) {
240         case 65:
241         case 68:
242             dirX = 0;
243             break;
244         case 87:
245         case 83:
246             dirY = 0;
247             break;
248         case 39:
249         case 37:
250             rotX = 0;
251             break;
252         default:
253             break;
254     }
255     console.log("x: " + dirX + " y: " + dirY);
256
257     if (lastX1 != dirX * 1023 || lastY1 != dirY * 1023 || lastX2 != rotX * 1023 ||
258         lastY2 != 0) {
259         console.log(dirX * 1023 + ", " + dirY * 1023 + " : " + rotX * 1023 + ", " + 0);
260         if (ws.readyState == WebSocket.OPEN) {
261             let buf = new Int16Array([0, dirX * 1023, dirY * 1023, rotX * 1023, 0])
262             ws.send(buf);
263         }
264         lastX1 = dirX * 1023;
265         lastY1 = dirY * 1023;
266         lastX2 = rotX * 1023;
267         lastY2 = 0;
268     }
269 });
270
271
272
273 function sendSpeed() {
274     console.log("speed");
275     let arr = new Int16Array([2, Math.random() * 4048, Math.random() * 4048]);
276     let arr2 = new Int16Array([1,
277         Math.random() * 1023, Math.random() * 1023, Math.random() * 1023,
```

```
278     Math.random() * 1023, Math.random() * 1023, Math.random() * 1023,  
279     Math.random() * 1023, Math.random() * 1023, Math.random() * 1023]);  
280     ws.send(arr);  
281     ws.send(arr2);  
282 }
```

Listing A.9: code.js

```
1 html {  
2     font-family: Helvetica;  
3     display: inline-block;  
4     margin: 0px auto;  
5     text-align: center;  
6 }  
7 h1{  
8     color: #0F3376;  
9     padding: 2vh;  
10 }  
11 p{  
12     font-size: 1.5rem;  
13 }  
14 .button {  
15     display: inline-block;  
16     background-color: #008CBA;  
17     border: none;  
18     border-radius: 4px;  
19     color: white;  
20     padding: 16px 40px;  
21     text-decoration: none;  
22     font-size: 30px;  
23     margin: 2px;  
24     cursor: pointer;  
25 }  
26  
27 .buttonsmall {  
28     display: inline-block;  
29     background-color: #008CBA;  
30     border: none;  
31     border-radius: 4px;  
32     color: white;  
33     padding: 8px 20px;  
34     text-decoration: none;
```

```
35     font-size: 16px;  
36     margin: 2px;  
37     cursor: pointer;  
38 }  
39  
40 .button2 {  
41     background-color: #f44336;  
42 }  
43  
44 .wrapper {  
45     display: flex;  
46 }  
47  
48 .left {  
49     flex: 0 0 65%;  
50 }  
51  
52 .right {  
53     flex: 1;  
54 }
```

Listing A.10: style.css

A.3 Java

```
1 package main;  
2 import Toaster.Toaster;  
3 import Utils.*;  
4  
5 import java.awt.*;  
6 import java.awt.event.*;  
7 import javax.swing.*;  
8  
9 public class ConnectUI extends JFrame {  
10  
11     /**  
12      *  
13      */  
14     private static final long serialVersionUID = 1L;  
15 }
```

```
16     private final Toaster toaster;
17
18     public static void main(String[] args) {
19         new ConnectUI();
20     }
21
22     private ConnectUI() {
23         JPanel mainJPanel = getMainJPanel();
24
25         addLogo(mainJPanel);
26
27         addSeparator(mainJPanel);
28
29         addIPTextField(mainJPanel);
30
31         addPortTextField(mainJPanel);
32
33         addConnectButton(mainJPanel);
34
35         getContentPane().add(mainJPanel);
36
37         pack();
38         setVisible(true);
39         toFront();
40
41         Dimension screenSize = Toolkit.getDefaultToolkit().getScreenSize();
42         setLocation(screenSize.width / 2 - getWidth() / 2, screenSize.height / 2 -
43         getHeight() / 2);
44
45         toaster = new Toaster(mainJPanel);
46     }
47
48     private JPanel getMainJPanel() {
49         setUndecorated(true);
50
51         Dimension size = new Dimension(800, 400);
52
53         JPanel panel1 = new JPanel();
54         panel1.setSize(size);
55         panel1.setPreferredSize(size);
56         panel1.setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);
57         panel1.setLayout(null);
```

```
58     TextFieldPort titel = new TextFieldPort();
59     titel.setEnabled(false);
60     titel.setEditable(false);
61     titel.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
62     titel.setBorderColor(UIUtils.COLOR_INTERACTIVE);
63     titel.setFont(new Font("Segoe UI", Font.PLAIN, 16));
64     titel.setText("OmniMove Wlan Verbindung");
65     titel.setBounds(68, 57, 250, 44);
66     panel1.add(titel);
67
68     panel1.setFocusable(true);
69     panel1.requestFocus();
70
71     MouseAdapter ma = new MouseAdapter() {
72         int lastX, lastY;
73
74         @Override
75         public void mousePressed(MouseEvent e) {
76             lastX = e.getXOnScreen();
77             lastY = e.getYOnScreen();
78         }
79
80         @Override
81         public void mouseDragged(MouseEvent e) {
82             int x = e.getXOnScreen();
83             int y = e.getYOnScreen();
84             setLocation(getLocationOnScreen().x + x - lastX,
85             getLocationOnScreen().y + y - lastY);
86             lastX = x;
87             lastY = y;
88         }
89     };
90
91     panel1.addMouseListener(ma);
92     panel1.addMouseMotionListener(ma);
93
94     addWindowListener(new WindowAdapter() {
95         @Override
96         public void windowClosing(WindowEvent e) {
97             System.exit(0);
98         }
99     });

```

```
100     return panel1;
101 }
102
103 private void addSeparator(JPanel panel1) {
104     JSeparator separator1 = new JSeparator();
105     separator1.setOrientation(SwingConstants.VERTICAL);
106     separator1.setForeground(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
107     panel1.add(separator1);
108     separator1.setBounds(387, 41, 2, 316);
109 }
110
111 private void addLogo(JPanel panel1) {
112     JLabel label1 = new JLabel();
113     //label1.setSize(300,300);
114     label1.setFocusable(false);
115     label1.setBounds(57, 123, 273, 197);
116     //ImageIcon robot = new ImageIcon(new
117     ImageIcon("/robot.png").getImage().getScaledInstance(20, 20,
118     Image.SCALE_DEFAULT));
119     //label1.setIcon(robot);
120     Image robot = new
121     ImageIcon(this.getClass().getResource("/robot.png")).getImage();
122     label1.setIcon(new ImageIcon(robot));
123     panel1.add(label1);
124 }
125
126
127 private void addIPTextField(JPanel panel1) {
128     TextFieldPort usernameField = new TextFieldPort();
129     //usernameField.setBorderColor(new Color(102, 205, 170));
130
131     usernameField.setText(UIUtils.PLACEHOLDER_TEXT_IP);
132     usernameField.setForeground(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
133     usernameField.setBorderColor(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
134
135     usernameField.setBounds(473, 109, 250, 44);
136     usernameField.addFocusListener(new FocusListener() {
137         @Override
138         public void focusGained(FocusEvent e) {
139             if (usernameField.getText().equals(UIUtils.PLACEHOLDER_TEXT_IP)) {
140                 usernameField.setText("");
141             }
142             usernameField.setForeground(Color.white);
143             usernameField.setBorderColor(UIUtils.COLOR_INTERACTIVE);
144         }
145     });
146 }
```

```
140     }
141
142     @Override
143     public void focusLost(FocusEvent e) {
144         if (usernameField.getText().isEmpty()) {
145             usernameField.setText(UIUtils.PLACEHOLDER_TEXT_IP);
146         }
147         usernameField.setForeground(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
148         usernameField.setBorderColor(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
149     }
150 );
151
152     panel1.add(usernameField);
153 }
154
155 private void addPortTextField(JPanel panel1) {
156     TextFieldIP passwordField = new TextFieldIP();
157     //passwordField.setBorderColor(new Color(102, 205, 170));
158
159     passwordField.setText(UIUtils.PLACEHOLDER_TEXT_PORT);
160     passwordField.setForeground(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
161     passwordField.setBorderColor(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
162
163     passwordField.setBounds(473, 168, 250, 44);
164     passwordField.addFocusListener(new FocusListener() {
165         @Override
166         public void focusGained(FocusEvent e) {
167             if (passwordField.getText().equals(UIUtils.PLACEHOLDER_TEXT_PORT))
168             {
169                 passwordField.setText("");
170             }
171             passwordField.setForeground(Color.white);
172             passwordField.setBorderColor(UIUtils.COLOR_INTERACTIVE);
173         }
174
175         @Override
176         public void focusLost(FocusEvent e) {
177             if (passwordField.getText().isEmpty()) {
178                 passwordField.setText(UIUtils.PLACEHOLDER_TEXT_PORT);
179             }
180             passwordField.setForeground(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
181             passwordField.setBorderColor(UIUtils.COLOR_OUTLINE);
182         }
183     });
184 }
```

```
182     });
183
184     passwordField.addKeyListener(new KeyAdapter() {
185         @Override
186         public void keyTyped(KeyEvent e) {
187             if (e.getKeyChar() == KeyEvent.VK_ENTER)
188                 loginEventHandler();
189         }
190     });
191
192     panel1.add(passwordField);
193 }
194
195 private void addConnectButton(JPanel panel1) {
196     final Color[] connectColors = {UIUtils.COLOR_INTERACTIVE, Color.white};
197
198     JLabel connectButton = new JLabel() {
199         /**
200          *
201         */
202         private static final long serialVersionUID = 1L;
203
204         @Override
205         protected void paintComponent(Graphics g) {
206             Graphics2D g2 = UIUtils.get2dGraphics(g);
207             super.paintComponent(g2);
208
209             Insets insets = getInsets();
210             int w = getWidth() - insets.left - insets.right;
211             int h = getHeight() - insets.top - insets.bottom;
212             g2.setColor(connectColors[0]);
213             g2.fillRoundRect(insets.left, insets.top, w, h, UIUtils.ROUNDNESS,
214 UIUtils.ROUNDNESS);
215
216             FontMetrics metrics = g2.getFontMetrics(UIUtils.FONT_GENERAL_UI);
217             int x2 = (getWidth() -
218 metrics.stringWidth(UIUtils.BUTTON_TEXT_CONNECT)) / 2;
219             int y2 = ((getHeight() - metrics.getHeight()) / 2) +
220 metrics.getAscent();
221             g2.setFont(UIUtils.FONT_GENERAL_UI);
222             g2.setColor(connectColors[1]);
223             g2.drawString(UIUtils.BUTTON_TEXT_CONNECT, x2, y2);
224         }
225     }
```

```

222     };
223
224     connectButton.addMouseListener(new MouseAdapter() {
225
226         @Override
227         public void mousePressed(MouseEvent e) {
228             loginEventHandler();
229         }
230
231         @Override
232         public void mouseEntered(MouseEvent e) {
233             connectColors[0] = UIUtils.COLOR_INTERACTIVE_DARKER;
234             connectColors[1] = UIUtils.OFFWHITE;
235             connectButton.repaint();
236         }
237
238         @Override
239         public void mouseExited(MouseEvent e) {
240             connectColors[0] = UIUtils.COLOR_INTERACTIVE;
241             connectColors[1] = Color.white;
242             connectButton.repaint();
243         }
244     });
245
246     connectButton.setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);
247     connectButton.setBounds(473, 247, 250, 44);
248     connectButton.setCursor(Cursor.getPredefinedCursor(Cursor.HAND_CURSOR));
249     panel1.add(connectButton);
250 }
251
252 private void loginEventHandler() {
253     // hier Connect Code reinschreiben
254     toaster.warn("Login event");
255 }
256

```

Listing A.11: main/ConnectUI.java

```

1 package components;
2
3 import javax.swing.SwingUtilities;
4 import javax.swing.JFrame;

```

```
5 import javax.swing.JPanel;
6 import javax.swing.JComponent;
7
8 import java.awt.BorderLayout;
9 import java.awt.Graphics;
10 import java.awt.Color;
11 import java.awt.Dimension;
12 import javax.swing.border.EmptyBorder;
13
14 public class SpeedMeter extends JComponent {
15     private int meterWidth = 10;
16
17     private float speed = 0f;
18     private boolean breaks = false;
19     private boolean colorfade = false;
20
21     private Color background = Color.LIGHT_GRAY;
22     private Color border = Color.BLACK;
23     private Color fill = Color.GREEN;
24     private Color maxSpeedFill = Color.ORANGE;
25     private Color breakfill = Color.RED;
26
27
28     public void setSpeed(float speed) {
29         this.speed = speed;
30         repaint();
31     }
32
33     public void setBreaks(boolean breaks) {
34         this.breaks = breaks;
35         repaint();
36     }
37
38     public void setColorfade(boolean colorfade) {
39         this.colorfade = colorfade;
40     }
41
42     public void setMaxSpeedFill(Color maxSpeedFill) {
43         this.maxSpeedFill = maxSpeedFill;
44     }
45
46     public boolean isColorfade() {
47         return colorfade;
```

```
48     }
49
50     public Color getMaxSpeedFill() {
51         return maxSpeedFill;
52     }
53
54     public void toggleBreaks() {
55         setBreaks(!breaks);
56     }
57
58     public void setMeterWidth(int meterWidth) {
59         this.meterWidth = meterWidth;
60     }
61
62     public void setBackgroundFill(Color background) {
63         this.background = background;
64         repaint();
65     }
66
67     public void setBorderFill(Color border) {
68         this.border = border;
69         repaint();
70     }
71
72     public void setFill(Color fill) {
73         this.fill = fill;
74         repaint();
75     }
76
77     public void setBreakfill(Color breakfill) {
78         this.breakfill = breakfill;
79         repaint();
80     }
81
82     public Color getBackgroundFill() {
83         return background;
84     }
85
86     public Color getBorderFill() {
87         return border;
88     }
89
90     public Color getFill() {
```

```
91         return fill;
92     }
93
94     public Color getBreakfill() {
95         return breakfill;
96     }
97
98     @Override
99     protected void paintComponent(Graphics g) {
100         int w = Math.min(meterWidth, getWidth());
101         int h = getHeight();
102         int x = getWidth() / 2 - w / 2;
103         int y = 0;
104
105         g.setColor(background);
106         g.fillRect(x, y, w, h);
107
108         g.setColor(border);
109         g.drawRect(x, y, w - 1, h - 1);
110
111         int a = Math.round(speed * (h - 2));
112         if (colorfade)
113             g.setColor(new Color(Math.min(fill.getRed() +
114                 Math.round((maxSpeedFill.getRed() - fill.getRed()) * (Math.abs(speed))), 255),
115                 Math.min(fill.getGreen() + Math.round((maxSpeedFill.getGreen() -
116                 fill.getGreen()) * (Math.abs(speed))), 255),
117                 Math.min(fill.getBlue() + Math.round((maxSpeedFill.getBlue() -
118                 fill.getBlue()) * (Math.abs(speed))), 255),
119                 Math.min(fill.getAlpha() + Math.round((maxSpeedFill.getAlpha() -
120                 fill.getAlpha()) * (Math.abs(speed))), 255)));
121         else
122             g.setColor(fill);
123         if (a > 0)
124             g.fillRect(x + 1, y + h / 2 - a / 2, w - 2, a / 2);
125         else
126             g.fillRect(x + 1, y + h / 2 - 1, w - 2, -(a / 2) + 1);
127
128         int p = Math.round(h / 2);
129         g.setColor(breakfill);
130         g.drawLine(x + 1, y + h - 1 - p, x + w - 1, y + h - 1 - p);
131
132         if (breaks) {
133             g.setColor(breakfill);
134             g.fillRect(x + 1, y + h - 1 - p, w - 2, 1);
135         }
136     }
137
138     public void setBreakfill(Color c) {
139         breakfill = c;
140     }
141
142     public void setBreaks(boolean b) {
143         breaks = b;
144     }
145
146     public void setSpeed(int s) {
147         speed = s;
148     }
149
150     public void setWidth(int w) {
151         meterWidth = w;
152     }
153
154     public void setHeight(int h) {
155         meterHeight = h;
156     }
157
158     public void setAlpha(int a) {
159         alpha = a;
160     }
161
162     public void setRed(int r) {
163         red = r;
164     }
165
166     public void setGreen(int g) {
167         green = g;
168     }
169
170     public void setBlue(int b) {
171         blue = b;
172     }
173
174     public void setBackground(int r, int g, int b) {
175         background = new Color(r, g, b);
176     }
177
178     public void setBorder(int r, int g, int b) {
179         border = new Color(r, g, b);
180     }
181
182     public void setFill(int r, int g, int b) {
183         fill = new Color(r, g, b);
184     }
185
186     public void setBreakfill(int r, int g, int b) {
187         breakfill = new Color(r, g, b);
188     }
189
190     public void setColorfade(boolean b) {
191         colorfade = b;
192     }
193
194     public void setMaxSpeedFill(int r, int g, int b) {
195         maxSpeedFill = new Color(r, g, b);
196     }
197
198     public void setSpeedFill(int r, int g, int b) {
199         speedFill = new Color(r, g, b);
200     }
201
202     public void setAlphaFill(int a) {
203         alphaFill = a;
204     }
205
206     public void setRedFill(int r) {
207         redFill = r;
208     }
209
210     public void setGreenFill(int g) {
211         greenFill = g;
212     }
213
214     public void setBlueFill(int b) {
215         blueFill = b;
216     }
217
218     public void setWidthFill(int w) {
219         meterWidthFill = w;
220     }
221
222     public void setHeightFill(int h) {
223         meterHeightFill = h;
224     }
225
226     public void setAlphaFill(int a) {
227         alphaFill = a;
228     }
229
230     public void setRedFill(int r) {
231         redFill = r;
232     }
233
234     public void setGreenFill(int g) {
235         greenFill = g;
236     }
237
238     public void setBlueFill(int b) {
239         blueFill = b;
240     }
241
242     public void setWidthFill(int w) {
243         meterWidthFill = w;
244     }
245
246     public void setHeightFill(int h) {
247         meterHeightFill = h;
248     }
249
250     public void setAlphaFill(int a) {
251         alphaFill = a;
252     }
253
254     public void setRedFill(int r) {
255         redFill = r;
256     }
257
258     public void setGreenFill(int g) {
259         greenFill = g;
260     }
261
262     public void setBlueFill(int b) {
263         blueFill = b;
264     }
265
266     public void setWidthFill(int w) {
267         meterWidthFill = w;
268     }
269
270     public void setHeightFill(int h) {
271         meterHeightFill = h;
272     }
273
274     public void setAlphaFill(int a) {
275         alphaFill = a;
276     }
277
278     public void setRedFill(int r) {
279         redFill = r;
280     }
281
282     public void setGreenFill(int g) {
283         greenFill = g;
284     }
285
286     public void setBlueFill(int b) {
287         blueFill = b;
288     }
289
290     public void setWidthFill(int w) {
291         meterWidthFill = w;
292     }
293
294     public void setHeightFill(int h) {
295         meterHeightFill = h;
296     }
297
298     public void setAlphaFill(int a) {
299         alphaFill = a;
300     }
301
302     public void setRedFill(int r) {
303         redFill = r;
304     }
305
306     public void setGreenFill(int g) {
307         greenFill = g;
308     }
309
310     public void setBlueFill(int b) {
311         blueFill = b;
312     }
313
314     public void setWidthFill(int w) {
315         meterWidthFill = w;
316     }
317
318     public void setHeightFill(int h) {
319         meterHeightFill = h;
320     }
321
322     public void setAlphaFill(int a) {
323         alphaFill = a;
324     }
325
326     public void setRedFill(int r) {
327         redFill = r;
328     }
329
330     public void setGreenFill(int g) {
331         greenFill = g;
332     }
333
334     public void setBlueFill(int b) {
335         blueFill = b;
336     }
337
338     public void setWidthFill(int w) {
339         meterWidthFill = w;
340     }
341
342     public void setHeightFill(int h) {
343         meterHeightFill = h;
344     }
345
346     public void setAlphaFill(int a) {
347         alphaFill = a;
348     }
349
350     public void setRedFill(int r) {
351         redFill = r;
352     }
353
354     public void setGreenFill(int g) {
355         greenFill = g;
356     }
357
358     public void setBlueFill(int b) {
359         blueFill = b;
360     }
361
362     public void setWidthFill(int w) {
363         meterWidthFill = w;
364     }
365
366     public void setHeightFill(int h) {
367         meterHeightFill = h;
368     }
369
370     public void setAlphaFill(int a) {
371         alphaFill = a;
372     }
373
374     public void setRedFill(int r) {
375         redFill = r;
376     }
377
378     public void setGreenFill(int g) {
379         greenFill = g;
380     }
381
382     public void setBlueFill(int b) {
383         blueFill = b;
384     }
385
386     public void setWidthFill(int w) {
387         meterWidthFill = w;
388     }
389
390     public void setHeightFill(int h) {
391         meterHeightFill = h;
392     }
393
394     public void setAlphaFill(int a) {
395         alphaFill = a;
396     }
397
398     public void setRedFill(int r) {
399         redFill = r;
400     }
401
402     public void setGreenFill(int g) {
403         greenFill = g;
404     }
405
406     public void setBlueFill(int b) {
407         blueFill = b;
408     }
409
410     public void setWidthFill(int w) {
411         meterWidthFill = w;
412     }
413
414     public void setHeightFill(int h) {
415         meterHeightFill = h;
416     }
417
418     public void setAlphaFill(int a) {
419         alphaFill = a;
420     }
421
422     public void setRedFill(int r) {
423         redFill = r;
424     }
425
426     public void setGreenFill(int g) {
427         greenFill = g;
428     }
429
430     public void setBlueFill(int b) {
431         blueFill = b;
432     }
433
434     public void setWidthFill(int w) {
435         meterWidthFill = w;
436     }
437
438     public void setHeightFill(int h) {
439         meterHeightFill = h;
440     }
441
442     public void setAlphaFill(int a) {
443         alphaFill = a;
444     }
445
446     public void setRedFill(int r) {
447         redFill = r;
448     }
449
450     public void setGreenFill(int g) {
451         greenFill = g;
452     }
453
454     public void setBlueFill(int b) {
455         blueFill = b;
456     }
457
458     public void setWidthFill(int w) {
459         meterWidthFill = w;
460     }
461
462     public void setHeightFill(int h) {
463         meterHeightFill = h;
464     }
465
466     public void setAlphaFill(int a) {
467         alphaFill = a;
468     }
469
470     public void setRedFill(int r) {
471         redFill = r;
472     }
473
474     public void setGreenFill(int g) {
475         greenFill = g;
476     }
477
478     public void setBlueFill(int b) {
479         blueFill = b;
480     }
481
482     public void setWidthFill(int w) {
483         meterWidthFill = w;
484     }
485
486     public void setHeightFill(int h) {
487         meterHeightFill = h;
488     }
489
490     public void setAlphaFill(int a) {
491         alphaFill = a;
492     }
493
494     public void setRedFill(int r) {
495         redFill = r;
496     }
497
498     public void setGreenFill(int g) {
499         greenFill = g;
500     }
501
502     public void setBlueFill(int b) {
503         blueFill = b;
504     }
505
506     public void setWidthFill(int w) {
507         meterWidthFill = w;
508     }
509
510     public void setHeightFill(int h) {
511         meterHeightFill = h;
512     }
513
514     public void setAlphaFill(int a) {
515         alphaFill = a;
516     }
517
518     public void setRedFill(int r) {
519         redFill = r;
520     }
521
522     public void setGreenFill(int g) {
523         greenFill = g;
524     }
525
526     public void setBlueFill(int b) {
527         blueFill = b;
528     }
529
530     public void setWidthFill(int w) {
531         meterWidthFill = w;
532     }
533
534     public void setHeightFill(int h) {
535         meterHeightFill = h;
536     }
537
538     public void setAlphaFill(int a) {
539         alphaFill = a;
540     }
541
542     public void setRedFill(int r) {
543         redFill = r;
544     }
545
546     public void setGreenFill(int g) {
547         greenFill = g;
548     }
549
550     public void setBlueFill(int b) {
551         blueFill = b;
552     }
553
554     public void setWidthFill(int w) {
555         meterWidthFill = w;
556     }
557
558     public void setHeightFill(int h) {
559         meterHeightFill = h;
560     }
561
562     public void setAlphaFill(int a) {
563         alphaFill = a;
564     }
565
566     public void setRedFill(int r) {
567         redFill = r;
568     }
569
570     public void setGreenFill(int g) {
571         greenFill = g;
572     }
573
574     public void setBlueFill(int b) {
575         blueFill = b;
576     }
577
578     public void setWidthFill(int w) {
579         meterWidthFill = w;
580     }
581
582     public void setHeightFill(int h) {
583         meterHeightFill = h;
584     }
585
586     public void setAlphaFill(int a) {
587         alphaFill = a;
588     }
589
590     public void setRedFill(int r) {
591         redFill = r;
592     }
593
594     public void setGreenFill(int g) {
595         greenFill = g;
596     }
597
598     public void setBlueFill(int b) {
599         blueFill = b;
600     }
601
602     public void setWidthFill(int w) {
603         meterWidthFill = w;
604     }
605
606     public void setHeightFill(int h) {
607         meterHeightFill = h;
608     }
609
610     public void setAlphaFill(int a) {
611         alphaFill = a;
612     }
613
614     public void setRedFill(int r) {
615         redFill = r;
616     }
617
618     public void setGreenFill(int g) {
619         greenFill = g;
620     }
621
622     public void setBlueFill(int b) {
623         blueFill = b;
624     }
625
626     public void setWidthFill(int w) {
627         meterWidthFill = w;
628     }
629
630     public void setHeightFill(int h) {
631         meterHeightFill = h;
632     }
633
634     public void setAlphaFill(int a) {
635         alphaFill = a;
636     }
637
638     public void setRedFill(int r) {
639         redFill = r;
640     }
641
642     public void setGreenFill(int g) {
643         greenFill = g;
644     }
645
646     public void setBlueFill(int b) {
647         blueFill = b;
648     }
649
650     public void setWidthFill(int w) {
651         meterWidthFill = w;
652     }
653
654     public void setHeightFill(int h) {
655         meterHeightFill = h;
656     }
657
658     public void setAlphaFill(int a) {
659         alphaFill = a;
660     }
661
662     public void setRedFill(int r) {
663         redFill = r;
664     }
665
666     public void setGreenFill(int g) {
667         greenFill = g;
668     }
669
670     public void setBlueFill(int b) {
671         blueFill = b;
672     }
673
674     public void setWidthFill(int w) {
675         meterWidthFill = w;
676     }
677
678     public void setHeightFill(int h) {
679         meterHeightFill = h;
680     }
681
682     public void setAlphaFill(int a) {
683         alphaFill = a;
684     }
685
686     public void setRedFill(int r) {
687         redFill = r;
688     }
689
690     public void setGreenFill(int g) {
691         greenFill = g;
692     }
693
694     public void setBlueFill(int b) {
695         blueFill = b;
696     }
697
698     public void setWidthFill(int w) {
699         meterWidthFill = w;
700     }
701
702     public void setHeightFill(int h) {
703         meterHeightFill = h;
704     }
705
706     public void setAlphaFill(int a) {
707         alphaFill = a;
708     }
709
710     public void setRedFill(int r) {
711         redFill = r;
712     }
713
714     public void setGreenFill(int g) {
715         greenFill = g;
716     }
717
718     public void setBlueFill(int b) {
719         blueFill = b;
720     }
721
722     public void setWidthFill(int w) {
723         meterWidthFill = w;
724     }
725
726     public void setHeightFill(int h) {
727         meterHeightFill = h;
728     }
729
730     public void setAlphaFill(int a) {
731         alphaFill = a;
732     }
733
734     public void setRedFill(int r) {
735         redFill = r;
736     }
737
738     public void setGreenFill(int g) {
739         greenFill = g;
740     }
741
742     public void setBlueFill(int b) {
743         blueFill = b;
744     }
745
746     public void setWidthFill(int w) {
747         meterWidthFill = w;
748     }
749
750     public void setHeightFill(int h) {
751         meterHeightFill = h;
752     }
753
754     public void setAlphaFill(int a) {
755         alphaFill = a;
756     }
757
758     public void setRedFill(int r) {
759         redFill = r;
760     }
761
762     public void setGreenFill(int g) {
763         greenFill = g;
764     }
765
766     public void setBlueFill(int b) {
767         blueFill = b;
768     }
769
770     public void setWidthFill(int w) {
771         meterWidthFill = w;
772     }
773
774     public void setHeightFill(int h) {
775         meterHeightFill = h;
776     }
777
778     public void setAlphaFill(int a) {
779         alphaFill = a;
780     }
781
782     public void setRedFill(int r) {
783         redFill = r;
784     }
785
786     public void setGreenFill(int g) {
787         greenFill = g;
788     }
789
790     public void setBlueFill(int b) {
791         blueFill = b;
792     }
793
794     public void setWidthFill(int w) {
795         meterWidthFill = w;
796     }
797
798     public void setHeightFill(int h) {
799         meterHeightFill = h;
800     }
801
802     public void setAlphaFill(int a) {
803         alphaFill = a;
804     }
805
806     public void setRedFill(int r) {
807         redFill = r;
808     }
809
810     public void setGreenFill(int g) {
811         greenFill = g;
812     }
813
814     public void setBlueFill(int b) {
815         blueFill = b;
816     }
817
818     public void setWidthFill(int w) {
819         meterWidthFill = w;
820     }
821
822     public void setHeightFill(int h) {
823         meterHeightFill = h;
824     }
825
826     public void setAlphaFill(int a) {
827         alphaFill = a;
828     }
829
830     public void setRedFill(int r) {
831         redFill = r;
832     }
833
834     public void setGreenFill(int g) {
835         greenFill = g;
836     }
837
838     public void setBlueFill(int b) {
839         blueFill = b;
840     }
841
842     public void setWidthFill(int w) {
843         meterWidthFill = w;
844     }
845
846     public void setHeightFill(int h) {
847         meterHeightFill = h;
848     }
849
850     public void setAlphaFill(int a) {
851         alphaFill = a;
852     }
853
854     public void setRedFill(int r) {
855         redFill = r;
856     }
857
858     public void setGreenFill(int g) {
859         greenFill = g;
860     }
861
862     public void setBlueFill(int b) {
863         blueFill = b;
864     }
865
866     public void setWidthFill(int w) {
867         meterWidthFill = w;
868     }
869
870     public void setHeightFill(int h) {
871         meterHeightFill = h;
872     }
873
874     public void setAlphaFill(int a) {
875         alphaFill = a;
876     }
877
878     public void setRedFill(int r) {
879         redFill = r;
880     }
881
882     public void setGreenFill(int g) {
883         greenFill = g;
884     }
885
886     public void setBlueFill(int b) {
887         blueFill = b;
888     }
889
890     public void setWidthFill(int w) {
891         meterWidthFill = w;
892     }
893
894     public void setHeightFill(int h) {
895         meterHeightFill = h;
896     }
897
898     public void setAlphaFill(int a) {
899         alphaFill = a;
900     }
901
902     public void setRedFill(int r) {
903         redFill = r;
904     }
905
906     public void setGreenFill(int g) {
907         greenFill = g;
908     }
909
910     public void setBlueFill(int b) {
911         blueFill = b;
912     }
913
914     public void setWidthFill(int w) {
915         meterWidthFill = w;
916     }
917
918     public void setHeightFill(int h) {
919         meterHeightFill = h;
920     }
921
922     public void setAlphaFill(int a) {
923         alphaFill = a;
924     }
925
926     public void setRedFill(int r) {
927         redFill = r;
928     }
929
930     public void setGreenFill(int g) {
931         greenFill = g;
932     }
933
934     public void setBlueFill(int b) {
935         blueFill = b;
936     }
937
938     public void setWidthFill(int w) {
939         meterWidthFill = w;
940     }
941
942     public void setHeightFill(int h) {
943         meterHeightFill = h;
944     }
945
946     public void setAlphaFill(int a) {
947         alphaFill = a;
948     }
949
950     public void setRedFill(int r) {
951         redFill = r;
952     }
953
954     public void setGreenFill(int g) {
955         greenFill = g;
956     }
957
958     public void setBlueFill(int b) {
959         blueFill = b;
960     }
961
962     public void setWidthFill(int w) {
963         meterWidthFill = w;
964     }
965
966     public void setHeightFill(int h) {
967         meterHeightFill = h;
968     }
969
970     public void setAlphaFill(int a) {
971         alphaFill = a;
972     }
973
974     public void setRedFill(int r) {
975         redFill = r;
976     }
977
978     public void setGreenFill(int g) {
979         greenFill = g;
980     }
981
982     public void setBlueFill(int b) {
983         blueFill = b;
984     }
985
986     public void setWidthFill(int w) {
987         meterWidthFill = w;
988     }
989
990     public void setHeightFill(int h) {
991         meterHeightFill = h;
992     }
993
994     public void setAlphaFill(int a) {
995         alphaFill = a;
996     }
997
998     public void setRedFill(int r) {
999         redFill = r;
1000    }
1001
1002    public void setGreenFill(int g) {
1003        greenFill = g;
1004    }
1005
1006    public void setBlueFill(int b) {
1007        blueFill = b;
1008    }
1009
1010    public void setWidthFill(int w) {
1011        meterWidthFill = w;
1012    }
1013
1014    public void setHeightFill(int h) {
1015        meterHeightFill = h;
1016    }
1017
1018    public void setAlphaFill(int a) {
1019        alphaFill = a;
1020    }
1021
1022    public void setRedFill(int r) {
1023        redFill = r;
1024    }
1025
1026    public void setGreenFill(int g) {
1027        greenFill = g;
1028    }
1029
1030    public void setBlueFill(int b) {
1031        blueFill = b;
1032    }
1033
1034    public void setWidthFill(int w) {
1035        meterWidthFill = w;
1036    }
1037
1038    public void setHeightFill(int h) {
1039        meterHeightFill = h;
1040    }
1041
1042    public void setAlphaFill(int a) {
1043        alphaFill = a;
1044    }
1045
1046    public void setRedFill(int r) {
1047        redFill = r;
1048    }
1049
1050    public void setGreenFill(int g) {
1051        greenFill = g;
1052    }
1053
1054    public void setBlueFill(int b) {
1055        blueFill = b;
1056    }
1057
1058    public void setWidthFill(int w) {
1059        meterWidthFill = w;
1060    }
1061
1062    public void setHeightFill(int h) {
1063        meterHeightFill = h;
1064    }
1065
1066    public void setAlphaFill(int a) {
1067        alphaFill = a;
1068    }
1069
1070    public void setRedFill(int r) {
1071        redFill = r;
1072    }
1073
1074    public void setGreenFill(int g) {
1075        greenFill = g;
1076    }
1077
1078    public void setBlueFill(int b) {
1079        blueFill = b;
1080    }
1081
1082    public void setWidthFill(int w) {
1083        meterWidthFill = w;
1084    }
1085
1086    public void setHeightFill(int h) {
1087        meterHeightFill = h;
1088    }
1089
1090    public void setAlphaFill(int a) {
1091        alphaFill = a;
1092    }
1093
1094    public void setRedFill(int r) {
1095        redFill = r;
1096    }
1097
1098    public void setGreenFill(int g) {
1099        greenFill = g;
1100    }
1101
1102    public void setBlueFill(int b) {
1103        blueFill = b;
1104    }
1105
1106    public void setWidthFill(int w) {
1107        meterWidthFill = w;
1108    }
1109
1110    public void setHeightFill(int h) {
1111        meterHeightFill = h;
1112    }
1113
1114    public void setAlphaFill(int a) {
1115        alphaFill = a;
1116    }
1117
1118    public void setRedFill(int r) {
1119        redFill = r;
1120    }
1121
1122    public void setGreenFill(int g) {
1123        greenFill = g;
1124    }
1125
1126    public void setBlueFill(int b) {
1127        blueFill = b;
1128    }
1129
1130    public void setWidthFill(int w) {
1131        meterWidthFill = w;
1132    }
1133
1134    public void setHeightFill(int h) {
1135        meterHeightFill = h;
1136    }
1137
1138    public void setAlphaFill(int a) {
1139        alphaFill = a;
1140    }
1141
1142    public void setRedFill(int r) {
1143        redFill = r;
1144    }
1145
1146    public void setGreenFill(int g) {
1147        greenFill = g;
1148    }
1149
1150    public void setBlueFill(int b) {
1151        blueFill = b;
1152    }
1153
1154    public void setWidthFill(int w) {
1155        meterWidthFill = w;
1156    }
1157
1158    public void setHeightFill(int h) {
1159        meterHeightFill = h;
1160    }
1161
1162    public void setAlphaFill(int a) {
1163        alphaFill = a;
1164    }
1165
1166    public void setRedFill(int r) {
1167        redFill = r;
1168    }
1169
1170    public void setGreenFill(int g) {
1171        greenFill = g;
1172    }
1173
1174    public void setBlueFill(int b) {
1175        blueFill = b;
1176    }
1177
1178    public void setWidthFill(int w) {
1179        meterWidthFill = w;
1180    }
1181
1182    public void setHeightFill(int h) {
1183        meterHeightFill = h;
1184    }
1185
1186    public void setAlphaFill(int a) {
1187        alphaFill = a;
1188    }
1189
1190    public void setRedFill(int r) {
1191        redFill = r;
1192    }
1193
1194    public void setGreenFill(int g) {
1195        greenFill = g;
1196    }
1197
1198    public void setBlueFill(int b) {
1199        blueFill = b;
1200    }
1201
1202    public void setWidthFill(int w) {
1203        meterWidthFill = w;
1204    }
1205
1206    public void setHeightFill(int h) {
1207        meterHeightFill = h;
1208    }
1209
1210    public void setAlphaFill(int a) {
1211        alphaFill = a;
1212    }
1213
1214    public void setRedFill(int r) {
1215        redFill = r;
1216    }
1217
1218    public void setGreenFill(int g) {
1219        greenFill = g;
1220    }
1221
1222    public void setBlueFill(int b) {
1223        blueFill = b;
1224    }
1225
1226    public void setWidthFill(int w) {
1227        meterWidthFill = w;
1228    }
1229
1230    public void setHeightFill(int h) {
1231        meterHeightFill = h;
1232    }
1233
1234    public void setAlphaFill(int a) {
1235        alphaFill = a;
1236    }
1237
1238    public void setRedFill(int r) {
1239        redFill = r;
1240    }
1241
1242    public void setGreenFill(int g) {
1243        greenFill = g;
1244    }
1245
1246    public void setBlueFill(int b) {
1247        blueFill = b;
1248    }
1249
1250    public void setWidthFill(int w) {
1251        meterWidthFill = w;
1252    }
1253
1254    public void setHeightFill(int h) {
1255        meterHeightFill = h;
1256    }
1257
1258    public void setAlphaFill(int a) {
1259        alphaFill = a;
1260    }
1261
1262    public void setRedFill(int r) {
1263        redFill = r;
1264    }
1265
1266    public void setGreenFill(int g) {
1267        greenFill = g;
1268    }
1269
1270    public void setBlueFill(int b) {
1271        blueFill = b;
1272    }
1273
1274    public void setWidthFill(int w) {
1275        meterWidthFill = w;
1276    }
1277
1278    public void setHeightFill(int h) {
1279        meterHeightFill = h;
1280    }
1281
1282    public void setAlphaFill(int a) {
1283        alphaFill = a;
1284    }
1285
1286    public void setRedFill(int r) {
1287        redFill = r;
1288    }
1289
1290    public void setGreenFill(int g) {
1291        greenFill = g;
1292    }
1293
1294    public void setBlueFill(int b) {
1295        blueFill = b;
1296    }
1297
1298    public void setWidthFill(int w) {
1299        meterWidthFill = w;
1300    }
1301
1302    public void setHeightFill(int h) {
1303        meterHeightFill = h;
1304    }
1305
1306    public void setAlphaFill(int a) {
1307        alphaFill = a;
1308    }
1309
1310    public void setRedFill(int r) {
1311        redFill = r;
1312    }
1313
1314    public void setGreenFill(int g) {
1315        greenFill = g;
1316    }
1317
1318    public void setBlueFill(int b) {
1319        blueFill = b;
1320    }
1321
1322    public void setWidthFill(int w) {
1323        meterWidthFill = w;
1324    }
1325
1326    public void setHeightFill(int h) {
1327        meterHeightFill = h;
1328    }
1329
1330    public void setAlphaFill(int a) {
1331        alphaFill = a;
1332    }
1333
1334    public void setRedFill(int r) {
1335        redFill = r;
1336    }
1337
1338    public void setGreenFill(int g) {
1339        greenFill = g;
1340    }
1341
1342    public void setBlueFill(int b) {
1343        blueFill = b;
1344    }
1345
1346    public void setWidthFill(int w) {
1347        meterWidthFill = w;
1348    }
1349
1350    public void setHeightFill(int h) {
1351        meterHeightFill = h;
1352    }
1353
1354    public void setAlphaFill(int a) {
1355        alphaFill = a;
1356    }
1357
1358    public void setRedFill(int r) {
1359        redFill = r;
1360    }
1361
1362    public void setGreenFill(int g) {
1363        greenFill = g;
1364    }
1365
1366    public void setBlueFill(int b) {
1367        blueFill = b;
1368    }
1369
1370    public void setWidthFill(int w) {
1371        meterWidthFill = w;
1372    }
1373
1374    public void setHeightFill(int h) {
1375        meterHeightFill = h;
1376    }
1377
1378    public void setAlphaFill(int a) {
1379        alphaFill = a;
1380    }
1381
1382    public void setRedFill(int r) {
1383        redFill = r;
1384    }
1385
1386    public void setGreenFill(int g) {
1387        greenFill = g;
1388    }
1389
1390    public void setBlueFill(int b) {
1391        blueFill = b;
1392    }
1393
1394    public void setWidthFill(int w) {
1395        meterWidthFill = w;
1396    }
1397
1398    public void setHeightFill(int h) {
1399        meterHeightFill = h;
1400    }
1401
1402    public void setAlphaFill(int a) {
1403        alphaFill = a;
1404    }
1405
1406    public void setRedFill(int r) {
1407        redFill = r;
1408    }
1409
1410    public void setGreenFill(int g) {
1411        greenFill = g;
1412    }
1413
1414    public void setBlueFill(int b) {
1415        blueFill = b;
1416    }
1417
1418    public void
```

```
130         g.fillRect(x + 1, y + 1, w - 2, h / 6);
131         g.fillRect(x + 1, y + h - 1 - h / 6, w - 2, h / 6);
132     }
133 }
134
135 @Override
136 public Dimension getMinimumSize() {
137     Dimension min = super.getMinimumSize();
138     if (min.width < meterWidth)
139         min.width = meterWidth;
140     if (min.height < meterWidth)
141         min.height = meterWidth;
142     return min;
143 }
144
145 @Override
146 public Dimension getPreferredSize() {
147     Dimension pref = super.getPreferredSize();
148     pref.width = meterWidth;
149     return pref;
150 }
151
152 @Override
153 public void setPreferredSize(Dimension pref) {
154     super.setPreferredSize(pref);
155     setMeterWidth(pref.width);
156 }
157
158 public static void main(String[] args) {
159     SwingUtilities.invokeLater(() -> {
160         JFrame frame = new JFrame("Meter");
161         frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
162
163         JPanel content = new JPanel(new BorderLayout());
164         content.setBorder(new EmptyBorder(25, 50, 25, 50));
165
166         SpeedMeter meter = new SpeedMeter();
167         meter.setPreferredSize(new Dimension(9, 100));
168         content.add(meter, BorderLayout.CENTER);
169
170         frame.setContentPane(content);
171         frame.pack();
172         frame.setLocationRelativeTo(null);
```

```
173         frame.setVisible(true);
174
175         new Thread(new SpeedTester(meter)).start();
176     });
177 }
178
179 static class SpeedTester implements Runnable {
180     final SpeedMeter meter;
181
182     SpeedTester(final SpeedMeter meter) {
183         this.meter = meter;
184     }
185
186     @Override
187     public void run() {
188         meter.setColorfade(true);
189         float speed = 0;
190         while (true) {
191             if (speed > 1) {
192                 speed = -1;
193                 meter.toggleBreaks();
194                 try {
195                     Thread.sleep(1000);
196                 } catch (InterruptedException e) {
197                     e.printStackTrace();
198                 }
199             } else
200                 speed += 0.01;
201             meter.setSpeed(speed);
202             meter.setBreaks(false);
203             try {
204                 Thread.sleep(20);
205             } catch (InterruptedException e) {
206                 e.printStackTrace();
207             }
208         }
209     }
210 }
211 }
```

Listing A.12: components/SpeedMeter.java

```
1 package Toaster;
2
3 import javax.swing.*;
4 import java.awt.*;
5 import java.awt.event.MouseAdapter;
6 import java.awt.event.MouseEvent;
7 import java.util.ArrayList;
8 import java.util.concurrent.atomic.AtomicInteger;
9
10 public class Toaster {
11     private static final int STARTING_Y_POS = 15;
12     private static final int SPACER_DISTANCE = 15;
13     private static final ArrayList<ToasterBody> toasterBodies = new ArrayList<>();
14     private final static AtomicInteger CURRENT_Y_OFFSET = new AtomicInteger();
15     private final JPanel panelToToastOn;
16
17     public Toaster(JPanel panelToToastOn) {
18         this.panelToToastOn = panelToToastOn;
19     }
20
21     public void error(String... messages) {
22         for (String s : messages) {
23             toast(s, new Color(181, 59, 86));
24         }
25     }
26
27     public void success(String... messages) {
28         for (String s : messages) {
29             toast(s, new Color(33, 181, 83));
30         }
31     }
32
33     public void info(String... messages) {
34         for (String s : messages) {
35             toast(s, new Color(13, 116, 181));
36         }
37     }
38
39     public void warn(String... messages) {
40         for (String s : messages) {
41             toast(s, new Color(181, 147, 10));
42         }
43     }
44 }
```

```
44
45     private void toast(String message, Color bgColor) {
46         ToasterBody toasterBody;
47
48         if (toasterBodies.isEmpty()) {
49             toasterBody = new ToasterBody(panelToToastOn, message, bgColor,
50             STARTING_Y_POS);
51             CURRENT_Y_OFFSET.set(STARTING_Y_POS + toasterBody.getHeightOfToast());
52         } else {
53             toasterBody = new ToasterBody(panelToToastOn, message, bgColor,
54             CURRENT_Y_OFFSET.get() + SPACER_DISTANCE);
55             CURRENT_Y_OFFSET.addAndGet(SPACER_DISTANCE +
56             toasterBody.getHeightOfToast());
57         }
58
59         toasterBodies.add(toasterBody);
60
61         new Thread(() -> {
62             toasterBody.addMouseListener(new MouseAdapter() {
63                 @Override
64                 public void mousePressed(MouseEvent e) {
65                     removeToast(toasterBody);
66                 }
67             });
68
69             try {
70                 Thread.sleep(6000);
71                 removeToast(toasterBody);
72             } catch (InterruptedException e) {
73                 e.printStackTrace();
74             }
75         }).start();
76     }
77
78     private synchronized void removeToast(ToasterBody toasterBody) {
79         if (!toasterBody.getStopDisplaying()) {
80             toasterBody.setStopDisplaying(true);
81
82             toasterBodies.forEach(toasterBody1 -> {
```

```
83         if (toasterBodies.indexOf(toasterBody1) >=
84             toasterBodies.indexOf(toasterBody)) {
85             toasterBody1.setyPos(toasterBody1.getyPos() -
86             toasterBody.getHeightOfToast() - SPACER_DISTANCE);
87         }
88     });
89
90     toasterBodies.remove(toasterBody);
91
92     CURRENT_Y_OFFSET.set(CURRENT_Y_OFFSET.get() - SPACER_DISTANCE -
93     toasterBody.getHeightOfToast());
94
95     panelToToastOn.remove(toasterBody);
96     panelToToastOn.repaint();
97 }
98 }
```

Listing A.13: Toaster/Toaster.java

```
1 package Toaster;
2
3 import Utils.UIUtils;
4
5 import javax.swing.*;
6 import java.awt.*;
7
8 class ToasterBody extends JPanel {
9     /**
10      *
11     */
12     private static final long serialVersionUID = 1L;
13     private static final int TOAST_PADDING = 15;
14     private final int toastWidth;
15     private final String message;
16     private final Color c;
17     private volatile boolean stopDisplaying;
18     private int heightOfToast, stringPosX, stringPosY, yPos;
19     private JPanel panelToToastOn;
20
21     public ToasterBody(JPanel panelToToastOn, String message, Color bgColor, int
22     yPos) {
```

```
22     this.panelToToastOn = panelToToastOn;
23     this.message = message;
24     this.yPos = yPos;
25     this.c = bgColor;
26
27     FontMetrics metrics = getFontMetrics(UIUtils.FONT_GENERAL_UI);
28     int stringWidth = metrics.stringWidth(this.message);
29
30     toastWidth = stringWidth + (TOAST_PADDING * 2);
31     heightOfToast = metrics.getHeight() + TOAST_PADDING;
32     setCursor(Cursor.getPredefinedCursor(Cursor.HAND_CURSOR));
33     setOpaque(false);
34     setBounds((panelToToastOn.getWidth() - toastWidth) / 2, (int)
35 -(Math.round(heightOfToast / 10.0) * 10), toastWidth, heightOfToast);
36
37     stringPosX = (getWidth() - stringWidth) / 2;
38     stringPosY = ((getHeight() - metrics.getHeight()) / 2) +
39 metrics.getAscent();
40
41     new Thread(() -> {
42         while (getBounds().y < yPos) {
43             int i1 = (yPos - getBounds().y) / 10;
44             i1 = i1 <= 0 ? 1 : i1;
45             setBounds((panelToToastOn.getWidth() - toastWidth) / 2,
46             getBounds().y + i1, toastWidth, heightOfToast);
47             repaint();
48             try {
49                 Thread.sleep(5);
50             } catch (Exception ignored) {
51             }
52         }
53     }).start();
54 }
55
56 @Override
57 protected void paintComponent(Graphics g) {
58     Graphics2D g2 = UIUtils.get2dGraphics(g);
59     super.paintComponent(g2);
60
61     //Background
62     g2.setColor(c);
63     g2.fillRoundRect(0, 0, getWidth(), getHeight(), UIUtils.ROUNDNESS,
64 UIUtils.ROUNDNESS);
```

```
61         // Font
62         g2.setFont(UIUtils.FONT_GENERAL_UI);
63         g2.setColor(Color.white);
64         g2.drawString(message, stringPosX, stringPosY);
65     }
66
67
68     public int getHeightOfToast() {
69         return heightOfToast;
70     }
71
72     public synchronized boolean getStopDisplaying() {
73         return stopDisplaying;
74     }
75
76     public synchronized void setStopDisplaying(boolean hasStoppedDisplaying) {
77         this.stopDisplaying = hasStoppedDisplaying;
78     }
79
80     public void setyPos(int yPos) {
81         this.yPos = yPos;
82         // setBounds((panelToToastOn.getWidth() - toastWidth) / 2, yPos,
83         // toastWidth, heightOfToast);
84
85         new Thread(() -> {
86             while (getBounds().y > yPos) {
87                 int i1 = Math.abs((yPos - getBounds().y) / 10);
88                 i1 = i1 <= 0 ? 1 : i1;
89                 setBounds((panelToToastOn.getWidth() - toastWidth) / 2,
90                 getBounds().y - i1, toastWidth, heightOfToast);
91                 repaint();
92                 try {
93                     Thread.sleep(5);
94                 } catch (Exception ignored) {
95                 }
96             }
97         }).start();
98     }
99
100    public int getyPos() {
101        return yPos;
102    }
103}
```

Listing A.14: Toaster/ToasterBody.java

```
1 package Utils;  
2  
3 import java.awt.*;  
4 import java.util.HashMap;  
5  
6 public class UIUtils {  
7     public static final Font FONT_GENERAL_UI = new Font("Segoe UI", Font.PLAIN,  
8             20);  
9  
10    public static final Color COLOR_OUTLINE = new Color(103, 112, 120);  
11    public static final Color COLOR_BACKGROUND = new Color(37, 51, 61);  
12    public static final Color COLOR_INTERACTIVE = new Color(108, 216, 158);  
13    public static final Color COLOR_INTERACTIVE_DARKER = new Color(87, 171, 127);  
14    public static final Color OFFWHITE = new Color(229, 229, 229);  
15  
16    public static final String BUTTON_TEXT_CONNECT = "Connect";  
17  
18    public static final String Bild = "robot.png";  
19  
20    public static final String PLACEHOLDER_TEXT_IP = "IP Adresse";  
21    public static final String PLACEHOLDER_TEXT_PORT = "PORT";  
22  
23    public static final int ROUNDNESS = 8;  
24  
25    public static Graphics2D get2dGraphics(Graphics g) {  
26        Graphics2D g2 = (Graphics2D) g;  
27        g2.addRenderingHints(new HashMap<RenderingHints.Key, Object>() {/**  
28             *  
29             */  
30             private static final long serialVersionUID = 1L;  
31  
32             {  
33                 put(RenderingHints.KEY_ANTIALIASING,  
34                     RenderingHints.VALUE_ANTIALIAS_ON);  
35                 put(RenderingHints.KEY_TEXT_ANTIALIASING,  
36                     RenderingHints.VALUE_TEXT_ANTIALIAS_LCD_HRGB);  
37             }  
38             return g2;  
39         }  
40     }  
41 }
```

```
36     }
37 }
```

Listing A.15: Utils/UIUtils.java

```
1 package Utils;
2
3 import javax.swing.*;
4 import java.awt.*;
5 import java.awt.geom.RoundRectangle2D;
6
7
8 public class TextFieldIP extends JTextField {
9     /**
10      *
11     */
12     private static final long serialVersionUID = 1L;
13
14     private Shape shape;
15     private Color borderColor = UIUtils.COLOR_OUTLINE;
16
17     public TextFieldIP() {
18         setOpaque(false);
19         setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);
20         setForeground(Color.white);
21         setCaretColor(Color.white);
22         setCursor(Cursor.getPredefinedCursor(Cursor.TEXT_CURSOR));
23         setMargin(new Insets(2, 10, 2, 2));
24         setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
25         setFont(UIUtils.FONT_GENERAL_UI);
26     }
27
28     protected void paintComponent(Graphics g) {
29         Graphics2D g2 = UIUtils.get2dGraphics(g);
30         g2.setColor(getBackground());
31         g2.fillRoundRect(0, 0, getWidth() - 1, getHeight() - 1, UIUtils.ROUNDNESS,
32                         UIUtils.ROUNDNESS);
33         super.paintComponent(g2);
34     }
35
36     protected void paintBorder(Graphics g) {
37         Graphics2D g2 = UIUtils.get2dGraphics(g);
```

```
37     g2.setColor(borderColor);
38     g2.drawRoundRect(0, 0, getWidth() - 1, getHeight() - 1, UIUtils.ROUNDNESS,
39                       UIUtils.ROUNDNESS);
40   }
41
42   public boolean contains(int x, int y) {
43     if (shape == null || !shape.getBounds().equals(getBounds())) {
44       shape = new RoundRectangle2D.Float(0, 0, getWidth() - 1, getHeight() -
45           1, UIUtils.ROUNDNESS, UIUtils.ROUNDNESS);
46     }
47     return shape.contains(x, y);
48   }
49
50   public void setBorderColor(Color color) {
51     borderColor = color;
52     repaint();
53   }
54 }
```

Listing A.16: Utils/TextFieldIP.java

```
1 package Utils;
2
3 import javax.swing.*;
4 import java.awt.*;
5 import java.awt.geom.RoundRectangle2D;
6
7
8 public class TextFieldPort extends JTextField {
9   /**
10    *
11   */
12   private static final long serialVersionUID = 1L;
13
14   private Shape shape;
15   private Color borderColor = UIUtils.COLOR_INTERACTIVE;
16
17   public TextFieldPort() {
18     setOpaque(false);
19     setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);
20     setForeground(Color.white);
21     setCaretColor(Color.white);
```

```

22     setCursor(Cursor.getTextCursor());
23     setMargin(new Insets(2, 10, 2, 2));
24     setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
25     setFont(UIUtils.FONT_GENERAL_UI);
26 }
27
28 protected void paintComponent(Graphics g) {
29     Graphics2D g2 = UIUtils.get2dGraphics(g);
30     g2.setColor(getBackground());
31     g2.fillRoundRect(0, 0, getWidth() - 1, getHeight() - 1, UIUtils.ROUNDNESS,
32     UIUtils.ROUNDNESS);
33     super.paintComponent(g2);
34 }
35
36 protected void paintBorder(Graphics g) {
37     Graphics2D g2 = UIUtils.get2dGraphics(g);
38     g2.setColor(borderColor);
39     g2.drawRoundRect(0, 0, getWidth() - 1, getHeight() - 1, UIUtils.ROUNDNESS,
40     UIUtils.ROUNDNESS);
41 }
42
43 public boolean contains(int x, int y) {
44     if (shape == null || !shape.getBounds().equals(getBounds())) {
45         shape = new RoundRectangle2D.Float(0, 0, getWidth() - 1, getHeight() -
46         1, UIUtils.ROUNDNESS, UIUtils.ROUNDNESS);
47     }
48     return shape.contains(x, y);
49 }
50
51 public void setBorderColor(Color color) {
52     borderColor = color;
53     repaint();
54 }
55
56 }

```

Listing A.17: Utils/TextFieldPort.java

```

1 package zweitesFenster;
2
3 public class Main {
4
5     public static void main(String[] args) {

```

```
6     new ZweitesFenster();  
7  
8 }  
9  
10}
```

Listing A.18: main/Main.java

```
1 package zweitesFenster;  
2  
3 import java.awt.BorderLayout;  
4 import java.awt.Dimension;  
5 import java.awt.Font;  
6 import java.awt.Image;  
7 import java.awt.Toolkit;  
8 import java.awt.event.MouseAdapter;  
9 import java.awt.event.MouseEvent;  
10 import java.awt.event.WindowAdapter;  
11 import java.awt.event.WindowEvent;  
12 import javax.swing.ImageIcon;  
13 import javax.swing.JFrame;  
14 import javax.swing.JLabel;  
15 import javax.swing.JPanel;  
16 import javax.swing.JProgressBar;  
17 import javax.swing.JSlider;  
18 import javax.swing.JTextField;  
19 import javax.swing.SwingConstants;  
20 import Utils.TextFieldPort;  
21 import Utils.UIUtils;  
22 import java.awt.Color;  
23  
24 public class ZweitesFenster extends JFrame{  
25  
26     /**  
27     *  
28     */  
29  
30     private static final long serialVersionUID = 1L;  
31  
32  
33     ZweitesFenster(){  
34 }
```

```
35
36     JPanel mainPanel = getMainJPanel();
37
38     addLogo(mainPanel);
39     battery(mainPanel);
40     speed(mainPanel);
41
42     getContentPane().add(mainPanel, BorderLayout.SOUTH);
43
44     pack();
45     setVisible(true);
46     toFront();
47
48     Dimension screenSize = Toolkit.getDefaultToolkit().getScreenSize();
49     setLocation(screenSize.width / 2 - getWidth() / 2, screenSize.height / 2 -
50     getHeight() / 2);
51 }
52
53
54     private JPanel getMainJPanel() {
55         setUndecorated(true);
56
57         Dimension size = new Dimension(700, 600);
58
59         JPanel panel1 = new JPanel();
60         panel1.setSize(size);
61         panel1.setPreferredSize(size);
62         panel1.setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);
63         panel1.setLayout(null);
64
65         TextFieldPort titel = new TextFieldPort();
66         titel.setEnabled(false);
67         titel.setEditable(false);
68         titel.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
69         //titel.setBorderColor(UIUtils.COLOR_INTERACTIVE);
70         titel.setFont(new Font("Segoe UI", Font.PLAIN, 14));
71         titel.setText("OmniMove Driving Experience");
72         titel.setBounds(20, 25, 250, 45);
73         panel1.add(titel);
74         panel1.setFocusable(true);
75         panel1.requestFocus();
76 }
```

```
77     MouseAdapter ma = new MouseAdapter() {
78         int lastX, lastY;
79
80         @Override
81         public void mousePressed(MouseEvent e) {
82             lastX = e.getXOnScreen();
83             lastY = e.getYOnScreen();
84         }
85
86         @Override
87         public void mouseDragged(MouseEvent e) {
88             int x = e.getXOnScreen();
89             int y = e.getYOnScreen();
90             setLocation(getLocationOnScreen().x + x - lastX,
91             getLocationOnScreen().y + y - lastY);
92             lastX = x;
93             lastY = y;
94         }
95     };
96
97     panel1.addMouseListener(ma);
98     panel1.addMouseMotionListener(ma);
99
100    addWindowListener(new WindowAdapter() {
101        @Override
102        public void windowClosing(WindowEvent e) {
103            System.exit(0);
104        }
105    });
106
107    return panel1;
108
109
110
111    private void addLogo(JPanel panel1) {
112        JLabel label1 = new JLabel();
113        label1.setFocusable(false);
114        label1.setVisible(true);
115        label1.setBounds(201,94,320,369);
116        Image robot = new
117        ImageIcon(this.getClass().getResource("/robot2.png")).getImage();
118        label1.setIcon(new ImageIcon(robot));
119    }
120}
```

```
118     panel1.add(label1);
119 }
120
121
122 private void battery(JPanel panel2) {
123     int akkustand;
124     akkustand = 50;
125
126     JProgressBar battery_number = new JProgressBar();
127     battery_number.setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);
128     battery_number.setForeground(UIUtils.COLOR_INTERACTIVE);
129     battery_number.setEnabled(false);
130     battery_number.setLocation(531, 47);
131     battery_number.setMinimum(0);
132     battery_number.setMaximum(100);
133     battery_number.setFocusable(false);
134     battery_number.setSize(133,45);
135     battery_number.setString("Akkustand: "+akkustand+" %");
136     battery_number.setStringPainted(true);
137     battery_number.setFont(new Font("Segoe UI", Font.PLAIN, 12));
138
139     //default values
140     battery_number.setValue(50);
141
142     panel2.add(battery_number);
143
144 }
145
146
147 private void speed(JPanel panel3) {
148
149     int kmh = 10;
150
151     JPanel combination = new JPanel();
152     combination.setSize(222, 101);
153     combination.setVisible(true);
154     combination.setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);
155
156     JLabel geschwindigkeit = new JLabel();
157     geschwindigkeit.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
158     geschwindigkeit.setText("Geschwindigkeit");
159     geschwindigkeit.setFont(new Font("Segoe UI", Font.PLAIN, 12));
160     geschwindigkeit.setFocusable(false);
```

```
161     geschwindigkeit.setEnabled(false);  
162  
163     JSlider speed = new JSlider(JSlider.HORIZONTAL, 0, 30, 0);  
164     speed.setSize(123, 35);  
165     speed.setBackground(UIUtils.COLOR_BACKGROUND);  
166     speed.setEnabled(false);  
167     speed.setFocusable(false);  
168     speed.setLocation(292,495);  
169     speed.setMajorTickSpacing(5);  
170     speed.setMinorTickSpacing(1);  
171     speed.setPaintTicks(true);  
172     speed.setPaintLabels(true);  
173  
174     speed.setMaximum(30);  
175     speed.setMinimum(0);  
176     speed.setValue(kmh);  
177  
178     JLabel geschwindigkeit2 = new JLabel();  
179     geschwindigkeit2.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);  
180     geschwindigkeit2.setText(" " +kmh+ " km/h");  
181     geschwindigkeit2.setVisible(true);  
182     geschwindigkeit2.setFont(new Font("Segoe UI", Font.PLAIN, 12));  
183     geschwindigkeit2.setFocusable(false);  
184     geschwindigkeit2.setEnabled(false);  
185  
186     combination.setLayout(new BorderLayout());  
187     combination.add(geschwindigkeit, BorderLayout.NORTH);  
188     combination.add(speed, BorderLayout.CENTER);  
189     combination.add(geschwindigkeit2, BorderLayout.SOUTH);  
190     combination.setLocation(264,488);  
191  
192     panel13.add(combination);  
193  
194 }  
195  
196  
197 }
```

Listing A.19: main/ZweitesFenster.java

B Technische Zeichnungen

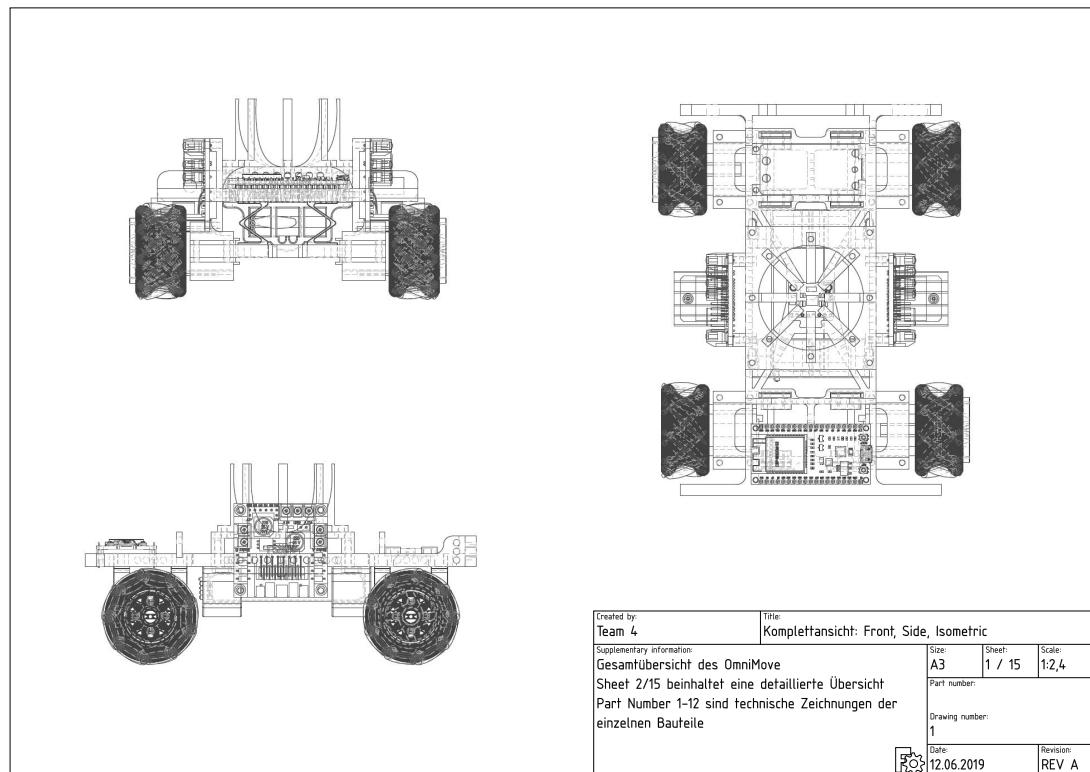


Abbildung B.1: Komplettansicht

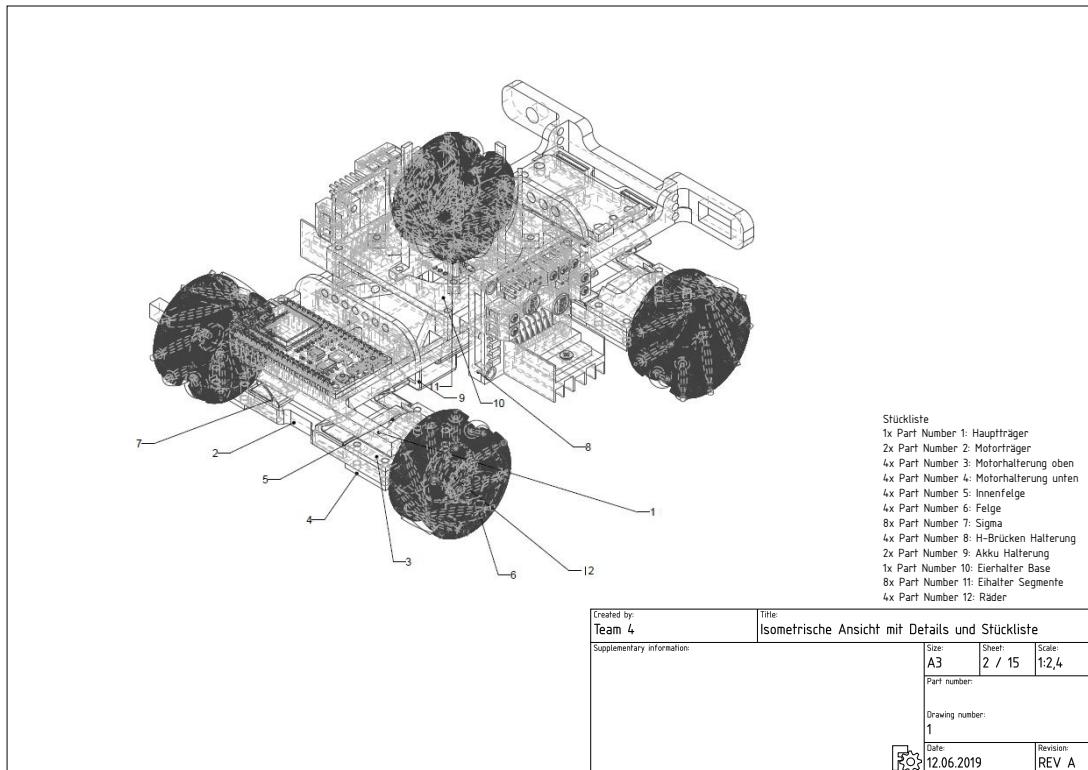


Abbildung B.2: Isometrisch und Stückliste

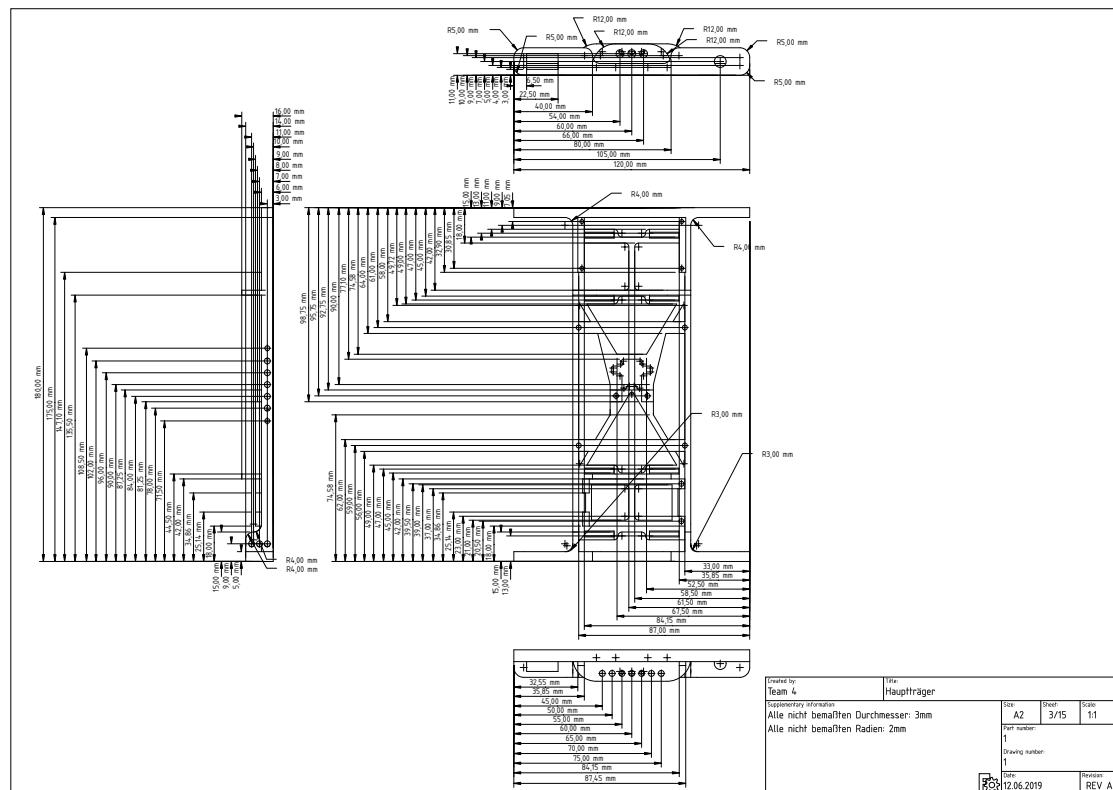


Abbildung B.3: Hauptträger

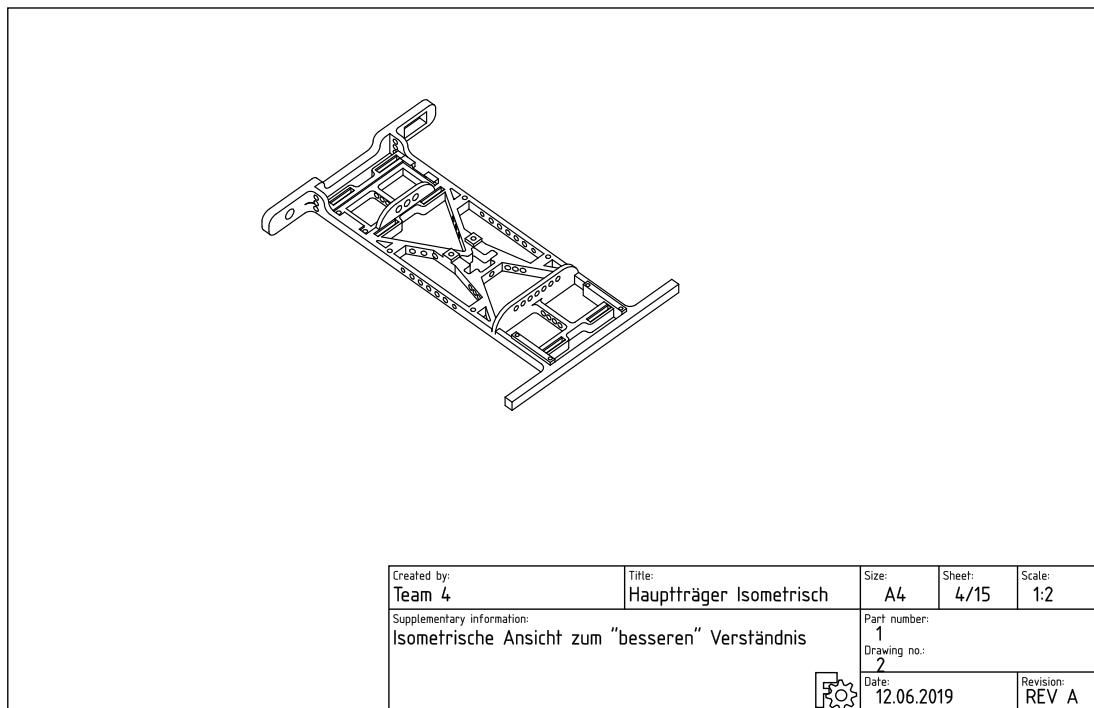


Abbildung B.4: Hauptträger Isometrisch

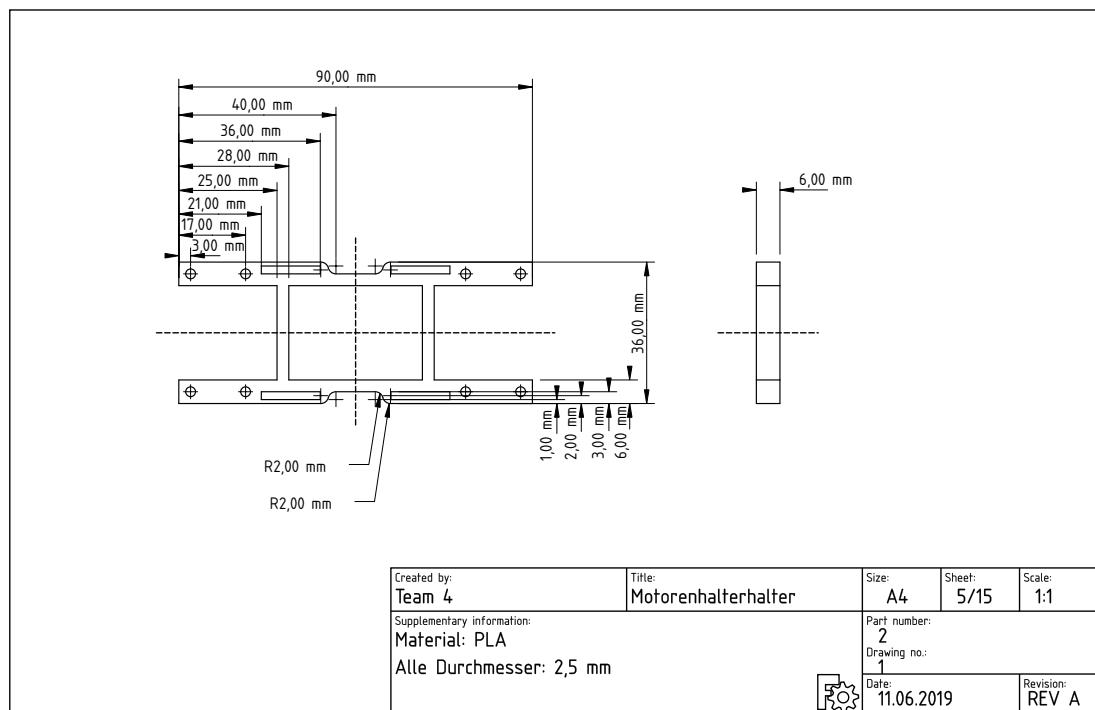


Abbildung B.5: Motorenhalterhalter

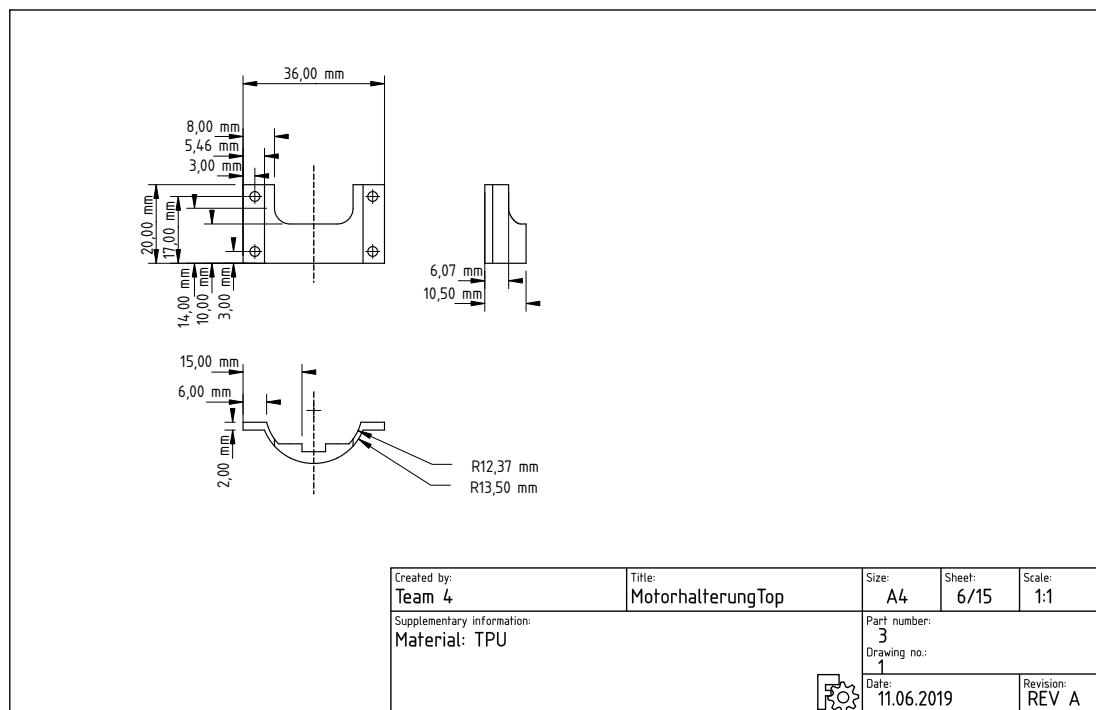


Abbildung B.6: Motorenhalterung Oben

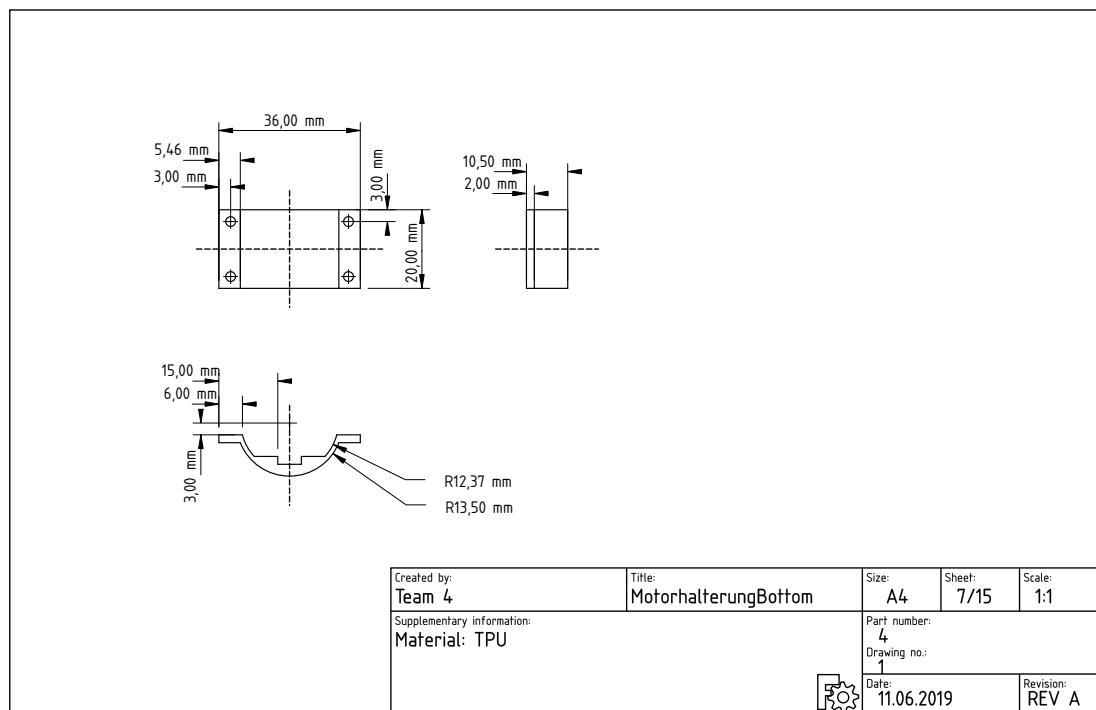


Abbildung B.7: Motorenhalterung Unten

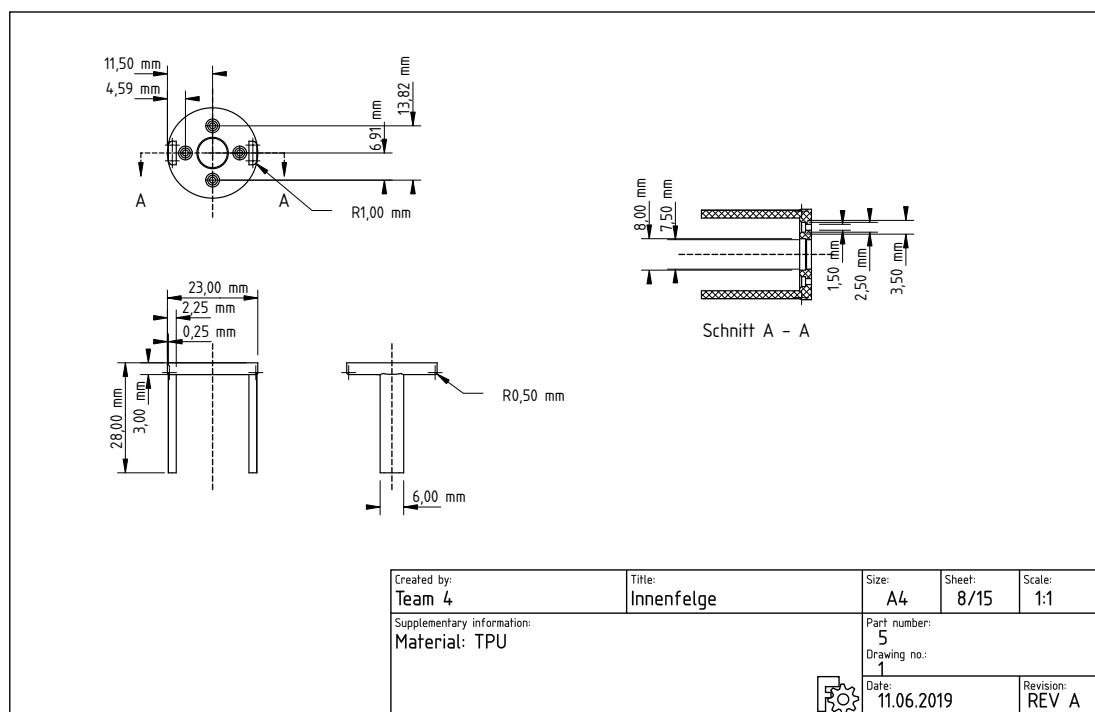


Abbildung B.8: Innenfelge

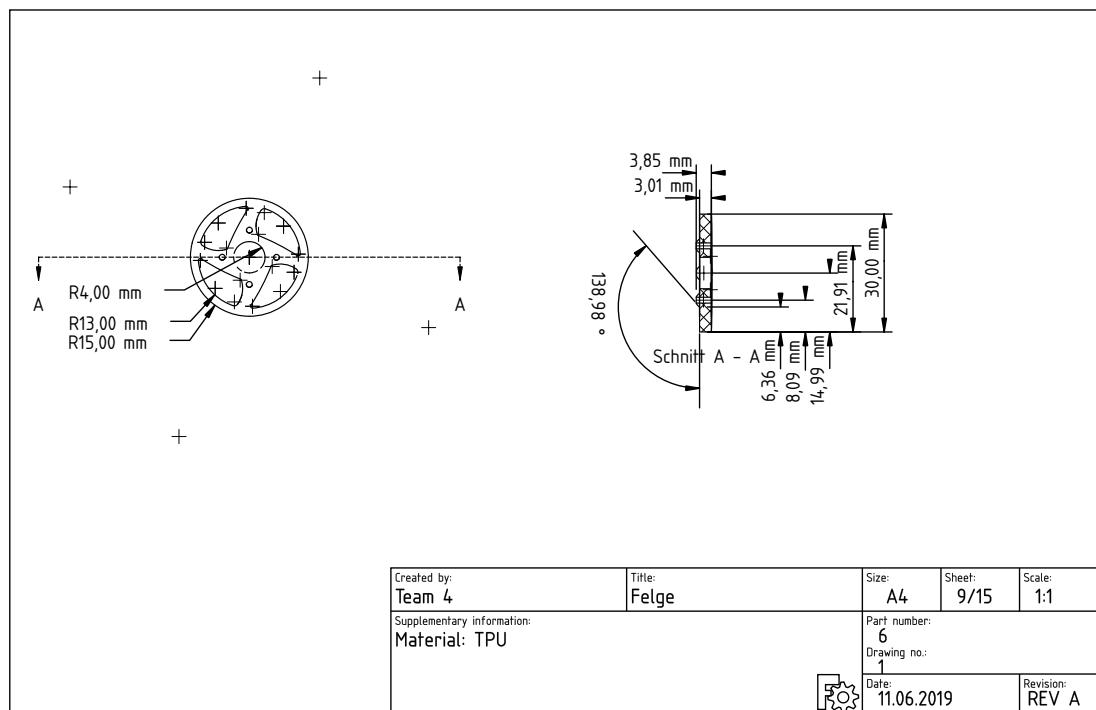


Abbildung B.9: Felge

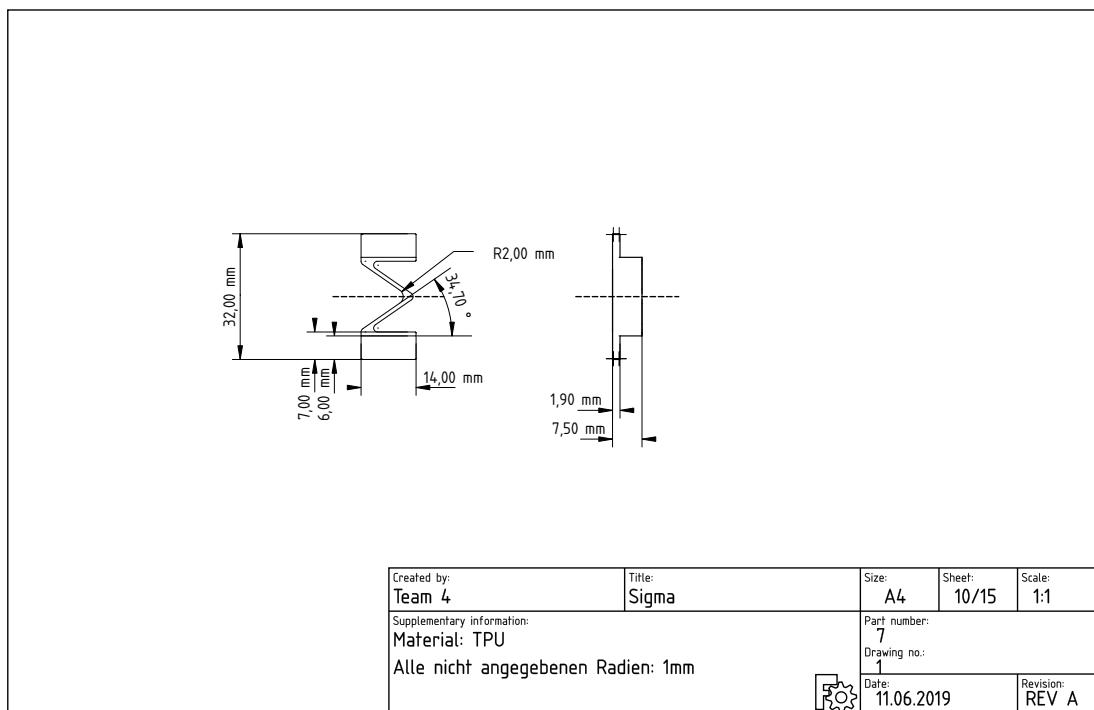


Abbildung B.10: Sigma

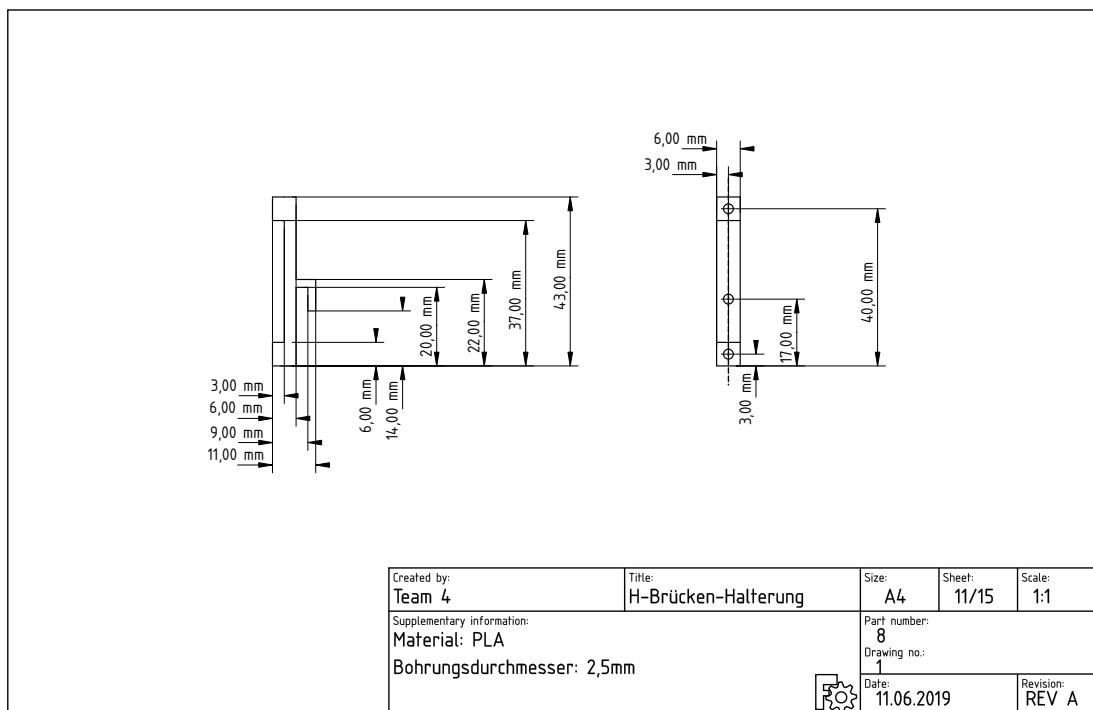


Abbildung B.11: H-Brücke-Halterung

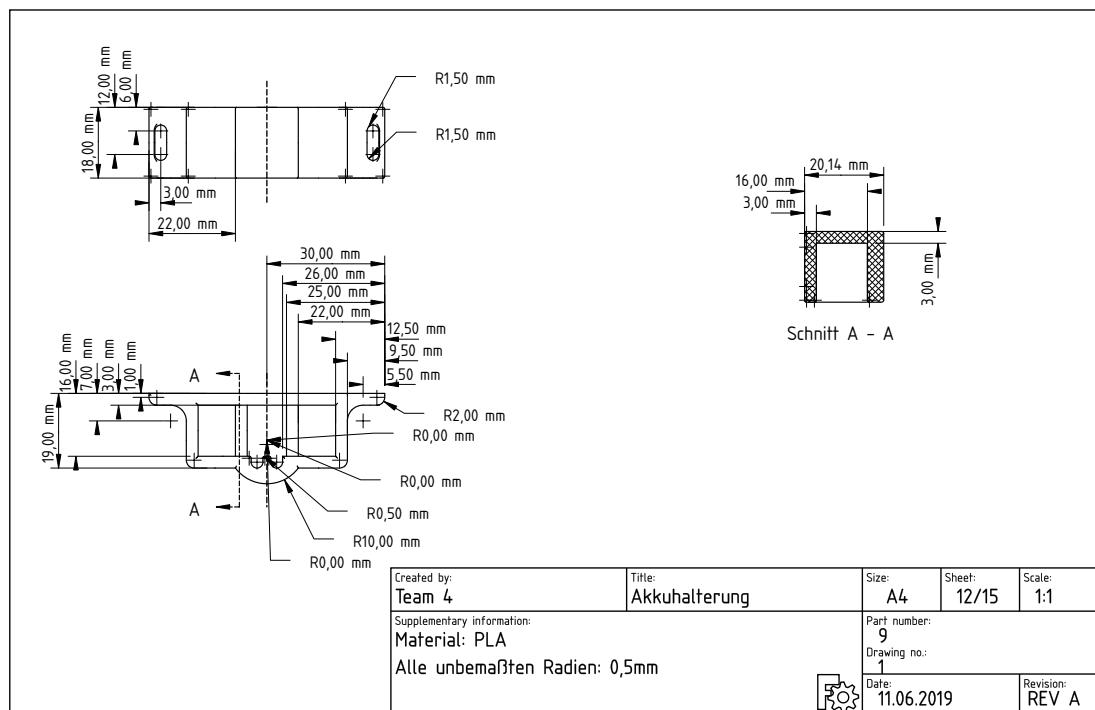


Abbildung B.12: Akkuhalterung

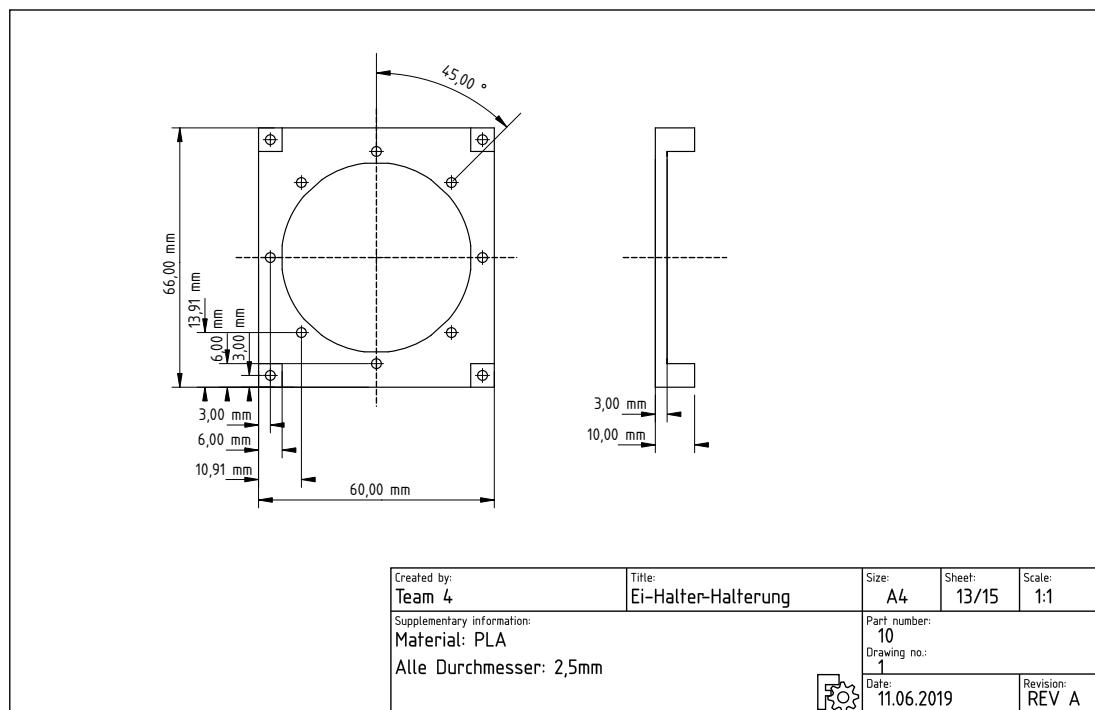


Abbildung B.13: Ei-Halterung-Halterung

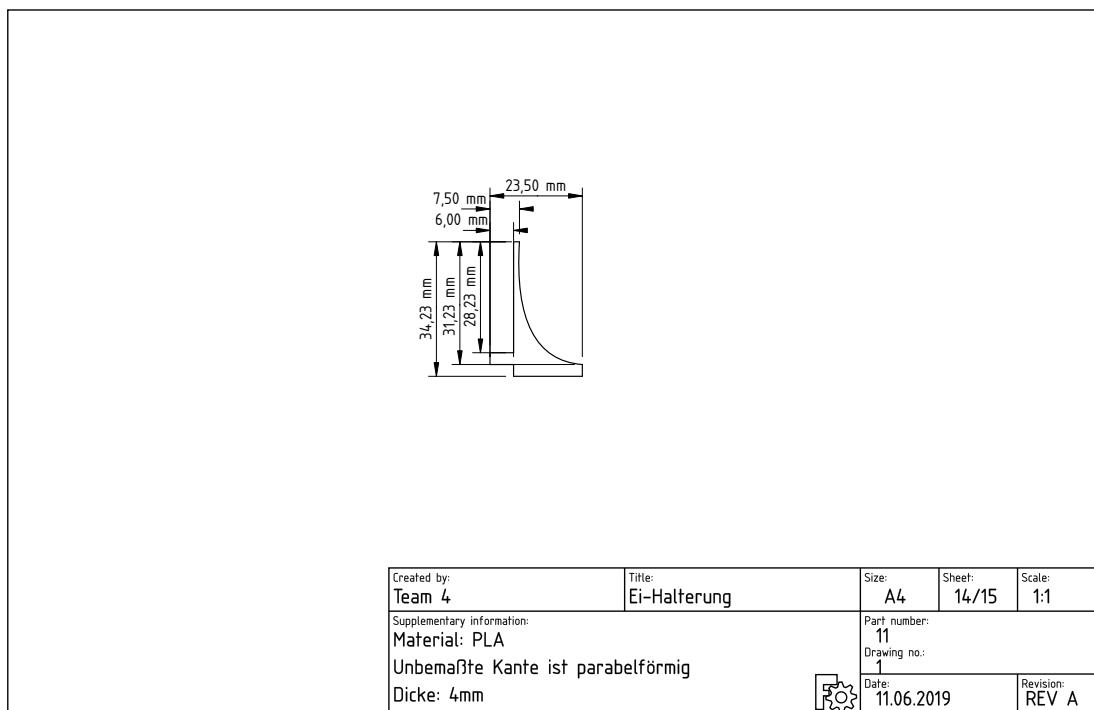


Abbildung B.14: Ei-Halterung

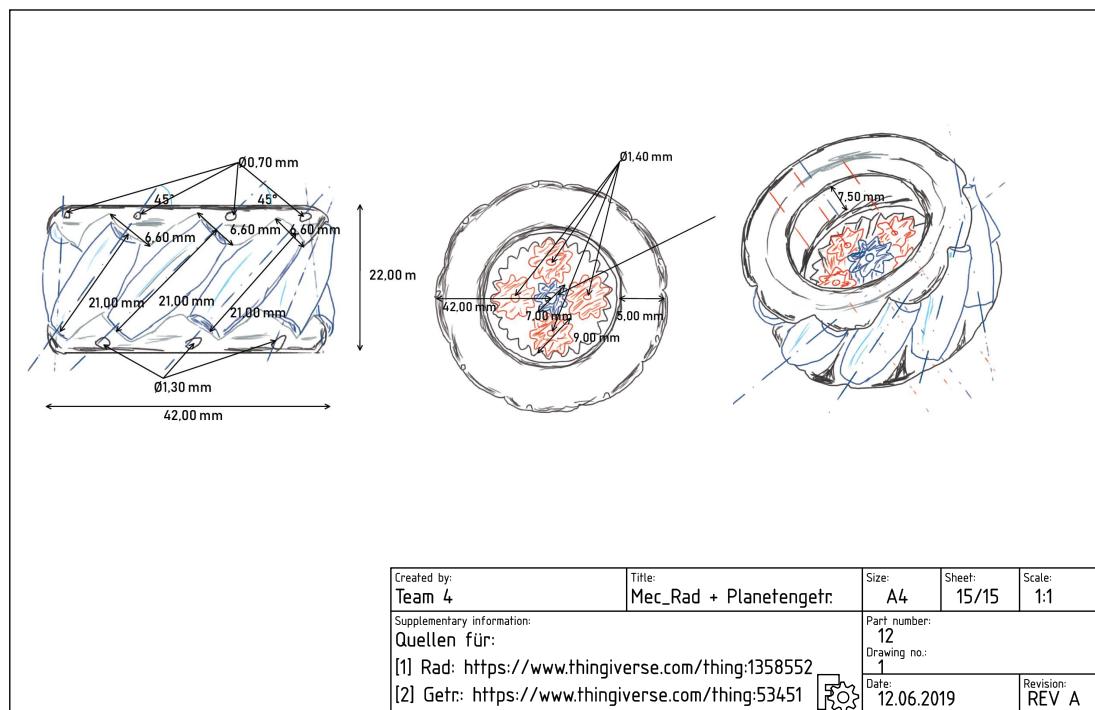


Abbildung B.15: Reifen und Planetengetriebe

Literaturverzeichnis

- [1] EMMETT: *Gear Bearing*. <https://www.thingiverse.com/thing:53451>, Februar 2016
- [2] EMMETT: *Gear Bearing*. <https://www.thingiverse.com/thing:2666785>, Februar 2016
- [3] EMMETT: *Gear Bearing*. <https://www.thingiverse.com/thing:2277105>, Februar 2016
- [4] INNOART, Jonah: *44mm Mecanum Wheel*. <http://www.thingiverse.com/thing:1358552>, Februar 2016
- [5] ROBOTEQ (Hrsg.): *Driving Mecanum Wheels Omnidirectional Robots*. <https://www.roboteq.com/index.php/applications/applications-blog/entry/driving-mecanum-wheels-omnidirectional-robots>: RoboteQ, Oktober 2015

Listings

| | | |
|------|----------------------------|----|
| A.1 | communication.cpp | 38 |
| A.2 | communication.h | 39 |
| A.3 | movement.cpp | 40 |
| A.4 | movement.h | 44 |
| A.5 | util.cpp | 46 |
| A.6 | util.h | 48 |
| A.7 | main.cpp | 48 |
| A.8 | index.html | 51 |
| A.9 | code.js | 54 |
| A.10 | style.css | 61 |
| A.11 | main/ConnectUI.java | 62 |
| A.12 | components/SpeedMeter.java | 68 |
| A.13 | Toaster/Toaster.java | 74 |
| A.14 | Toaster/ToasterBody.java | 76 |
| A.15 | Utils/UIUtils.java | 79 |
| A.16 | Utils/TextFieldIP.java | 80 |
| A.17 | Utils/TextFieldPort.java | 81 |
| A.18 | main/Main.java | 82 |
| A.19 | main/ZweitesFenster.java | 83 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|--|----|
| 3.1 | Skizze Seggway | 7 |
| 3.2 | Skizze Weggchair | 9 |
| 3.3 | Skizze TEGGLA | 10 |
| 3.4 | Morphologischer Kasten | 11 |
| 3.5 | Graphische Oberfläche für Git (GitKraken) | 13 |
| 3.6 | CAD Programm “Creo Parametrics” | 14 |
| 4.1 | Übersicht der TEGGLA-Komponenten | 16 |
| 4.2 | Schaltplan (gezeichnet mit Fritzing) | 18 |
| 4.3 | Freiheitsgrade von Mecanum [5] | 19 |
| 4.4 | Formeln für die individuellen Motoren [5] | 20 |
| 4.6 | OpenSCAN zum Erstellen von Planetengetrieben | 21 |
| 4.7 | Im Rad integrierte Getriebe | 22 |
| 4.8 | Iterationen der Getriebe | 22 |
| 4.9 | Mehrstufige Getriebe | 23 |
| 4.10 | Finale Getriebekonstruktion | 24 |
| 4.11 | Java Fenster 1: Verbindungsbaufbau | 26 |
| 4.12 | Java Fenster 2: Steuerung | 27 |
| 4.13 | Bildschirmfoto Weboberfläche | 28 |
| 5.1 | Blockschaltbild Regler | 32 |
| B.1 | Komplettansicht | 88 |
| B.2 | Isometrisch und Stückliste | 89 |
| B.3 | Hauptträger | 90 |
| B.4 | Hauptträger Isometrisch | 91 |
| B.5 | Motorenhalterhalter | 92 |
| B.6 | Motorenhalterung Oben | 93 |
| B.7 | Motorenhalterung Unten | 94 |
| B.8 | Innenfelge | 95 |

| | |
|--|-----|
| B.9 Felge | 96 |
| B.10 Sigma | 97 |
| B.11 H-Brücken-Halterung | 98 |
| B.12 Akkuhalterung | 99 |
| B.13 Ei-Halterung-Halterung | 100 |
| B.14 Ei-Halterung | 101 |
| B.15 Reifen und Planetengetriebe | 102 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|-----------------------------------|----|
| 2.1 | Anforderungsliste | 2 |
| 3.1 | Stückliste Seggway | 8 |
| 3.2 | Kostenübersicht | 12 |
| 4.1 | Stückliste der TEGGLA-Komponenten | 17 |
| 4.2 | Aufzählung benötigter Pins | 24 |
| 4.3 | Vorteile des ESP-32 | 25 |
| 4.4 | Binäres Protokoll | 29 |