



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Fakultät für Elektrotechnik
Informationstechnik und Medientechnik

Lehrstuhl für Automatisierungstechnik/Informatik

MMMS-Projekt

Fahrsimulator

Jannis Dohm
1559476
M.Sc. Elektrotechnik
Electrical Engineering

Wuppertal, Februar 2019

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Möller
M.Sc. Robert Roth

Kurzfassung

Im Rahmen dieses Projektes wird ein alter Rennwagen des universitären GreenLion Racing Teams, welcher nicht mehr funktionsfähig ist, zu einem realitätsnahen Simulator umgebaut. Dazu werden Pedalerie und Lenkrad mit Sensoren ausgestattet. Dessen Signale werden von einem Mikrocomputer ausgewertet, welcher die errechneten Kommandos an einen Computer übergibt. Um eine breite Kompatibilität mit verschiedenen Systemen zu gewähren, meldet sich der Mikrocomputer über USB als Joystick am Computer an. Auf dem, mit dem Simulator verbundenen System, kann dann eine beliebige Simulator- oder auch Gamingsoftware gestartet werden, welche Joystickeingaben unterstützt. Die verwendete Software ist nicht Bestandteil dieses Projekts. Für ein möglichst realistisches Gefühl bietet es sich an, eine dement-sprechende Software gepaart mit dem Einsatz einer VR Brille zu verwenden. Dieses Projekt ist in zwei Teile unterteilt. In dem Einen wird auf den softwareseitigen Teil eingegangen, dazu lesen Sie mehr in der Abgabe von meinem Kollegen Patrick Herzog. In dem hier vorliegenden Teil wird hauptsächlich auf den hardwareseitigen Teil eingegangen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Problemstellung	2
2	Grundlagen	3
2.1	Sensoren	3
2.1.1	Optischer-Drehgeber	3
2.1.2	Hall-Effekt-Drehgeber	4
2.1.3	Potentiometer	4
2.2	3D-Druck	4
2.3	Der Rennwagen	5
2.3.1	Pedalerie	6
2.3.2	Lenkrad	7
3	Wahl der Komponenten	8
3.1	Mikrocontroller	8
3.1.1	Entscheidungsmatrix	9
3.2	Sensoren	9
3.2.1	Entscheidungsmatrix	10
3.3	Schalter	11
4	Entwicklung	12
4.1	Pedalabnehmer	12
4.2	Lenkradnehmer	13
4.3	Pedalerieeinheit	15
4.4	Lenkeinheit	15
4.5	Gehäuse	16
5	Fazit	17
5.1	Ausblick	18
5.1.1	Einbau am Fahrzeug	18
5.1.2	Aufbau	18
5.2	Schlusswort	19
A	Literaturverzeichnis	20

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird im Abschnitt 1.1 darauf eingegangen, was die Motivation hinter dem hier vorgestellten Projekt ist, sowie die zu Grunde liegende Problemstellung 1.2 vorgestellt.

1.1 Motivation

Im Rahmen des Wahlfachs „Multimodale Mensch-Maschine Systeme“, ist ein Projekt in eben diesem Bereich obligatorisch. Als Leiter des Rennteams GreenLion Racing, fiel mir bei der Erläuterung zu diesen Projekten sofort der Umbau eines alten Rennwagens zu einem Simulator ein. Dieses Projekt bietet sich an, da es die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine gleich im doppelten Sinne im Mittelpunkt hat. Zum einen wurde ein Fahrzeug entwickelt, dessen Ziel es ist durch die Steuerung eines Menschen eine möglichst gute Performance im Wettbewerb abzuliefern. Aus diesem Grund sind Themen wie Ergonomie Dauerthema bei der Konstruktion des Rennwagens so wird beispielsweise seit Jahren der Sitz und die Lenkradposition von Wagen zu Wagen weiter optimiert, um ein möglichst angenehmes Fahren für eine möglichst große Anzahl von unterschiedlichen Fahrern zu gewährleisten. Zum anderen geht es bei einem Simulator darum, das authentische Gefühl der Mensch-Maschine Schnittstelle zu vermitteln, trotz des Faktes, dass diese Maschine nicht vorhanden ist. Ein weiterer Motivationsfaktor ist, dass ein Rennsimulator für das Rennteam einige interessante Aspekte bietet, wie das nahe liegende Fahrertraining. Auch andere Aspekte, wie die Möglichkeit auf Messen und Ausstellungen Zuschauer für das Projekt zu begeistern, indem man Ihnen einen Teil des Renngefühls direkt am Messestand bieten kann, spielten eine Rolle.

1.2 Problemstellung

Die Problemstellung besteht darin, mit möglichst geringen Mitteln einen realitätsnahen Rennsimulator, sowie zeitgleich einen weiteren Aufbau, welcher unabhängig vom Rennfahrzeug des GreenLion Racing Teams an den Lehrstuhl übergeben werden kann, aufzubauen. Die Problemstellung wurde dabei in zwei Bereiche gegliedert. Zum einen der Softwareseitige, um welchen sich mein Kollege Patrick Herzog kümmerte und das Projekt ebenfalls dokumentierte. Der zweite, hier beschriebene, Bereich beschäftigt sich mit der Umsetzung in Hardware. Die Kernthemen der hier behandelten Hardware sind dabei:

- Die Auswahl geeigneter Sensoren aus mechanischer Sicht.
- Die Entwicklung von Befestigungen und Adaptern für die Sensoren am Fahrzeug.
- Der Aufbau einer alleinstehenden Pedalerieeinheit, unabhängig vom Fahrzeug, welche von Seiten der Software möglichst gleich angesprochen werden kann. Dabei spielt neben der technischen Umsetzbarkeit und der Orientierung an der original Pedalerie im Fahrzeug auch die Ergonomie eine Rolle.
- Der Aufbau einer Lenkeinheit. Auch bei dieser spielen neben technischer Umsetzbarkeit auch die Nähe zum original Fahrzeug sowie die Ergonomie eine Rolle.
- Die Verkabelung der einzelnen Sensoren.
- Der Aufbau eines Gehäuses für den gewählten Mikrocontroller.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Kenntnisse, welche zum Verständnis des Projektes entscheidend sind, kurz zusammengefasst wiedergegeben. Dabei wird verstärkt auf Grundlagen, welche nicht dem Fachbereich der Elektrotechnik zuzuordnen sind eingegangen. Die Grundlagen der Elektrotechnik werden hingegen nur angeschnitten.

2.1 Sensoren

Bei Sensoren handelt es sich um Bauelemente, welche zur Erfassung von physikalischen oder chemischen Eigenschaften genutzt werden. In diesem Projekt werden lediglich Positionsdaten von Lenkrad und Pedalerie durch Sensoren erfasst. Aufgrund dessen werden nur Grundlagen für eine Auswahl an Sensoren zur Positionsbestimmung erläutert. Es folgt eine Auflistung der Sensoren, welche von uns in die nähere Auswahl genommen wurden.

2.1.1 Optischer-Drehgeber

Bei einem optischen Drehgeber wird mittels einer oder mehrerer Lichtschranken und einer Lochrasterdrehscheibe die Drehposition in diskreten Schritten eingelesen. Dies ist in Abbildung 2.1 exemplarisch dargestellt.

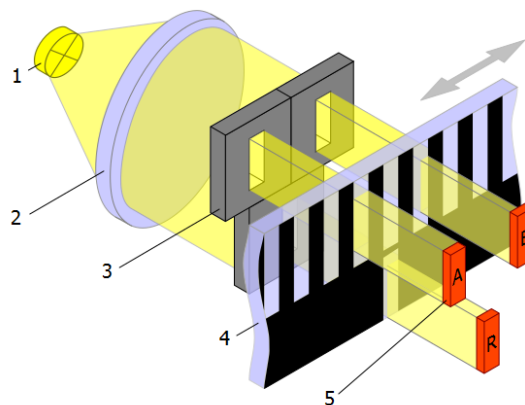


Abbildung 2.1: Aufbau optischer Drehgeber [Wik14]

2.1.2 Hall-Effekt-Drehgeber

Bei einem Hall-Effekt-Drehgeber wird die aktuelle Position dadurch ermittelt, dass von einem Hallsensor das magnetische Feld eines Permanentmagneten bestimmt wird. Dieser Permanentmagnet befindet sich an einer Achse mit der aufzunehmende Drehbewegung und anhand des Feldes kann die Position berechnet werden.

2.1.3 Potentiometer

In Potentiometern befindet sich ein Widerstandsmaterial welches an zwei Seiten kontaktiert und raus geführt wird. Zusätzlich befindet sich ein dritter raus geführter Kontakt im Potentiometer. Dieser ist als Schleifkontakt ausgelegt und wird je nach äußerer Einstellung zwischen den beiden Enden des Widerstandes verschoben. Unterschieden wird dabei der Aufbau des Potentiometers. Es gibt neben anderen, hier nicht näher aufgeführten Varianten, die Form des **Drehpotentiometers**, bei dem der Schleifabgriff meist über ein, in einem Kreisbogen aufgebrachtes, Widerstandsmaterial geschoben wird. Des Weiteren ein **Linearpotentiometer** bei dem das Widerstandsmaterial gerade aufgebaut ist, über welches der Abgriff in einer geraden Bewegung geschoben werden kann. Die hier in Betracht gezogene Verwendungsart sieht vor, an den beiden festen Anschlüssen $v+$ sowie gnd anzuschließen. So entsteht an dem Mittelabgriff eine Spannung, welche Aufschluss über die aktuelle Position des Abgriffes liefert (Spannungsteiler).

2.2 3D-Druck

Der 3D-Druck ist ein additives Fertigungsverfahren. Anders als bei klassischen Fertigungsverfahren, wie Fräsen und Bohren, wird beim Herstellungsprozess schichtweise Material hinzugefügt (vgl. [VDI14](s.6)). Am weitesten verbreitet ist das Extrusionsverfahren. Bei diesem wird ein Kunststoffaden in einer Düse erhitzt und Schicht für Schicht abgelegt (vgl. [VDI14](s.6)). Da nur ein Drucker dieses Verfahrens zur Verfügung stand, wird im Folgenden ausschließlich auf diese Drucker-Art eingegangen. Wie schon erwähnt wird bei diesem, auch FDM (engl. für Fused Deposition Modeling) genannten Verfahren, ein Plastikdraht, auch Filament genannt, in eine erhitzte Düse gepresst, dort geschmolzen und dann schichtweise zu einem Werkstück abgelegt. Bei dem von uns verwendeten Material handelt es sich um Polylactide (kurz PLA), ein Biokunststoff, welcher aus nachwachsenden Ressourcen gewonnen werden kann und kompostierbar ist (vgl. [Meh11]). PLA weist nach dem Abkühlprozess eine hohe Festigkeit auf, sodass es möglich ist Pedale aus PLA zu drucken und zu verwenden. Der Einsatz von 3D-Druck ermöglicht es innerhalb kürzester Zeit und mit geringem monetären Einsatz Teile zu fertigen. Wegen dieser Eigenschaft

fällt 3D-Druck auch unter dem Begriff des Rapid Prototypings (zu deutsch schneller Prototypenbau). Einer der großen Vorteile dieser Technologie ist die Möglichkeit Bauteile (oder Teile von Bauteilen) zu drucken, auf ihre Funktion hin zu überprüfen und so einen iterativen Verbesserungsprozess zu starten. Dies ist exemplarisch anhand einer Dichtung in Abbildung 2.2 zusehen. Aufgrund dieser Eigenschaften war es überhaupt möglich ein Lenkrad, eine Aufnahme für dieses sowie die Pedalerieeinheit zu fertigen.

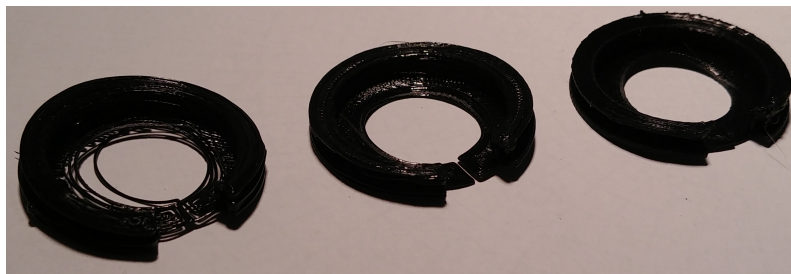


Abbildung 2.2: Beispiel eines Verbesserungsprozesses in drei Schritten [Doh19]

2.3 Der Rennwagen

Bei dem Rennwagen handelt es sich um den Rennwagen „GLR2014c“, welcher in Abbildung 2.3 zusehen ist, des GreenLion Racing Teams. Der Name gibt Aufschluss über einige Eigenheiten des Wagens, so ist die Fertigstellung und Rennteilnahme im Jahr 2014 gewesen und es handelt sich um einen combustion Motor, also einen Verbrenner. Der Rennwagen wurde ab 2012 geplant, nachdem der erste Rennwagen der „GLR2012c“ erfolgreich debütierte. Ziel des Neubaus war es, den Vorgänger zu überbieten, was Dank des erfolgreichen Starts 2012 keine kleine Aufgabe war, aber es gelang. Der GLR2013c war leichter und schneller. Der GLR2014c ist ein Umbau des GLR2013c, da man mit einem Fahrzeug auch ein zweites Mal antreten darf, wenn dieses modifiziert wird. Im Jahr 2014 missglückte die erfolgreiche Teilnahme aufgrund von Motorproblemen. Da das Fahrzeug ab diesem Zeitpunkt nicht mehr antreten durfte, folgte der Neuaufbau des GLR2015c. Bei diesem Neubau kam es zu Fehlern in der Fertigung, die in der Entnahme von Teilen aus dem GLR2014c endeten, so dass dem GLR2014c noch heute einige kritische Komponenten fehlen. Aus diesem Grund ist er zu Ausstellungszwecken und als Referenz für neue Fahrzeuge zu gebrauchen. Kann aber nicht mehr gefahren werden und eignet sich daher für den Umbau zu einem Simulator.



Abbildung 2.3: Bild des GLR2014c [GLR14]

2.3.1 Pedalerie

Bei der Pedalerie des GLR2014c handelt es sich um eine gewichtsoptimierte Pedalerieeinheit, welche weniger auf Ergonomie und Komfort Wert legt. Um dennoch eine gewisse Range an Fahrern abdecken zu können, ist die gesamte Pedalerieeinheit auf einer Metallschiene verstellbar. Diese ist in der Abbildung 2.4 zu erkennen. Dies ist insbesondere wichtig, da der Sitz aus Karbon gefertigt und fest verbaut, also nicht einstellbar, ist.

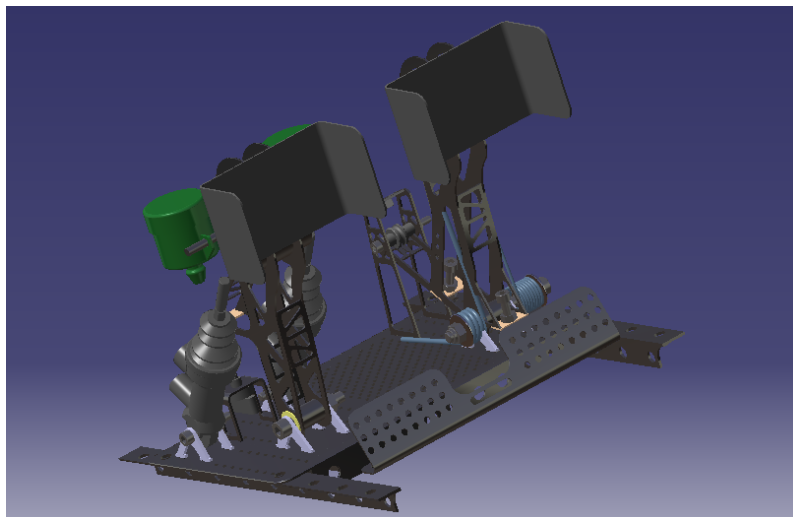


Abbildung 2.4: Rendering der Pedalerieeinheit [GLR19a]

2.3.2 Lenkrad

Bei dem Lenkrad handelt es sich um ein Rennlenkrad, welches sich vom Aufbau entscheidend von dem Lenkrad eines handelsüblichen PKW unterscheidet. Es ist nicht rund, sondern länglich (vgl. Abbildung 2.5) mit zwei definierten Positionen für die Hände und sogenannten „Schaltwippen“. Bei diesen handelt es sich um hinter dem Lenkrad befindliche Wippen, durch deren Betätigung der Gangwechsel eingeleitet werden kann. Auch dies ist in der Abbildung 2.5 zu sehen.

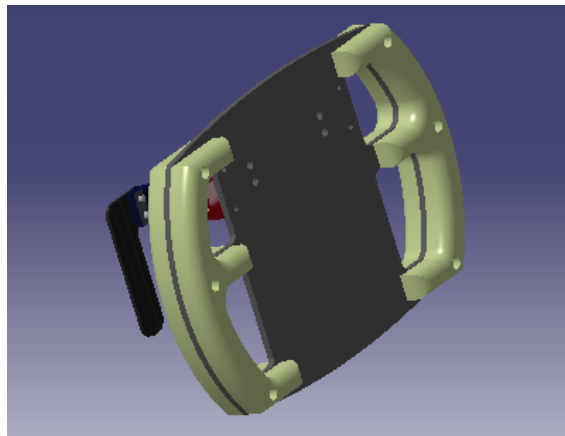


Abbildung 2.5: Rendering des Lenkrades des GLR2019c [GLR19a]

3 Wahl der Komponenten

In diesem Kapitel wird die Auswahl der Komponenten erläutert. Dazu wurde zunächst analysiert, welche Größen aufgenommen werden müssen. Dies ist in Abbildung 3.1 zu sehen. Anschließend ging es mit der Wahl des 3.1 Mikrocontroller weiter.

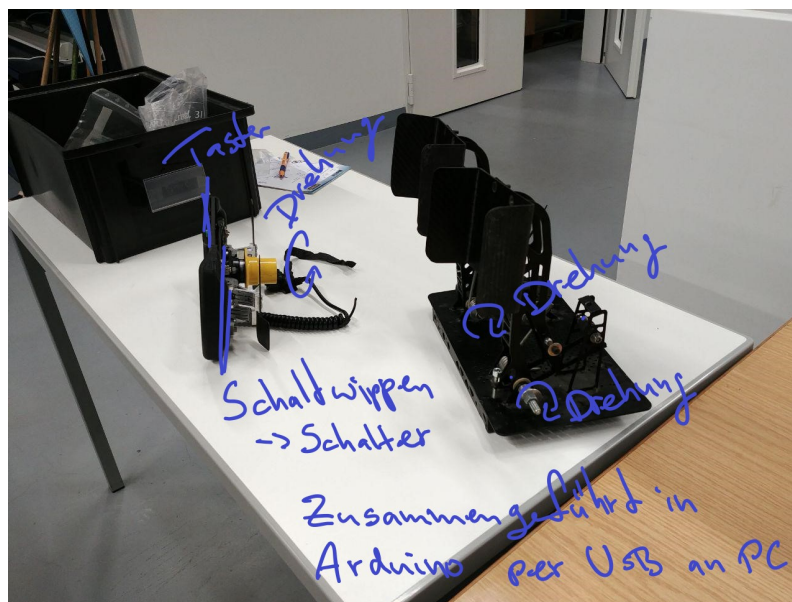


Abbildung 3.1: Skizze mit benötigten Sensoren und Digitalwertnehmern [GLR19b]

Es folgte die Wahl der 3.2 Sensoren, sowie der 3.3 Schalter. Zur Auswahl der geeignetsten Komponenten wurde eine Vorauswahl getroffen. Anhand dieser wurde eine Entscheidungsmatrix aufgestellt, welche in den jeweiligen Abschnitten noch einmal grafisch aufgearbeitet dargestellt wird. Anhand der so erstellten Entscheidungsmatrix, mit von uns festgelegten Kriterien und deren Bewertungen, wurde schließlich die geeignete Wahl der Bauteile sichergestellt.

3.1 Mikrocontroller

Bei der Auswahl des Mikrocontrollers wurde im ersten Schritt danach geschaut welche freiprogrammierbaren Schnittstellen zwischen Computer und Eingangssignalen

(sowohl analog wie auch digital) bereits Beispielprogramme/Bibliotheken für solch einen Anwendungszweck haben. Basierend auf diesem Wissen wurde die Entscheidungsmatrix 3.1.1 erstellt.

3.1.1 Entscheidungsmatrix

Bezeichnung	Preis	Beispielcode	Programmiersprache
Raspberry Pi	25 €	Ja	C & Python
+ AD Wandler MCP3008	25 €		
+ UART->USB	8 €		
Gesamt:	58 €		
Arduino Pro Micro	9 € bis 20 €	Ja	Arduino
Tensee	24 €	Ja	Arduino

Tabelle 3.1: Entscheidungsmatrix Mikrocontroller

In der Entscheidungsmatrix sind von uns positiv gewertete Attribute grün, neutrale Aspekte gelb sowie negative Aspekte rot hinterlegt. Die Zeile „Beispielcode“ dient lediglich der Übersicht und trug nicht zu dem Ergebnis bei, da nur Schnittstellen aufgenommen wurden die diese Bedingung erfüllten. Zur Programmiersprache muss dazu gesagt werden, dass es hier um persönliche Präferenzen des Programmierers ging. Aus der Matrix ist der klare Gewinner der Arduino Pro Micro gut abzulesen. Dieser wurde von uns ausgewählt und im folgenden genutzt.

3.2 Sensoren

Auch für die Sensoren wurde eine Entscheidungsmatrix aufgestellt. Hierbei der Fall des Einbaus in das vorhandene Fahrzeug als kritischer eingeschätzt, da sich hier nach äußeren Gegebenheiten gerichtet werden musste und nicht frei entwickelt werden konnte. Aus diesem Grund wurde mit einer Entscheidungsmatrix 3.2.1 zur Art des Einbaus begonnen, sodass dieser Aspekt anschließend bei der Wahl der Sensoren mit einbezogen wurde.

3.2.1 Entscheidungsmatrix

Bezeichnung	Aufwand		Genauigkeit	
	Pedalerie	Lenkrad	Pedalerie	Lenkrad
Auf Drehachse	sehr hoch	unmöglich	neutral	neutral
Mit Zahnrad	hoch	gering	positiv	positiv
Auf verlängerter Achse	gering	unmöglich	neutral	neutral
Schieber	neutral	neutral	negativ	neutral

Tabelle 3.2: Entscheidungsmatrix Anbringung

Wie zuvor wurden hier die positiven Aspekte grün, Neutrale gelb und Negative rot hinterlegt. Dabei wurde die Genauigkeit als positiv bewertet, wenn es durch diese Anbringung möglich ist, die Genauigkeit zu verfeinern. Dies ist bei der Übertragung der Drehung mittels eines Zahnrades möglich, da hier durch das Übersetzungsverhältnis eine erhöhte Genauigkeit gewonnen werden kann. Als neutral wurden Anbringungen bewertet die auf die Genauigkeit, keinen Einfluss haben, da die Drehbewegung eins zu eins an den Sensor übergeben wird. Als Negativ hingegen wurden Einbaumöglichkeiten gewertet, welche die Genauigkeit verschlechtern. Dies passiert bei den hier vorliegenden Optionen nur bei dem Schiebepotentiometer in Verbindung mit der Pedalerie. Die schlechtere Genauigkeit resultiert hier aus der entstehenden Nichtlinearität durch die Umwandlung einer dreh in eine Linearbewegung. Abzulesen ist, dass für den Einbau an der Pedalerie nur der Einbau auf der verlängerten Achse sinnvoll erscheint, für den Einbau am Lenkrad hingegen der Einbau mittels Zahnrad. Alternativ könnte am Lenkrad über den Einbau eines Lineargebers nachgedacht werden.

Bezeichnung	Range	Preis	Genauigkeit
Hall-Effekt-Sensor	0°bis360°	50 €	sehr genau
Optischer Sensor	0°bis360°	6 €	? ¹
Dreh Potentiometer	0°bis360°	1 €	neutral
Linear Potentiometer	-	6 €	sehr genau

Tabelle 3.3: Entscheidungsmatrix Sensoren

In der Abbildung 3.2.1 ist die Entscheidungsmatrix dargestellt. In dieser wurde die Genauigkeit in folgende Kategorien eingeteilt: Sehr genau: $< 0.5\%$, genau $0.5\%bis1\%$, mittel $1\%bis2\%$, ungenau $2\%bis5\%$ und zu ungenau $> 5\%$. Der geringe Preis in Kombination mit der Stückzahl von sechs Sensoren, der Fakt, dass

¹keine Angabe bei günstigstem Angebot, generell verschiedene Ausführungen vorhanden.

die Genauigkeit keine ganz so entscheidende Rolle spielt und die Entscheidung, dass wenn möglich nur ein Typ Sensor für die verschiedenen Aufnahmewerte genutzt wird, sprechen für das Drehpotentiometer. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit auf der (verlängerten) Achse sowie über ein Zahnrad angeschlossen zu werden, ist also für unseren Einsatzzweck vollkommen geeignet.

3.3 Schalter

Die Druckschalter wurden ausschließlich im Aufbau außerhalb des Fahrzeuges verwendet, da im Fahrzeug bereits genügend Schalter vorhanden waren, die genutzt werden konnten. An die Schalter wurden folgende Anforderungen gestellt: Es sollte sich um Druckschalter handeln, es sollte sie in verschiedenen Farben geben (Ergonomie), sie sollten gut visuell und taktil erfasst werden können und darüber hinaus ein angenehmes Drücken ermöglichen. Mit dieser Anforderungsliste wurde der günstigste Schalter, der eben diese Anforderungen erfüllte, gekauft. Dabei wurden drei schwarze sowie ein roter Taster gekauft, um so eine visuelle Unterscheidung zu bieten. Dies bietet die Möglichkeit, auf den roten Taster beispielsweise später eine Funktion wie den Rennabbruch zu legen, ohne dass der Nutzer versehentlich auf diesen Knopf drückt.

4 Entwicklung

In diesem Kapitel wird die Entwicklung, also die eigentliche Ingenieursarbeit beschrieben. Ursprüngliche sollte dieser Part auf drei Personen verteilt werden, von denen eine abgesprungen ist. Daraus ergab sich die Teilung, das Herr Herzog sich um die Software-Seite und ich mich um die Hardware-Seite kümmerte. Der Bereich dazwischen, insbesondere die Sensoren, wurden von uns gemeinsam ausgewählt. Dies ist bereits unter 3 Wahl der Komponenten beschrieben. Auf Grundlage dieser Entscheidungen folgt hier jetzt die Entwicklung der 4.1 Pedalabnehmer, wo der Entstehungsprozess sowie die Funktionsweise der mechanischen Verknüpfung zwischen der vorhandenen Pedalerie des GLR2014c und den Sensoren beschrieben ist. Es folgt in gleichem Aufbau die Beschreibung zum 4.2 Lenkradnehmer, sowie die Umsetzung der zusätzlich aufgebauten 4.3 Pedalerieeinheit und der 4.4 Lenkeinheit. Abgeschlossen wird das ganze von dem 4.5 Gehäuse.

4.1 Pedalabnehmer

Wie unter 3.2.1 zu sehen wurde sich für die Variante der verlängerten Achse mit einem Drehpotentiometer entschieden. Eine entscheidende Rolle dabei spielte der Aufwand. Wie in der Abbildung 2.4 zu sehen, ist die Pedalerie am Fahrzeug aus Gewichtsgründen mit einigen Aussparungen versehen. Diese können genutzt werden um die Drehbewegung der Pedalerie „einzufangen“ und auf die verlängerte Achse zu übertragen. Dazu wurden zwei vergleichbare Abnehmer entworfen und im FDM Verfahren 3D-gedruckt. Dies ist beispielhaft am Gasabnehmer in Abbildung 4.1 zu sehen. Dort kann man auch noch einmal grafisch erfassen, was unter der „verlängerten Achse“ zu verstehen ist. In den in Abbildung 4.2 zu sehenden Potentiometerhalter wird nach Einbau der zwei Einzelteile ein Potentiometer eingebaut und anschließend mit dem Arduino verdrahtet. Zusätzlich hat in diesem Rahmen ein Umbau der ursprünglichen Pedalerie stattgefunden. So wurde eine der Federn des Gaspedals entfernt, um Platz für den Gasabnehmer zu schaffen. Diese Feder wurde wiederum am Bremspedal hinzugefügt, um ohne Bremszylinder auszukommen, welche sonst für das Wiederaufstellen des Bremspedals verantwortlich sind.

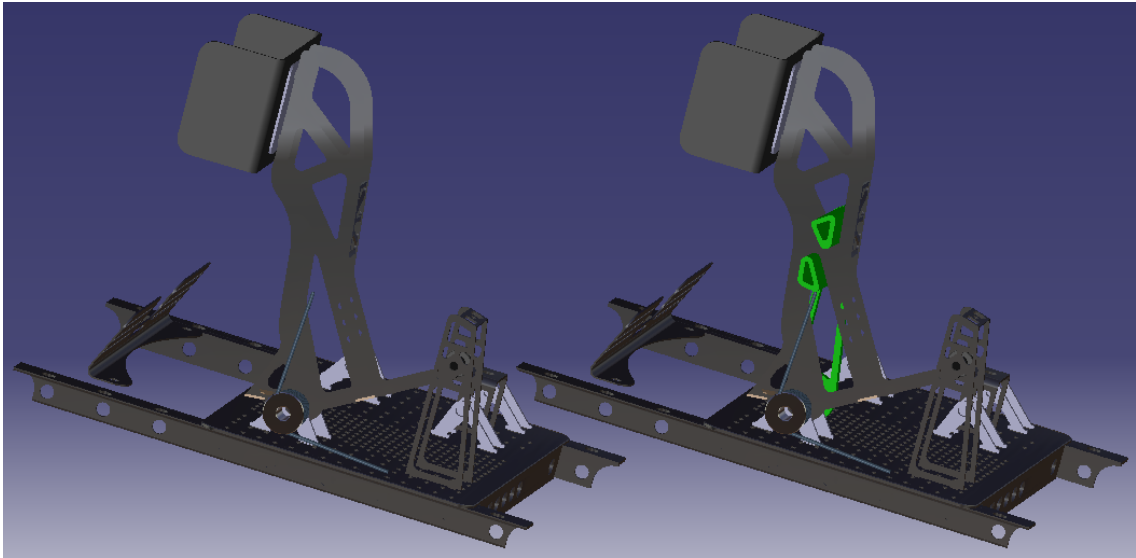


Abbildung 4.1: Rendering des Gasabnehmers [GLR19a]

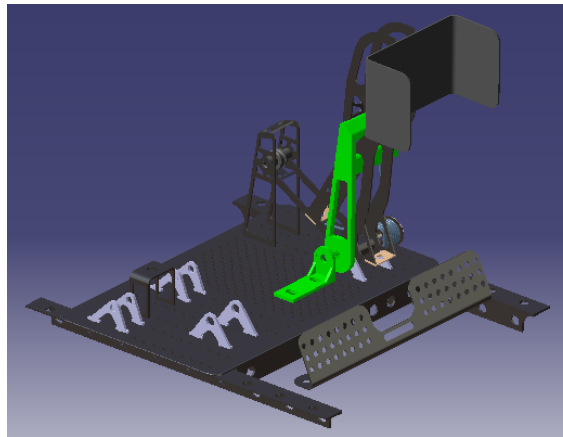


Abbildung 4.2: Rendering des Gasabnehmers mit Potentiometerhalterung [GLR19a]

4.2 Lenkradnehmer

Bei dem Lenkradabnehmer wurde ebenfalls auf Grundlage der unter 3.2 besprochenen Bauteil- und Einbauauswahl weiter gearbeitet. Hier zählte sich das Verfahren des 3D-Druckes besonders aus. So war es möglich passgenaue Teile zu fertigen. Der Lenkradabnehmer besteht aus drei Teilen, welche in der Abbildung 4.3 abgebildet

sind. Zum einen erneut aus einer Halterung in welche später das Potentiometer eingeschraubt wurde. Des Weiteren aus einem Teilzahnrad welches die Drehbewegung der Lenkstange überträgt und einem Zahnrad, welches auf das Potentiometer aufgesteckt wurde und die Drehbewegung des anderen Zahnrads so an das Potentiometer übergibt.

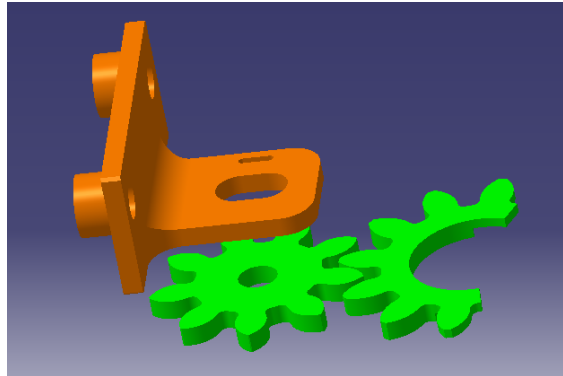


Abbildung 4.3: Rendering der Einzelteile für die Lenkwinkelabnahme [GLR14]

Hierbei wurde das Teilzahnrad in mehreren Schritten so angepasst, dass es durch Aufstecken auf die Lenkstange fest genug an Ort und Stelle sitzt um die Drehbewegung sicher an das Potentiometer zu übergeben und aufgrund dessen ein Ankleben überflüssig macht. Auch die Halterung wurde mehrfach gefertigt. Nach der ersten Fertigung stellte sich heraus, dass exakt jenes Teil in welchem der Halter zum sitzen kommt, in der Vergangenheit geändert wurde, sodass das CAD-Modell des Wagens an dessen Maßen ich mich für das Teil orientierte, nicht stimmten. Die Anpassung an das schon vorhandene Teil ist in Abbildung 4.4 gezeigt. Dank des FDM Verfahrens konnte innerhalb kurzer Zeit eine aktualisierte Version des Halters angefertigt werden.

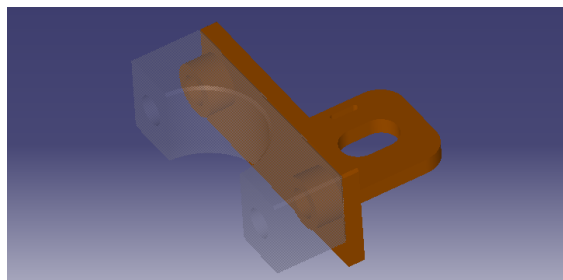


Abbildung 4.4: Rendering der Aufnahme des Halters [GLR14]

4.3 Pedalerieeinheit

Die Pedalerieeinheit wurde als einzelne und nur durch ein Kabel mit dem Arduino verbundene Einheit ausgelegt. Dies dient insbesondere der Ergonomie, da es hierdurch ermöglicht wird die Pedalerie in Rahmen der Kabellänge frei nach den eigenen Bedürfnissen zu positionieren. Die Pedalerieeinheit wurde auf einem Holzbrett montiert. Möglich ist aber die orts feste Anbringung oder ein Aufbau bei dem beide Pedale einzeln eingestellt werden können. Abseits dieses Ergonomie Aspekts basiert die Pedalerie auf einem Kompromiss zwischen Stabilität, Fertigungsoptimierung und Realitätsnähe. Das Ergebnis ist in Abbildung 4.5 zu sehen. Für das Wiederaufstellen der Pedale wurde eine Feder verwendet, welche an der rechten Seite der Pedalerie in Stufen eingehakt werden kann. Durch diese Bauweise ist es möglich die Feder- spannung noch anzupassen und eventuell eine stärkere Feder für ein realistischeres Fahrgefühl nachzurüsten.

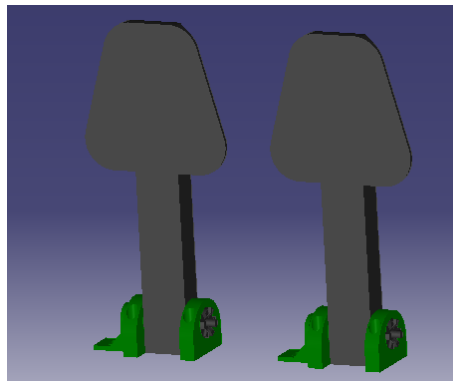


Abbildung 4.5: Rendering der Pedalerieeinheit [GLR14]

4.4 Lenkeinheit

Die Lenkeinheit wurde so realitätsnah wie möglich gestaltet. So wurde das in Abbildung 4.6 zusehende Lenkrad, auf Grundlage des, sich im Bau befindlichen, Fahrzeugs GLR2019c für den Simulator gebaut. Das Lenkrad unterscheidet sich nur darin, dass zum einen die Schaltwippen durch günstigere Taster auf der Frontseite getauscht wurden und zum anderen anstelle des Schnellverschlusses auf der Rückseite ein fest- montierter Adapter auf die Lenkstange montiert wurde. Um das Lenkrad für den Simulator nutzbar zu machen, wurde unter den Aspekten Ergonomie sowie tech- nische Machbarkeit eine Aufnahme entwickelt. Diese kann durch Schraubklemmen frei auf einem beliebigen Schreibtisch positioniert werden, sodass eine individuelle Position einstellbar ist. Darüber hinaus ist durch Schraubklemmen ein hohes Maß

an Stabilität gegeben, wodurch es auch grobmotorischen Menschen möglich gemacht wird, den Simulator zu nutzen.

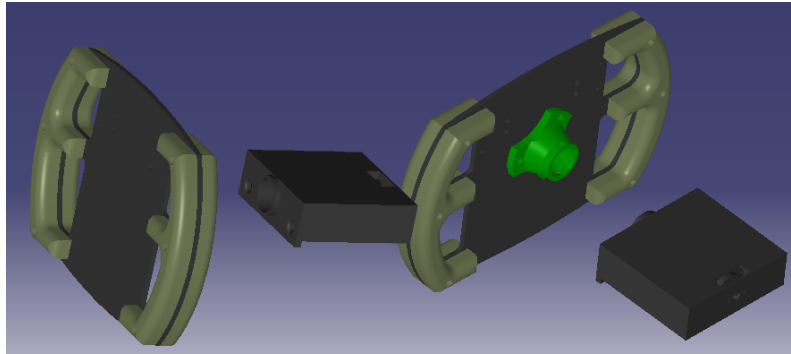


Abbildung 4.6: Rendering Lenkeinheit (ohne Lenkstange) [GLR14]

4.5 Gehäuse

Das Gehäuse wurde für den Einbau im Fahrzeug entwickelt. Hier zeigte sich, dass ein nicht gekapselter Arduino dank seiner zahlreichen Pinouts und der leitenden Karbonaußenhaut des Rennwagens nicht gut zu handhaben ist. Deshalb wurde unter Zuhilfenahme des Models von Andrew Whitham [Whi15] ein kleines Gehäuse entwickelt (siehe Abbildung 4.7), welches ein Mindestmaß an Schutz vor unbeabsichtigten Kurzschlüssen bietet. Das Gehäuse deckt fünf der sechs Seiten ab. Um trotzdem an Reset und die USB-Buchse zu gelangen sind hierzu Aussparungen im Gehäuse vorgesehen. Um den Arduino vor dem Herausfallen zu schützen, ist auf der USB-Buchse gegenüberliegenden Seite ein Nut im Gehäuse eingebracht, in die der Arduino gelegt wird. Dort kann er nur heraus genommen werden, wenn zuvor das USB-Kabel entfernt wird. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass der Arduino nicht versehentlich durch Kurzschlüsse zerstört wird.

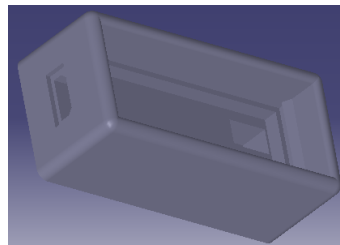


Abbildung 4.7: Rendering Gehäuse [GLR14]

5 Fazit

In diesem Kapitel wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick für weitere Forschung und Entwicklung geliefert. In dieser Arbeit sollte auf Basis eines Formula Student Rennwagen ein Rennsimulator entstehen. Darüber hinaus, sollte ein ortsunabhängiger Aufbau aufgebaut werden, welcher genutzt werden kann, wenn der Wagen nicht zur Verfügung steht. Beginnen möchte ich mit dem Rennsimulator im Fahrzeug. Für diesen wurden Sensoren gewählt und Abnehmer, die das Verbindungsglied zwischen Fahrzeug und Sensor bilden, entwickelt. Die Kombination aus Potentiometern auf der Drehachse der Pedale, sowie die Kombination aus Zahnrad auf der Lenkstange und Potentiometer, erwiesen sich als gute Lösung. Auch die Datensammlung und Verarbeitung mit Hilfe des Arduinos erwies sich als vorteilhaft, da dieser die Daten zuverlässig aufnahm und ohne Probleme an unterschiedlichen Computern als Joystick erkannt wurde. Das Ziel, einen Fahrsimulator zu entwickeln und zu fertigen um auf Messen und Ausstellungen Interessenten die Möglichkeit zu bieten einmal selbst ein Rennen im echten Rennwagen zu fahren, wurde erfüllt. Der Hauptteil dieser Arbeit ist damit zu meiner vollen Zufriedenheit beendet worden. Damit komme ich zum Aufbau. Bei diesem handelt es sich nicht um das Primärziel dieser Arbeit. Trotzdem konnte gerade in diesem Bereich einiges umgesetzt werden. So gab es hier mehr gestalterischen Freiraum, dieser wurde erfolgreich genutzt um Aspekte wie die Ergonomie, trotz des Realitätsbezuges eines Simulators, weiter in den Fokus zu nehmen. Entwickelt wurde hier zum einen, eine auf der original Pedalerie basierende, Pedalerieeinheit. Diese ist gut und flexibel gelungen. So lassen sich, die Federn frei tauschen und die Federkraft durch unterschiedliche Rastpositionen einstellen. Die Pedale wurden auf einem Brett montiert und sind dadurch nur als Gruppe zu positionieren. Die Position zueinander kann allerdings durch das Lösen dreier Schrauben ebenfalls an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Die aktuellen Federn sind etwas leicht gewählt, sodass hier kein vollends zufriedenstellendes Ergebnis erzielt wurde. Zum anderen wurde die Lenkeinheit entwickelt. Auch hier gab es einigen Gestaltungsspielraum, dieser wurde genutzt, um den Aufbau möglichst ergonomisch zu gestalten. Als Resultat wurde ein Lenkrad, welches stark an das original Fahrzeuglenkrad angelehnt ist aufgebaut. Dies wurde jedoch durch Knöpfe auf der Vorderseite erweitert, welche farblich unterschiedlich sind, und somit neben der Position einen weiteren Erkennungsfaktor bieten. Die gesamte Lenkeinheit wird durch Schraubklemmen an einem beliebigen Schreibtisch befestigt und ist somit in Höhe und Position frei einstellbar. Dadurch ist eine individuelle Anpassung an den

jeweiligen Nutzer möglich. Mit diesem Teil des externen Aufbaus bin ich sehr zufrieden. Insgesamt ist der externe Aufbau ebenfalls zufriedenstellend umgesetzt worden und beide Aufbauten können genutzt werden, um den Simulations- und oder Spielbetrieb zu erfahren.

5.1 Ausblick

5.1.1 Einbau am Fahrzeug

Am Fahrzeug funktioniert der Aufbau schon sehr gut, Verbesserungspotential sehe ich aber in den folgenden Punkten:

- **Leichtgängigkeit der Lenkung**
Die Lenkung ist durch die Reibung der Reifen auf dem Boden schwerer als von uns gewünscht. Hier kann darüber nachgedacht werden, die Lenkung von den Reifen zu entkoppeln, was allerdings bedeuten würde den Wagen weiter von der Fahrtüchtigkeit zu entfernen. Alternativ kann darüber nachgedacht werden einen „Untersteller“ zu entwickeln der zeitgleich den Druck auf die Reifen soweit verringert, dass ein realistisches Fahrgefühl bestehen bleibt, ohne das sich dies hinderlich im Simulationsbetrieb auswirkt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Stabilität des Fahrzeuges nicht beeinträchtigt wird, schließlich sitzt der Nutzer im Fahrzeug.
- **Aktuell ist nicht klar, ob die leichte Verzögerung zwischen Lenkbewegung und der Lenkung in der Software auf der Testsoftware (trackmania forever) oder auf einer Verzögerung innerhalb des Arduinos zurückzuführen sind.** Dies könnte untersucht und gegebenenfalls verbessert werden.
- **Einlesen der Startwerte**
Aktuell ist es nötig die Pedal- sowie Lenkradstellung nach Power-On des Arduinos einmalig einzulesen. Dies könnte durch eine Visualisierung über beispielsweise LED weiter erleichtert werden.
Eine weitere Option ist hier das einmalige Einlesen der Werte. Dazu könnten beispielsweise die Werte über UART an einen PC übertragen und anschließend fest im Code eingestellt werden.

5.1.2 Aufbau

Auch beim Aufbau gibt es einige Punkte welche noch weiter optimiert werden könnten, dies sind insbesondere:

- **Einstellbarer Anschlag der Pedalerie**
Aktuell ist der Ruhezustand der Pedale im 90° Winkel zur Erde. Dies ist aus ergonomischer Sicht nicht optimal. Um hier eine möglichst breite Nutzerschaft abzudecken wäre hier eine einstellbare Variante sinnvoll. Dies könnte beispielsweise durch das Vorsehen einer Einstellschraube im 3D-Druckteil des Pedals realisiert werden.
- **Ein Endanschlag der Pedalerie**
In dem ersten Design der Pedalerie wurde kein Endanschlag vorgesehen, so dass die Pedale theoretisch bis zum Boden durchgetreten werden können. Dies ist allerdings problematisch, da es nicht realitätsnah ist, kein haptisches Feedback gibt und darüber hinaus eine unzulässige Belastung der Rückstellfeder darstellen kann. Dies könnte analog zu dem Frontanschlag gelöst werden.
- **Feedback bei dem treten der Pedale**
Die aktuell eingebauten Federn sind sehr schwach, dies ist aus Kostensicht sinnvoll. Dadurch geht aber einiges an Feedback beim Tritt in die Pedalerie verloren, da hier kaum Widerstand zu spüren ist. Aus diesem Grund könnten die Federn gegen Stärkere getauscht werden. Ab einer gewissen Drahtstärke müsste hierzu die Pedalerie geringfügig modifiziert werden, um dem gestiegenen Drahtdurchmesser gerecht zu werden.
- **Einlesen der Startwerte**
Auch beim Aufbau müssen nach Power-On des Arduinos die Werte eingelesen werden. Da hier der Aufbau nicht fest montiert ist, kann durch diesen Schritt sichergestellt werden, dass selbst nach einer erneuten Montage noch die korrekten Stellungen der Pedale und des Lenkrads übermittelt werden. Allerdings könnte auch hier der Einlesevorgang durch LED erleichtert werden. Mit etwas höherem Aufwand wäre es auch hier möglich die Werte nur (beispielsweise durch eine spezielle Tastenkombination) einzulesen wenn dies gewünscht ist und die so einmal eingelesenen Werte im nicht flüchtigen Speicher des Arduino abzulegen.

5.2 Schlusswort

Das Projekt im Rahmen des Wahlfachs „Multimodale Mensch-Maschine Systeme“, hat mir persönlich viel Spaß gemacht und es konnten gute und verwertbare Ergebnisse erzielt werden. Das Ziel, der Aufbau eines nutzbaren Simulators auf Basis des GLR2014c, ist gelungen. Aus meiner Sicht ist dies ein gelungenes Projekt.

A Literaturverzeichnis

- [VDI14] VDI: *Statusreport Additive Fertigungsverfahren*, September 2015
https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/VDI_Statusreport_AM_2014_WEB.pdf
- [Wik14] Wikipedia https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Linear_Scale_Scheme.svg
- [Meh11] idw – Kunststoff-Fabrik Natur – Trends und Entwicklungen in der Biopolymerforschung – Dr. Sandra Mehlhase – Presse- und Öffentlichkeitsarbeit – Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP <https://idw-online.de/de/news405817>
- [Doh19] Jannis Dohm, CC-BY-SA 3.0 de
- [GLR14] GreenLion Racing, CC-BY-SA 3.0 de <http://www.glracing.de/rennwagen/glr2014c/>
- [GLR19a] © GreenLion Racing
- [GLR19b] GreenLion Racing, CC-BY-SA 3.0 de
- [Whi15] Arduino Micro – Andrew Whitham <https://grabcad.com/library/arduino-micro-1>
- [TMN19] Track Mania Nations Forever – ein VR lauffähiges free to play Rennspiel
<http://trackmaniaforever.com/>