

**Hochschule Flensburg**

**SmartCars**

**Maker's Lab - Things that Think**

Abschlussbericht

vorgelegt von:

**Simon Hauck**

660158

Hochschule Flensburg

simon.hauck@stud.hs-flensburg.de

**Nils Jensen**

670758

Hochschule Flensburg

nils.jensen2@stud.hs-flensburg.de

February 25, 2020

# Contents

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Motivation . . . . .	3
1.2	Projektidee . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Konzept</b>	<b>4</b>
2.1	Umsetzung . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Komponenten</b>	<b>5</b>
3.1	Hardware . . . . .	5
3.1.1	Fahrzeuge . . . . .	5
3.1.2	Visualisierung . . . . .	5
3.2	Software . . . . .	5
3.2.1	Modellierung und Slicing . . . . .	6
3.3	Werkzeuge . . . . .	6
<b>4</b>	<b>1. Design-Iteration</b>	<b>6</b>
4.1	Fahrzeuge . . . . .	6
4.2	Hard- und Software . . . . .	9
4.3	Software . . . . .	10
4.4	Darstellung . . . . .	10
4.5	Ergebnis . . . . .	11
<b>5</b>	<b>2. Design-Iteration</b>	<b>12</b>
5.1	Fahrzeuge . . . . .	12
5.2	Hard- und Software . . . . .	13
5.3	Software . . . . .	14
5.4	Darstellung . . . . .	14
5.5	Ergebnis . . . . .	16
<b>6</b>	<b>3. Design-Iteration</b>	<b>17</b>
6.1	Fahrzeuge . . . . .	17
6.2	Hard- und Software . . . . .	18
6.3	Software . . . . .	18
6.4	Darstellung . . . . .	18
6.5	Ergebnis . . . . .	19
<b>7</b>	<b>4. Design-Iteration</b>	<b>21</b>
7.1	Fahrzeuge . . . . .	21
7.2	Hardware . . . . .	22
7.3	Software . . . . .	22
7.4	Darstellung . . . . .	22
7.5	Ergebnis . . . . .	23

<b>8</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>Ausblick</b>	<b>25</b>

# 1 Einleitung

Im Zuge der Veranstaltung "Maker's Lab - Things that Think" wurde die Entwicklung interaktiver Systeme, bestehend aus Hard- sowie Software, thematisiert.

Neben dem Fokus auf der Verwendung von Raspberry Pi bzw. Arduino als Hardware Komponenten für mögliche Projekte, lag ein weiterer Schwerpunkt auf der Verwendung von Techniken und Praktiken aus den Bereichen *making* und *rapid prototyping*.

Unter Berücksichtigung dieser Punkte galt es, eine "anfassbare" Schnittstelle zwischen Mensch und Computer zu schaffen, welche gleichzeitig thematisch dem Klimapakt Flensburg und seiner Mission entspricht.

Nachfolgend soll einerseits die Motivation und andererseits die daraus resultierende Projektidee umschrieben werden.

## 1.1 Motivation

Mit dem Ziel, die Folgen alltäglichen Handelns des Einzelnen für die Umwelt besser veranschaulichen zu können, nahmen wir es uns vor, die tägliche Verwendung des eigenen PKWs zu thematisieren.

Bei der späteren Interaktion mit dem fertigen Prototypen soll für uns vor allem der Fokus darauf liegen, jeder Generation eine möglichst intuitive und zugängliche Bedienung zu bieten.

Zu diesem Zweck sollen bereits bekannte Konzepte und Komponenten aufgegriffen werden und auf spielerische Art und Weise zur Erzielung eines Lerneffekts genutzt werden. Durch eben diese Kombination erhoffen wir uns, einen Lerneffekt für jedermann, vom Vorschüler bis zum Rentner, zu erzielen.

## 1.2 Projektidee

Es soll eine Kombination aus Eingabegerät und Darstellung geschaffen werden, die sich grob an der Bewegung von Spielzeug-Autos auf einem, mit einer abstrakten Stadt und ihrer Verkehrsinfrastruktur bedruckten Teppich orientiert. Gleichzeitig soll maßstabsgetreu die Bewegung der Fahrzeuge aufgenommen und in ihre entsprechende CO2 Emmission übersetzt werden. Die so anfallende Belastung für die Umwelt wollen wir auf einem Display optisch ansprechend aufbereiten und mit anschaulichen, zusätzlichen Informationen zusammen bringen. Hierdurch sollen die Konsequenzen des eigenen Handelns verdeutlicht werden, und so einem Nutzer näher gebracht werden können, als es durch das Auflisten von Statistiken oder Ähnlichem möglich wäre.

## 2 Konzept

Im Folgenden soll nun umrissen werden, wie wir unsere in 1.2 formulierte Idee realisieren wollen.

Als Kontaktpunkt des Nutzers mit dem System sehen wir ein oder mehrere der erwähnten Fahrzeuge. Diese sollen händisch bewegt werden. Im Gegensatz hierzu stünde eine Umsetzung, in der die Fahrzeuge zum Beispiel mit Hilfe einer App fern gesteuert werden können. Hiervon erhoffen wir uns zum Einen eine einfachere, vor allem aber auch kostengünstigere Umsetzung und zum Anderen ein intuitiveres Bedienerlebnis

Um hierauf aufzubauen und den thematischen Schwerpunkt des Klimapakt Flensburg aufzugreifen, soll die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, anstelle eines generischen Teppichs eine maßstabsgetreue Darstellung der Flensburger Innenstadt sowie eventuell des Umlands zu verwenden. Auf diesem Wege wäre es weiter möglich, die Konsequenzen auch kleinerer Fahrten zu verdeutlichen.

Die Darstellung mittels des Displays könnte neben rohen Zahlen weiter um eine Repräsentation der Emissionen in weniger abstrakter Form, wie eine Menge an bestimmten Lebensmitteln, deren Produktion und Transport gleiche Werte verursachen, ergänzt werden. Weiter könnte das Display um eine zusätzliche Luftpumpe ergänzt werden, welche Ballons entsprechend der Emissionen aufpumpt.

### 2.1 Umsetzung

Um unsere Anforderungen an die Fahrzeuge erfüllen zu können, wurde einerseits evaluiert, fertige Spielzeugautos zu erwerben und um die elektronischen Komponenten zu erweitern, die zur Messung der zurück gelegten Distanz und der Kommunikation benötigt werden. Allerdings hätte sich vorab nicht klar genug sagen lassen können, ob der für diese Erweiterungen erforderliche vorhanden ist, oder sich schaffen lässt, ohne das Auto seiner Funktion zu berauben. Andererseits sahen wir die Option, die Fahrzeuge von Grund auf selbst herzustellen. Auf diese Weise kann sicher gestellt werden, dass genug Platz für die erforderliche Technik vorhanden ist.

An dieser Stelle entsteht ein Konflikt zwischen dem Platzbedarf der zu ermittelnden Komponenten und den von uns gewünschten Dimensionen der Fahrzeuge.

Weiter sollen die Fahrzeuge in einer Form geschaffen werden, die es erlaubt, ohne weitere Konfiguration "los zu fahren", sobald eine initiale Konfiguration von uns durchgeführt und die Stromversorgung hergestellt ist. Die Stromversorgung der Fahrzeuge soll mit Hilfe von Akkus umgesetzt werden, damit keine Kabel etwaiger Netzteile bei den Bewegungen der Fahrzeuge berücksichtigt werden müssen oder diese gar behindern.

Ein Verzicht auf Kabel soll auch in der Kommunikation der Fahrzeuge mit der Steuerung der Darstellung gewahrt bleiben. Hierdurch entsteht die Anforderung beide Seiten des Systems mit solchen Bauteilen auszustatten, die eine drahtlose Kommunikation erlauben. Die erforderlichen Komponenten sollen so gewählt und installiert werden, dass eine Wartung ohne unverhältnismäßigen Aufwand möglich ist. Weiter soll durch die Durchführung der Montage gewährleistet werden, dass kostspieligere Bauteile entfernt und anderweitig erneut eingesetzt werden können.

## 3 Komponenten

hello from components

### 3.1 Hardware

Das Projekt besteht aus zwei Teilen, den Fahrzeugen und der Visualisierung, für welche die benötigte Hardware in diesem Kapitel vorgestellt wird. Die vorgestellten Komponenten beziehen sich dabei auf das Konzept und ändern sich im Verlauf des Projektes.

#### 3.1.1 Fahrzeuge

Die Basis für die Fahrzeuge sollen Microcontroller sein. Diese benötigen sehr wenig Strom und ermöglichen so ein längeres Spielvergnügen. Für die Fahrzeuge soll der Arduino MKR Wifi 1010 verwendet werden. Dieser ist ca. 62mm lang und 25mm breit und somit bedeutend kleiner als der Arduino Uno. Zusätzlich ist der Arduino besonders für IoT Projekte geeignet, da ein Low Power Prozessor (SAMR21) verwendet wird. Das Board besitzt zudem eine integrierte Ladeschaltung und einen Anschluss für einen Lithium polymer Akku. Hierfür wird ein Modell mit einer Kapazität von 1000mAh verwendet, welcher einen Kompromiss zwischen Größe des Akkus und dem Formfaktor bietet. Des Weiteren besitzt der verwendete Arduino ein integriertes Wifi Modul, welches zu späteren Kommunikation mit der Visualisierung verwendet wird.

Neben dem Microcontroller wird jedes Fahrzeug mit ein paar Magneten und einem Hall Sensor ausgestattet. Der Hall Sensor gibt ein Signal an den Arduino, wenn ein Magnet sich in dessen Nähe befindet. Diese werden später zur Erkennung von Radumdrehungen verwendet. Zuletzt werden zwei LEDs mit den dazugehörigen Widerständen als Scheinwerfer verwendet.

#### 3.1.2 Visualisierung

Die Basis für die Visualisierung soll ein Raspberry Pi 4 sein. An diesen kann ein Display angeschlossen werden, welches später die erfassten Daten aufbereitet anzeigt. Der Raspberry Pi fungiert zusätzlich als WLAN *Access Point*. Die in den Fahrzeugen verwendeten Arduinos können sich direkt mit diesem verbinden und somit ist kabellose Übertragung der Daten gewährleistet. Dieser Aufbau hat den weiteren Vorteil, dass keine weitere Hardware, wie zum Beispiel ein Router zwischen den Komponenten, benötigt wird.

### 3.2 Software

Für das Projekt werden zwei verschiedene Programmiersprachen verwendet. Die Arduinos verwenden standardmäßig eine C- beziehungsweise C++-ähnliche Programmiersprache, für welche die Entwicklungsumgebung *Arduino IDE* verwendet wird. Für die

Visualisierung stehen verschiedene Programmiersprachen zur Auswahl. Für dieses Projekt soll Python 3.7 verwendet werden. Diese Sprache ermöglicht das einfache erstellen eines Webservers, welcher zum Empfangen der Daten genutzt wird und das ansteuern der IO-Pins beziehungsweise des Displays von dem Raspberry Pis.

### 3.2.1 Modellierung und Slicing

Um die für die Herstellung der Fahrzeuge mit Hilfe von 3D-Druck benötigten Modelle anfertigen zu können, war es erforderlich eine geeignete Software zur Modellierung auszuwählen.

Zweierlei Lösungen wurden hierfür in Betracht gezogen. Zum Einen *Blender*, da das nach eingangs erfolgter Recherche erforderliche Dateiformat *stl* nativ unterstützt wird und derartig weit verbreitete Open Source Lösungen oft eine entsprechend große Community vorweisen können. Zum Anderen *SketchUp*, welches zwar nur mit verringertem Funktionsumfang frei verfügbar ist, aber besonders durch seine einfache Bedienung überzeugen kann.

Die Wahl fiel darauf, zunächst erste Gehversuche mit *Blender* zu unternehmen und im Fall größerer Schwierigkeiten in der Bedienung auf *SketchUp* zurück zu greifen, da mit dieser Software bereits Erfahrungen gesammelt wurden. Die Unterstützung für das *stl* Format muss in diesem Fall jedoch über Erweiterungen sichergestellt werden.

Zur Vorbereitung etwaiger Modelle für den Druck war es weiter nötig eine geeignete Software für den *Slicing*-Vorgang zu finden. Nach erfolgter Recherche und auf Anraten des *FabLab* der Hochschule Flensburg fiel die Wahl auf *Cura*. Neben einfacher Handhabung überzeugt *Cura* durch die Unterstützung der zur Durchführung des Projekts verfügbaren Drucker und dem *stl*-Format.

## 3.3 Werkzeuge

hello from tools

## 4 1. Design-Iteration

### 4.1 Fahrzeuge

Vor Beginn erster Modellierungsarbeiten wurden zunächst bemaßte Skizzen, zu sehen in Abbildung 1, angefertigt. Hierdurch war es möglich den ermittelten Platzbedarf der Hardware Komponenten abzuschätzen und einen ersten Eindruck der Dimensionen der Fahrzeuge zu erhalten.

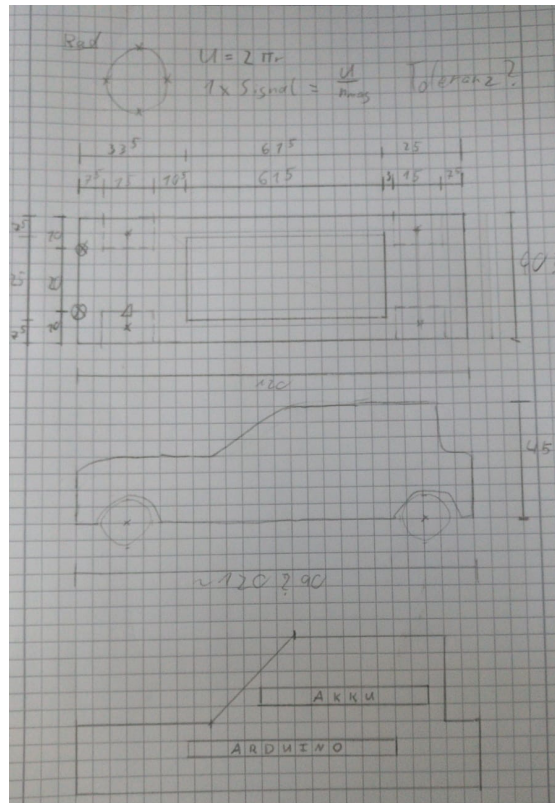


Figure 1: Erste Skizze

Bei der eigentlichen Modellierung wurde versucht, zunächst mit so wenig Details wie möglich, die grobe Form eines PKW nachzubilden. Hierzu wurde mit *Blender* zunächst ein Quader geschaffen, der in seinen Dimensionen der Skizze entspricht.

Allerdings zeichnete sich bereits bei der Modellierung dieser Rohform ab, dass die Arbeiten mit *Blender* in keinem zufriedenstellenden Tempo voran schreiten können. Aus diesem Grund wurde die in 3.2.1 zur Sprache gekommene Ausweichlösung in Form von *SketchUp* für den Rest der Arbeiten verwendet.

Der auf diesem Wege geschaffene Quader wurde in seiner Form dahingehend manipuliert, dass er äußerlich eher als PKW zu erkennen ist. Neben einer angedeuteten Frontsektion mit Motorhaube und abgeschrägter Scheibe, wurden bereits in diesem Schritt Radkästen und Aussparungen für die später benötigten Achsen geschaffen. Bei der Dimensionierung der Räder und infolgedessen auch der Radkästen galt es zu beachten, dass die beschafften Magneten ausreichend Platz finden, ohne später die strukturelle Integrität des Drucks zu gefährden oder sich so nah bei einander befinden, dass vom Hall Sensor keine einzelnen Magneten mehr erkannt werden können.

Um den Raum für die elektronischen Komponenten zu schaffen, wurde das Fahrzeug horizontal, in etwa in der Mitte seiner Höhe, in zwei Teilmodelle aufgebrochen. In sowohl



die untere, als auch die obere Hälfte wurde nun eine rechteckige Aussparung eingearbeitet, die der Skizze entsprechend ausreichend Platz bietet. Hierbei galt es zu beachten Änderungen an den Dimensionen der einen Hälfte präzise auf die andere anzuwenden. Die hier beschriebenen Arbeitsschritte sind in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen.

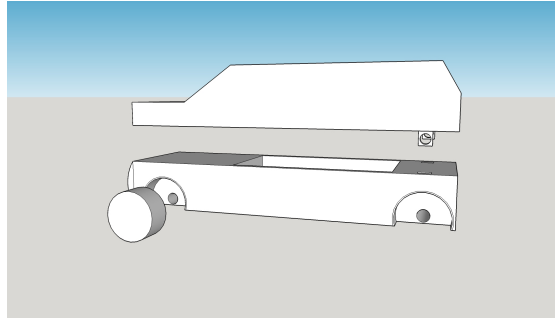


Figure 2: Seitenansicht des ersten Modells

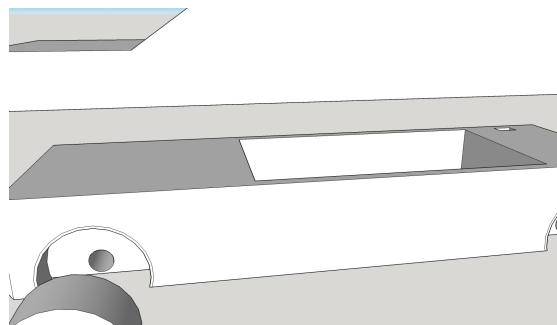


Figure 3: Aussparung im ersten Modell

Abbildung 2 zeigt weiter einen ersten Ansatz um beide Fahrzeughälften miteinander verbinden und so fixieren zu können. In der unteren Hälfte werden Aussparungen vorgesehen in die entsprechende Elemente der oberen eingelassen werden können. Diese zeichnen sich durch eine ösenartige Form aus. Somit ist es möglich entsprechend bemessene Bolzen durch beide Hälften zur gleichen Zeit zu führen, um diese zu fixieren.

Um zu gewährleisten, dass die aus der Skizze übernommenen Maße zufriedenstellend sind, wurde an dieser Stelle mit einem ersten Druck begonnen. Die in *Cura* verwendeten Einstellungen wurden unter Anleitung des *FabLab* Personals an den jeweiligen Drucker angepasst. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis dieses Drucks.

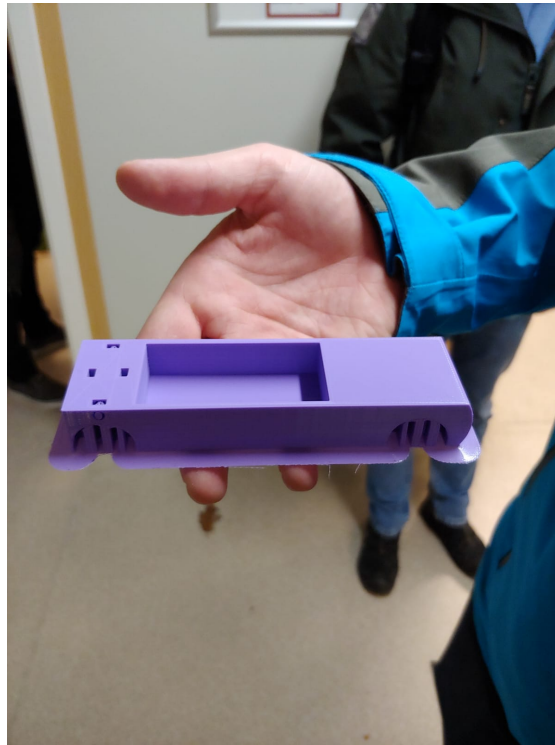


Figure 4: Druck des ersten Modells

## 4.2 Hard- und Software

Nachdem die Hardware Bestellung eingetroffen ist, soll in einem ersten Schritt die Funktionalität des Hall Sensors testweise implementiert werden. Das Ziel ist herauszufinden, bis zu welchem Abstand der Sensor die Magneten erkennt und ob der Einsatz von mehreren Magneten in den Reifen möglich ist. Für den Sensor steht nur Dokumentation im Rahmen eines Datenblattes zur Verfügung.

Hierbei erwies es sich als schwierig die Bedeutung der drei Pins aus diesem zu erkennen. Letzendlich stellte es sich heraus, dass der linke Pin +, der Mittlere *GND* und der Letzte das *Output* Signal angibt.

Beim Erstellen der Schaltung entsteht ein weiteres Problem. Der Sensor benötigt mindestens 3.7V für den Betrieb. Somit wird der + Pin an den 5V Pin des Arduinos angeschlossen. Der *Output* liefert dementsprechend auch 5V, solange kein Magnet entdeckt ist, und *GND* wenn ein Magnet in dessen Reichweite ist. Der *Output* Pin muss mit einem IO-Pin des Arduinos verbunden werden, damit das Signal von diesem eingelesen werden kann. Diese vertragen aber maximal 3.3V oder das Board kann beschädigt werden.

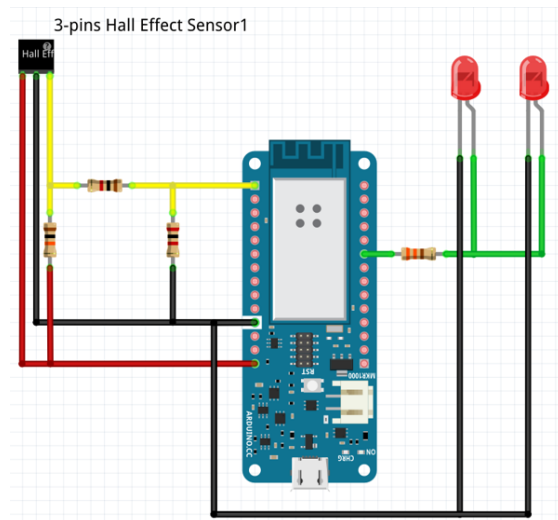


Figure 5: Erstes Konzept des Schaltplans für die Fahrzeuge

Mit einem  $1k\ \Omega$  und  $2k\ \Omega$  Widerstand können Spannungen von  $5V$  auf  $3.3V$  runter geregelt werden. Neben diesen Widerständen sollte ein  $10k\ \Omega$  Pull-Up Widerstand verwendet werden, welcher den verwendeten Pin des Arduinos auf *HIGH* zieht, solange kein Magnet erkannt ist. Das verwendete Diagramm ist in Abbildung 5 dargestellt. Hierbei werden noch zwei LEDs hinzugefügt, welche später als Scheinwerfer in dem Fahrzeug verwendet werden. Beim Testen fällt auf, dass die Kombination aus Pegelwandler und dem Pull-Up Widerstand nicht funktioniert und kein Auslesen von Sensorwerten möglich ist.

### 4.3 Software

### 4.4 Darstellung

Da bereits vor der ersten Materialbestellung deutlich wurde, dass geeignete Displays den finanziellen Rahmen des Projekts sprengen würden, wurden Konzepte für alternative Formen der Visualisierung erarbeitet.

Obwohl die Machbarkeit zu diesem frühen Zeitpunkt der Durchführung nicht abschließend geklärt werden konnte, fiel die Wahl auf eine abstraktere Art der Darstellung in Form eines Baums mit beweglichen Ästen.

Bei zunehmenden Emissionen sollen diese Äste nun mit Hilfe von Servomotoren abgesenkt und gleichermaßen nach einer Zeit wieder angehoben werden können. Um das so entstehende Bild weiter ausprägen zu können, soll der gesamte Baum in einer Kiste montiert werden, welche in ihrem inneren mit LEDs umrandet ist. Diese sollen, abhängig von der Position der Äste, ihre Farbe von grün zu rot wechseln. Abbildung 6 zeigt eine frühe Konzeptskizze der Umsetzung dieses Baums.

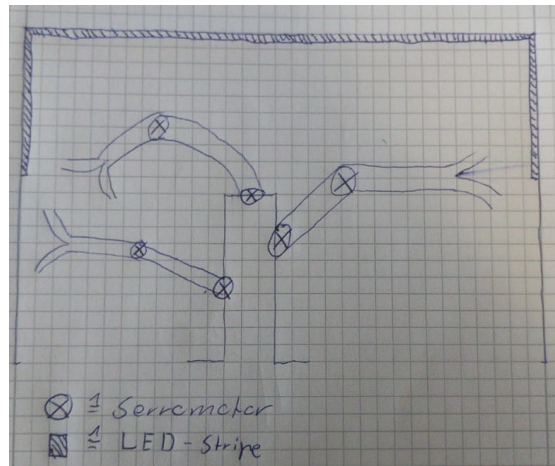


Figure 6: Erste Skizze des neuen Visualisierungskonzepts

## 4.5 Ergebnis

Obwohl die in 4.1 gezeigte Skizze die Dimensionen der zu installierenden Komponenten genau berücksichtigte, war der im Inneren des Fahrzeugs vorgesehene Platz nicht ausreichend bemessen. Zu sehen ist diese Abweichung in Abbildung 7. Der Grund hierfür war, dass die Spezifikationen des gewählten Akkus nicht berücksichtigten, dass der Akku selbst zusätzlich in einer schützenden Hülle verpackt ist.

Um diese Hülle nicht entfernen zu müssen, wurde es also erforderlich, die Maße der Aussparung im Inneren des Fahrzeugs anzupassen. Dadurch ergab sich weiter der Bedarf diesen Zuwachs auch auf die Außenmaße anzuwenden.

Außerdem wurde deutlich, dass das beispielsweise für die Radkästen benötigte Stützmaterial auch in den Hohlräumen der Befestigungsvorrichtung eingesetzt wurde. Cura verfügt nicht über die Option Stützmaterial nur punktuell einzusetzen. Es wird entweder an jeder ermittelten Stelle verwendet oder an keiner.



Figure 7: Abweichende Maße des Akkus durch Hülle

Durch die Wahl einer abstrakteren Art der Darstellung für die anfallenden Emissionen hätte der persönliche Bezug zu diesen, durch die Bewegung der Fahrzeuge auf der in 2 zur Sprache gekommenen Unterlage, seine Wirkung verlieren können. Obwohl also durch die Umsetzung mit Hall Sensoren eine recht präzise Messung der zurückgelegten Distanz möglich gewesen wäre, fiel an dieser Stelle die Entscheidung auf jedwede Art von Untergrund für die Fahrzeuge zu verzichten.

## 5 2. Design-Iteration

### 5.1 Fahrzeuge

Um die in 4.5 identifizierten Probleme hinsichtlich des Platzbedarfs zu lösen, wurden die Maße des Fahrzeugs angepasst. Da der erste Eindruck der Beschaffenheit des in Abbildung 4 gezeigten Drucks hinsichtlich seiner Stabilität die anfänglichen Erwartungen übertroffen hat, wurden zunächst die zu den Seiten des Fahrzeugs gelegenen Außenwände der Aussparung in ihrer Stärke halbiert. Weiter wurde das gesamte Modell in der Länge erweitert, und der Hohlraum im Fahrzeug so weit wie möglich in diese Richtung vergrößert. Hierdurch soll zukünftigen Platz-Engpässen vorgebeugt werden.

An dieser Stelle wurde ein weiterer Druck durchgeführt, um das Zusammenspiel mit Reifen und Befestigung zu prüfen. Hierbei wurden alle Einzelteile für den Druck in einem einzigen Drucker arrangiert.

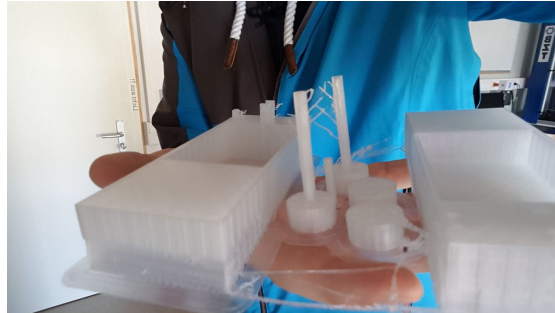


Figure 8: Alle Komponenten eines Fahrzeugs aus einem Druck

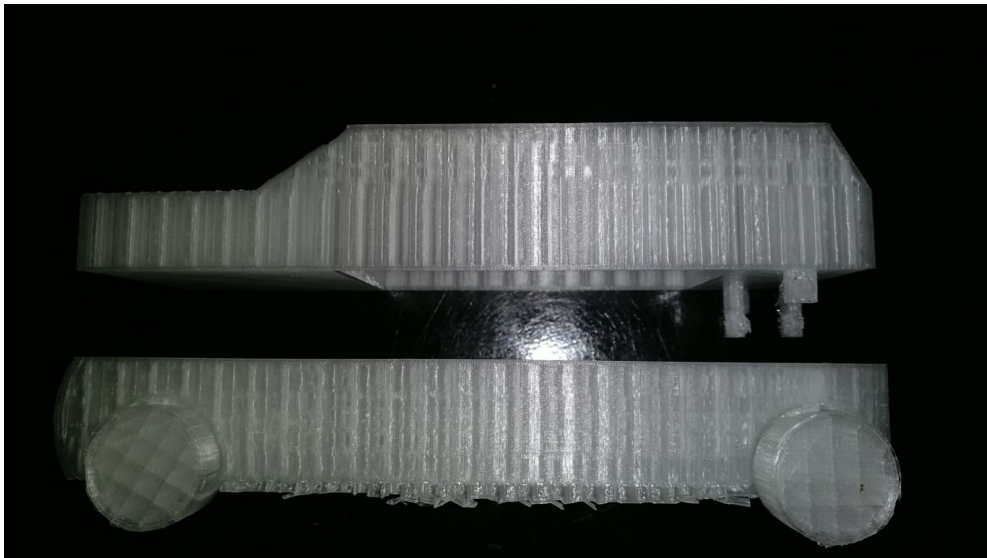


Figure 9: Fahrzeughälften mit montierten Rädern

Während Abbildung 8 das Ergebnis dieses Drucks zeigt, vermittelt Abbildung 9 einen Eindruck von Form und Dimensionen des fertigen Produkts.

## 5.2 Hard- und Software

Weitere Nachforschungen haben ergeben, dass der *Output* Pin des Hall Sensor mit einem  $1k\ \Omega$  Widerstand an den 3.3V sowie den gewählten IO-Pin angeschlossen wird. Das neue

Diagramm ist in Abbildung xy dargestellt.

Mit dieser Schaltung funktioniert das Auslesen des Sensors ohne Probleme und der Sensor erkennt Magnete mit einer maximalen Distanz von ca. 1cm. Die Magnete müssen sich hierfür direkt vor dem Sensor befinden. Somit ist es möglich, mehrere Magnete in den Reifen des Fahrzeugs unterzubringen. Mit mehreren Magneten ist ein genaueres Messen der zurückgelegten Strecke möglich. Zusätzlich werden die LEDs, welche als Scheinwerfer verwendet an je einen eigenen IO-Pin angeschlossen. Die LEDs können einzeln angesteuert werden. Dies wird genutzt um Statusinformationen auszugeben, wie zum Beispiel wenn der Controller sich mit dem Wlan Netzwerk verbindet oder Fehler beim Sendern der Daten auftreten. Somit ist ein leichteres Erkennen von Fehlern möglich.

Mit der Funktionierenden Hardware wird das komplette Programm entworfen. Eine Änderung des Hall Sensors wird durch einen Interrupt erkannt. Somit gehen keine Messerwerte verloren, auch wenn der Arduino eine lange Aktion wie das Senden ausführt. Der Arduino wartet eine Zeit  $x$  ab, welche abhängig von der Konfiguration ist. Danach überprüft er, ob das Fahrzeug sich bewegt hat und Messwerte vorliegen. Ist dies der Fall werden diese in ein JSON Objekt kodiert und anschließend an die Visualisierung gesendet. Liegen mehrere Messwerte vor, werden diese kombiniert. Zusätzlich enthält die Nachricht den Fahrzeugtyp. Dieser kann verwendet werden um die erzeugten Emissionen zu berechnen.

Zum Senden der Daten wird das integrierte WLAN Modul verwendet. Mit diesem und den erfassten Daten wird ein Post-Request durchgeführt.

Ist das Senden erfolgreich, startet der Vorgang erneut. Verliert der Arduino die Verbindung zum WLAN, versucht er diese wiederherzustellen und zeigt dies durch ein abwechselndes Blinken der LEDs. In dieser Zeit werden alle vom Sensor erfassten Daten ignoriert. Scheitert der Sendevorgang wird über die LEDs ein schnelles Blinken abgegeben und mit dem Programm wird normal fortgefahren. Bei weiteren erfassten Daten, wird ein neuer Versuch gestartet.

### 5.3 Software

### 5.4 Darstellung

Die, während 4.4 erdachte, Umsetzung einer abstrakteren Darstellungsweise wurde in diesem Arbeitsschritt hinsichtlich ihrer Umsetzung vorangetrieben.

Anhand eines ersten Papierprototypen, zu sehen in Abbildung 10, wurde begonnen, das bereits bei der Herstellung der Fahrzeugprototypen gewonnene Wissen auf die Schaffung eines druckfähigen Baummodells anzuwenden.



Figure 10: Papierprototyp des Baums

Mit den Maßen der Servomotoren als Referenz wurde mit den Modellierungsarbeiten begonnen. Eben diese Maße führten jedoch dazu, dass die geplante Umsetzung des Baums zu verhältnismäßig dicken Ästen führt. Die daraus resultierenden Dimensionen, insbesondere in die Tiefe, zeigt Abbildung 11.



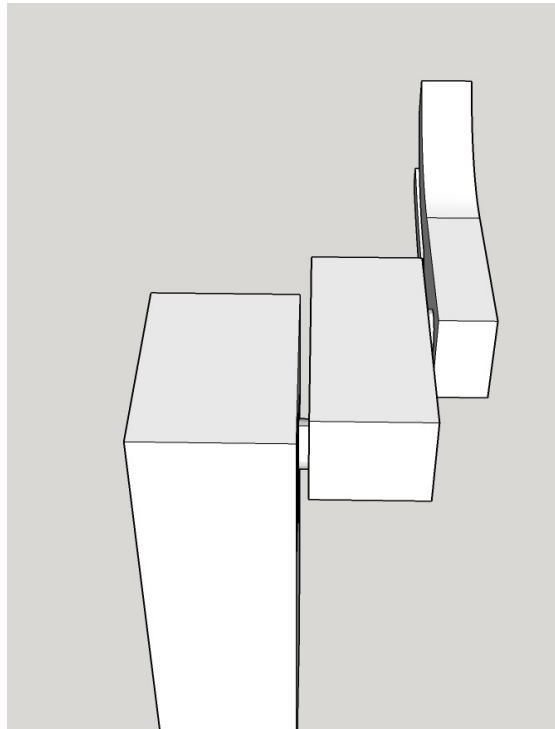


Figure 11: Dimensionen des Baummodells

## 5.5 Ergebnis

Während das in 4 zum Vorschein gekommene Problem des Platzmangels im Fahrzeuginneren gelöst werden konnte, wurde deutlich, dass es nicht möglich ist, wie in 5.1 beschrieben, alle Komponenten in einem Druckvorgang herzustellen. Obwohl die beiden Hälften des Fahrzeugs mit einer Füllmaterialdichte von 30% eine ausreichende Stabilität erreichen, ist dies bei den Achsen und Bolzen zur Befestigung nicht der Fall. Bereits bei der zweiten Montage sind die an den Rädern befindlichen Achsen, wie in Abbildung 12 gezeigt, gebrochen.

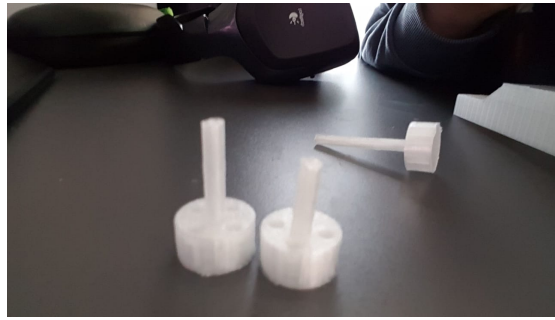


Figure 12: Achsbruch durch Mangel an Füllmaterial

Darüber hinaus konnte auch das Problem des Stützmaterials in eigentlich dringend benötigten Hohlräumen zur Befestigung noch nicht behoben werden. Auch die in 5.4 beschriebene Lösung zur Darstellung der Verschmutzung ist in dieser Form noch nicht zufriedenstellend.

## 6 3. Design-Iteration

### 6.1 Fahrzeuge

Um alle Komponenten so einfach wie möglich montieren zu können, wurden weitere Anpassungen am Modell vorgenommen. Zunächst wurden im Frontbereich Aussparungen für die LED-„Scheinwerfer“ geschaffen. Hierzu wurde der Durchmesser der LEDs aufgenommen und in Form von zwei „Tunneln“ durch das Modell eingearbeitet. Mit dem Ziel einen sichereren Halt zu realisieren, wurde dieser Tunnel in etwa bei der Länge der LEDs verengt. Auf diesem Wege soll eine jede LED an ihrem Platz bleiben können, während die erforderlichen Kabel trotzdem weiter in das Innere des Fahrzeugs geführt werden können.

Nach dem selben Prinzip wurde darüber hinaus ein Platz zur Montage des Hall Sensors im Radkasten geschaffen. Da keine genauen Maße zur Verfügung standen, wurde der Platzbedarf näherungsweise per Hand bestimmt und etwas erweitert um etwaigen Messfehlern vorzubeugen.

Da sich das Problem um die übereifrige Platzierung von Stützmaterial durch *Cura* in den vorherigen Iterationen nicht ausmerzen ließ, sollte dieser Stand des Modells nun zu Evaluationszwecken gänzlich ohne Stützmaterial gedruckt werden.

## 6.2 Hard- und Software

## 6.3 Software

## 6.4 Darstellung

Da wegen der Dimensionen der Servomotoren keine zufriedenstellende Lösung mit in den Ästen integrierten Motoren gefunden werden konnte, wurde ein neues Konzept erarbeitet.

Während an der Idee den Baum in einer mit LEDs umrandeten Kiste zu montieren festgehalten wurde, sah der neue Ansatz vor die Äste des Baums über Schnüre oder ähnliches zu bewegen. Diese sollen idealerweise von oberhalb des Baums, bewegt durch die Servomotoren, eine marionettenartige Funktionalität herstellen. Der schematische Aufbau dieser Lösung ist in Abbildung 13 dargestellt.

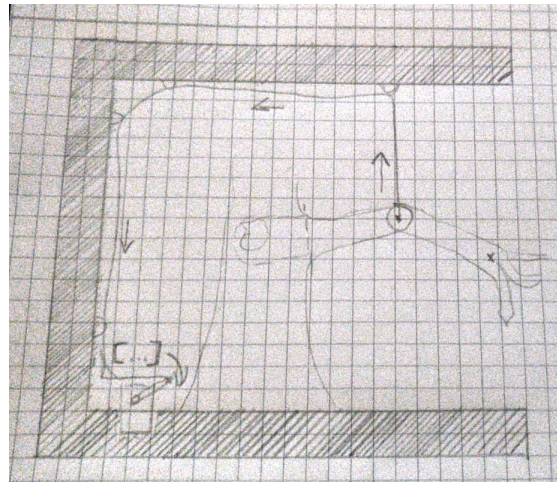


Figure 13: überarbeitetes Darstellungskonzept

Aufgrund der Tatsache, dass sich keine geeignete Umsetzung des Baums mittels 3D Druck erzielen ließ, wurde ein Bild einer Baumsilhouette gesucht. Mit diesem war es, ein geeignetes Format vorausgesetzt möglich, eine qualitativ hochwertigen Baum mit Hilfe des Lasercutters des *FabLabs* herzustellen. Auf dem gleichen Weg war es weiter ein Leichtes, die benötigte Kiste zu realisieren.

In Abbildung 14 ist ein erster Eindruck hiervon zu sehen.



Figure 14: Ausgeschnittener Baum in Kiste

## 6.5 Ergebnis

Obgleich die gewünschten Freiräume im Fahrzeuginneren erhalten werden konnten, indem ohne Stützmaterial gedruckt wurde, ergaben sich hierdurch neue Probleme. Da nun gar keine Stützen mehr gesetzt wurden, konnten einige Außenflächen, wie beispielsweise an der Motorhaube, nicht zufriedenstellend gedruckt werden. Auch die Unterseite des Fahrzeugs ist, wenn auch weniger stark, betroffen. Beide Stellen sind in Abbildung 15 zu sehen. Des Weiteren wurde deutlich, dass sich durch Zusammenspiel aus modellierten Maßen und den vom Drucker erreichbaren Präzisionsintervallen Aussparungen ergaben, die kleiner als geplant produziert wurden. Hiervon betroffen waren die Scheinwerfer und der Hall-Sensor.

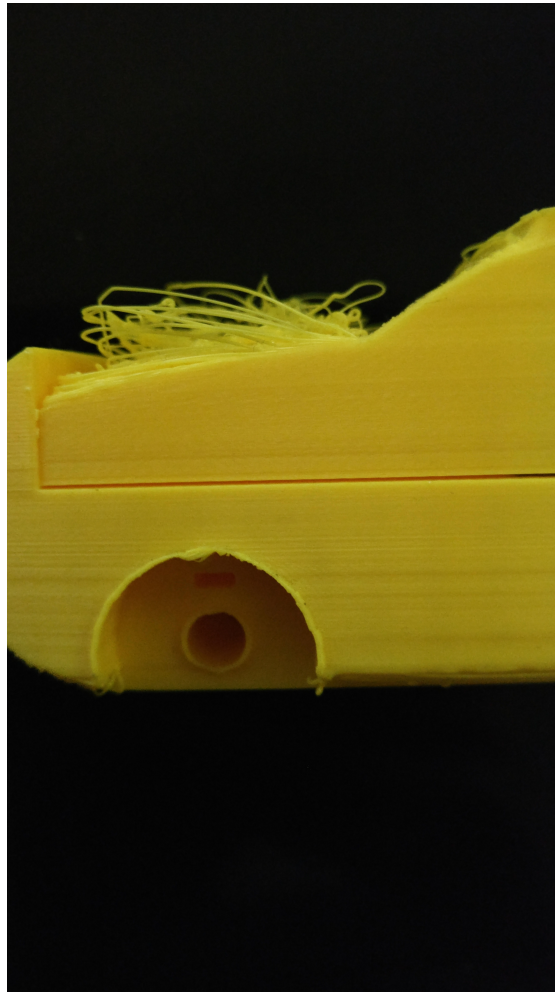


Figure 15: Probleme beim Druck ohne Stützmaterial

Während der neue Ansatz zur Visualisierung konzeptionell durchaus vielversprechend schien, so konnte mit den in Abbildung 14 gezeigten Bauteilen nicht fortgefahren werden. Sowohl die Box, als auch der Baum selbst wurden aus Holzplatten von 3mm Stärke ausgeschnitten. Insbesondere der Baum war auf Grund der Kombination aus filigranen Blättern und Ästen mit dem zu schwach gewählten Material nicht weiter zu verwenden. Bereits durch den Transport aus den Räumlichkeiten des *FabLab* verlor er eine Vielzahl an Blättern. Weiter hätten die Äste geteilt werden müssen um das in 6.4 vorgestellte Konzept umzusetzen.

Die Box selbst wurde als zu instabil beurteilt, als dass sie die Montage der Motoren und des Raspberry Pi hätte verkraften können.

## 7 4. Design-Iteration

### 7.1 Fahrzeuge

Da die vorangegangene Iteration 6 gezeigt hat, dass auch ohne Stützmaterial kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden kann, wurde der Versuch unternommen, ein alternative Befestigungslösung zu erarbeiten. Die dem Druck mit Stützmaterial zugrunde liegende Problematik äußert sich in den horizontal durch das Fahrzeug geführten Hohlräumen für die Bolzen.

Deshalb wurde der Versuch unternommen, diese nun vertikal anzubringen. Darüber hinaus sollte zusätzliche Stabilität in Längsrichtung gewonnen werden, indem eine Vorrichtung zum "einhängen" geschaffen wird. Beides ist in den Abbildungen 16 und 17 zu sehen.

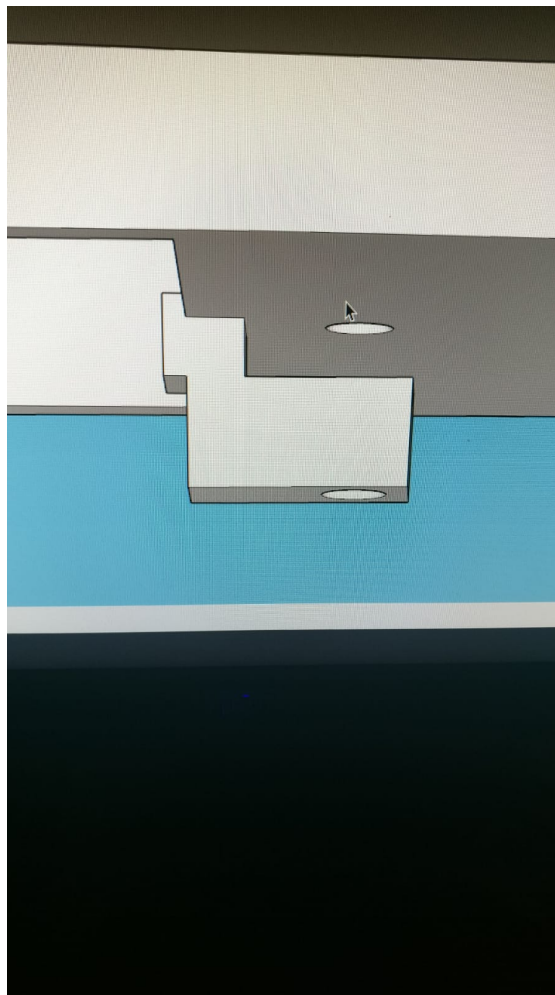


Figure 16: Neues Befestigungskonzept (obere Hälfte)

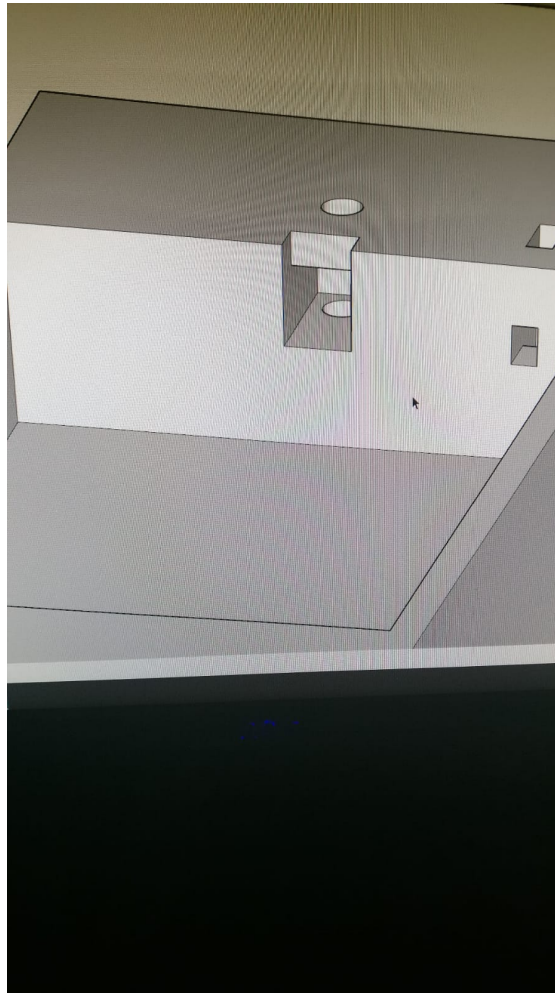


Figure 17: Neues Befestigungskonzept (untere Hälfte)

Außerdem wurden die Aussparungen für Scheinwerfer und Hall-Sensor erweitert, um umständlichen Berechnungen und Probedrucken entgegen zu wirken.

## 7.2 Hardware

## 7.3 Software

## 7.4 Darstellung

Aufbauend auf den in 6 gewonnenen Erkenntnissen, wurden ein neuer Baum und eine neue Box aus 6mm dickem Holz ausgeschnitten. Obgleich auch hier wieder einige Blätter verloren gingen, war das Resultat weitaus stabiler und wurde für die folgenden Montageschritte als geeignet befunden.

Das in 13 gezeigte Konzept sah noch eine Montage der Servomotoren hinter dem Baum, am Boden der Kiste vor. Um die Bewegung einfacher umsetzen zu können und die Montage des Raspberry Pis im inneren zu erleichtern, wurde aus Holzresten des *FabLab* eine Art Zwischenboden über dem Baum geschaffen. Die Aufhängung der Äste soll auf diesem Weg ohne weitere Umwege am Rand der Box realisiert werden können.

## 7.5 Ergebnis

Mit den in 7.1 vorgenommenen Änderungen am Modell konnte zwar genügend Platz für die Montage der kleineren Komponenten geschaffen werden, jedoch musste nun mit einer Klebepistole nachgeholfen werden, um einen sicheren Halt der Bauteile zu gewährleisten. Auch wenn die vertikale Anordnung der Befestigung die Problematik um das Stützmaterial lösen konnte, wurde der Mangel an Füllung der in Abbildung 16 gezeigten Vorrichtung bei der Montage zum Verhängnis. Da eine Erhöhung der Fülldichte bei den ohnehin schon größeren Fahrzeughälften die Druckzeit unverhältnismäßig verlängert hätte und die vorgesehenen Schächte für die Bolzen einwandfrei waren, wurde eine rustikalere Form der Befestigung gewählt. In den Räumen der Analog-Werkstatt des *FabLab* fanden sich geeignete Werkzeuge. Nach kurzer Recherche nach den genauen Maßen wurden die bereits vorhandenen Löcher in der unteren Hälfte und die eigentlich für Bolzen vorgesehenen Schächte mittels eines Bohrers erweitert. In die untere Hälfte wurden nun für M3 Schrauben passende Muttern eingearbeitet. Unter Zuhilfenahme eines kleinen Hammers und der bereits bekannten Heißklebepistole konnten diese fest mit dem Druck vereint werden. Mittels den Maßen des Fahrzeugs entsprechend gekürzten Schrauben war es nun möglich, die Hälften sicher zu vereinigen.

Abbildung 18 zeigt das Ergebnis all dieser Arbeitsschritte. Auch die transparenten Plastik-Muttern sind hier zu erkennen.





Figure 18: Befestigung mit konventionellen Mitteln

Da das erste Fahrzeug die gestellten Anforderungen erfüllt, wurde ein weiteres in Form eines Busses hergestellt. Hierzu war es ausreichend die äußere Form des Modells zu bearbeiten und einige Details hinzuzufügen die den Wiedererkennungswert steigern. Hinsichtlich der Befestigung wurde jedoch gleich auf die oben ausgeführte Methode mit Schrauben und Muttern gesetzt.

Auch die stabileren Ausführungen von Baum und Box konnten nun montiert werden. Zunächst wurden die Äste des Baums an ihren jeweils dicksten Stellen mit einer feinen Holzsäge getrennt. An beiden so entstandenen Verbindungsstellen wurden mit einem Bohrer Löcher geschaffen, die in ihrem Durchmesser leicht über die Maße einer M3-Schraube hinaus gehen. Solche Schrauben wurden nun durch die Löcher geführt und die Äste mit Muttern in Position gebracht. Auf diese Weise konnten die Äste beweglich gemacht werden.

Der Baum selbst wurde mit Hilfe eines einfachen Winkels an seiner endgültigen Position fixiert.

Auf die gleiche Weise wurde der in 7.4 erdachte Zwischenboden montiert. Im Anschluss konnten die Servomotoren hier angebracht werden. Um diese etwas kostspieligeren Komponenten wiederverwendbar zu halten, kam erneut die Klebepistole zum Einsatz.

Die Verbindung zwischen den Servomotoren und den Ästen die sie bewegen sollen,

übernahm konventioneller Faden, auch wenn die Befestigung über Knoten unerwartet zeitintensiv war. Der Grund hierfür war, dass es sich schwierig gestaltete ein Gleichgewicht zwischen erforderlichem Halt und optisch ansprechender Anfangs- sowie Endposition zu finden.

Weiter fand die Steuerung der Visualisierung ihren Platz auf, ebenfalls mit Schmelzkleber fixierten, Abstandshaltern auf dem Zwischenboden. In die Außenwand der Kiste wurde auf dieser Höhe ein Loch gebohrt, um die Stromversorgung ins Innere führen zu können. Abschließend wurde der LED-Streifen um den Baum herum montiert, wobei statt der oberen Hülle der Box nun die Unterseite des Zwischenbodens gewählt wurde. Auch hier konnte sicher gestellt werden, dass das Bauteil erneut verwendbar ist, indem die Befestigung mit doppelseitigem Klebeband durchgeführt wurde.

Um den Fokus des Betrachters nicht vom Baum abzulenken, wurde weiter eine Blende installiert, welche die Vorgänge auf dem Zwischenboden verbirgt.

## **8 Ergebnis**

Hello from result

## **9 Ausblick**

hello from outlook