

# Funktionierende Modellnachempfindung eines Hypercars

MELWIN PFISTER, LEANDER WIDMEIER

2022/2023

BETREUERIN: ELIANE MERKI

KOREFFERENT: MANUEL BISCHOF

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1</b>	<b>VORWORT .....</b>	<b>3</b>
1.1	THEMENWAHL.....	3
1.2	DANK .....	3
<b>2</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>5</b>
3.1	PROJEKTBESCHREIBUNG.....	5
3.1.1	<i>Leitfragen</i> .....	6
3.1.2	<i>Hypothese</i> .....	6
3.2	ALLGEMEINE THEORIE .....	7
3.2.1	<i>Eigenschaften eines Formel-1-Wagens</i> .....	7
3.2.2	<i>Motorisierung</i> .....	7
3.2.3	<i>Aerodynamik</i> .....	8
3.2.4	<i>Grip</i> .....	11
<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>12</b>
4.1	BAU.....	12
4.1.1	<i>Material</i> .....	12
4.1.2	<i>Vorgehen</i> .....	13
4.1.3	<i>Probleme im Vorgehen</i> .....	14
4.2	MESSUNG DER RESULTATE .....	15
4.2.1	<i>Material</i> .....	15
4.2.2	<i>Umsetzung</i> .....	16
<b>5</b>	<b>RESULTATE.....</b>	<b>17</b>
5.1	MOTOR.....	17
5.1.1	<i>Versuch 1</i> .....	17
5.1.2	<i>Versuch 2</i> .....	18
5.1.3	<i>Versuch 3</i> .....	19
5.2	AERODYNAMIK .....	20
5.2.1	<i>Versuch 4</i> .....	20
5.3	REIFEN .....	21
5.3.1	<i>Versuch 5</i> .....	21
5.4	VERGLEICH ALLER EXPERIMENTE .....	21
<b>6</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>23</b>
6.1	VERGLEICH MIT DER HYPOTHESE.....	23
6.2	BEANTWORTUNG DER LEITFRAGEN.....	24
6.3	NEUE ERKENNTNISSE .....	24
6.4	METHODENKRITIK.....	24
6.4.1	<i>Fehlertoleranz in den Messdaten</i> .....	26
6.5	AUSBLICK.....	26

<b>7</b>	<b>SCHLUSSWORT</b> .....	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>28</b>
8.1	LITERATURVERZEICHNIS .....	28
8.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	31
8.3	TABELLENVERZEICHNIS .....	31
<b>9</b>	<b>DEKLARATION</b> .....	<b>31</b>

# 1 VORWORT

---

## 1.1 THEMENWAHL

Die Idee zu diesem Projekt kam als wir uns zu zweit über die Maturarbeit, Themenwahl und Ideen ausgetauscht haben. Dabei wurde uns schnell klar, dass wir uns für ähnliche Themen interessieren und wir beide etwas bauen wollten. Was es werden sollte und wie komplex die Arbeit sein wird, wussten wir zu diesem Zeitpunkt noch nicht. Ausserdem haben wir in unsere Überlegungen miteinbezogen, dass neben dem Modellbau das Schreiben der Begleitarbeit ein wesentlicher Bestandteil ist, was zusätzlich zum Bau Zeit in Anspruch nimmt. Um unsere Motivation für ein komplexeres und grösseres Modell inklusive Begleitarbeit in der vorgegebenen Zeit und ordentlich realisieren zu können, kamen wir auf die Idee, unsere Ressourcen zu bündeln und die die Maturitätsarbeit zusammen anzugehen

Allerdings war zu diesem Zeitpunkt wie erwähnt noch immer nicht klar, was wir bauen sollten. Wir machten uns dafür verschiedene Überlegungen wie beispielsweise ein architektonisches Design eines Hauses mit einem entsprechendem Modellbau dazu, bis hin zum Bau eines Autosimulators. Unsere Ideen waren so breit gefächert, dass wir uns lange nicht auf das eine Projekt einigen konnten. Bis uns einige Zeit später die Idee kam, ein ferngesteuertes Auto zu bauen. Dafür konnten wir uns beide auf anhin sehr gut begeistern, denn rund um ein Modellauto kann man sehr viel verändern, basteln und erweitern. Da wir beide bereits autobeegeistert waren, reizte uns zusätzlich die Möglichkeit, uns mit einem «Auto» praktisch auseinandersetzen zu können. Dabei war uns von Beginn weg klar, dass ein gewöhnliches, ferngesteuertes Auto zu bauen, eine zu simple und zu konzeptlose Arbeit wäre. Somit machten wir uns Gedanken, was ein echtes Auto spannender und komplizierter macht. Dabei kamen uns sofort die hochkomplexen Hypercars, Supercars und Formel-1-Fahrzeuge in den Sinn. Denn was diese Boliden so besonders und spannend macht, ist, dass sie besonders schnell und leistungsfähig sind.

Daher war es für uns schlussendlich klar, dass wir ein ferngesteuertes Auto bauen wollen, welches einem solchen Supercar nachempfunden ist und möglichst viel Leistung mit sich bringt.

## 1.2 DANK

Wir möchten uns bei allen bedanken, die uns bei unserer Maturitätsarbeit sowohl finanziell als auch mit ihrem Knowhow tatkräftig unterstützt haben.

Zuallererst gebührt unser Dank selbstverständlich unserer Betreuerin, Frau Eliane Merki, die uns beaufsichtigte und hilfreiche Anregungen brachte, damit wir eine möglichst gute Maturitätsarbeit schreiben konnten.

Auch bei Frank Schwarz und Pierre Perdrizat von der Wieser Modellbau AG möchten wir uns Bedanken. Dank ihrer langjährigen Erfahrung konnten sie uns hervorragend beim Kauf neuer Teile beraten und wussten genau, was zu tun war, um unseren Verbrennungsmotor wieder zum Laufen zu bringen.

Zuletzt gilt ein besonderer Dank selbstverständlich unseren Eltern, welche uns grosszügigerweise das gesamte Projekt finanzierten, wodurch dieses erst möglich gemacht wurde.

## 2 ZUSAMMENFASSUNG

---

Mit dem Projekt konnte aufgezeigt werden, wie komplex ein optimiertes Auto tatsächlich ist und wieso die Forschung in diesen Bereichen, wie zum Beispiel in der Formel-1 [1]<sup>1</sup>, so intensiv und teuer betrieben wird. Denn bereits am Modell mit vergleichsweise geringerer Leistung und Komplexität wird klar, dass kleine Details, von denen es viele gibt, einen grossen Einfluss auf das Ganze haben können. Zudem war das in dieser Arbeit gebaute Auto mit einem Bruchteil der ganzen Wissenschaft und Physik rund um den Rennsport ausgestattet.

Auch beeindruckend ist, wie spezialisiert Autos mittlerweile sind. Es gibt sehr viele Möglichkeiten deren Leistung zu definieren. Für manche ist es zum Beispiel klassisch die PS-Anzahl, der Top Speed oder die Umdrehungszahl des Motors. Andere wiederum definieren die Leistung durch die Reichweite, Beschleunigungszeiten, die Nachhaltigkeit, die Offroadfähigkeit oder die Driftfähigkeit eines Fahrzeuges. Wie in eigentlich allen Bereichen ist es auch bei Fahrzeugen so, dass man differenzieren muss. Ein Dragster zum Beispiel kann jedes Beschleunigungsrennen gewinnen, würde aber auf der Rennstrecke nicht den Hauch einer Chance gegen das schlechteste Formel 1 Auto besitzen. Dieses ungleiche Abschneiden ergibt aber auch Sinn, denn obwohl beide Fahrzeuge vier Räder, ein Lenkrad und die Silhouette eines Autos haben, sind sie für ganz andere Ziele und Höchstleistungen bestimmt. Auch beim Autobau gilt es, auf gewisse Stärken zu verzichten, um andere weiter ausbauen bzw. optimieren zu können. Je nach dem, wofür das Fahrzeug gebaut wird, beginnen andere Faktoren wichtiger zu werden und mehr Priorität einzunehmen. Damit beim Konzipieren und beim Bau eines Fahrzeuges die Prioritäten auf die richtigen Stärken gelegt werden, müssen die Ziele und Anforderungen von Beginn weg geklärt und bekannt sein. Nur so ist es möglich, mit dem Endergebnis die optimale Leistung für den definierten Verwendungszweck zu erreichen. In dieser Arbeit haben wir uns dazu entschieden, uns an den Kriterien der Formel-1 zu orientieren. Weshalb vor dem Bau darüber recherchiert werden musste, auf welche Anforderungen und Kriterien geachtet werden muss und was alles geändert werden soll.

---

<sup>1</sup> Sport 1: Kosten Formel-1

Es stellte sich heraus, dass insbesondere im Bereich der Aerodynamik des Nitro-RC-Cars einige Anpassungen durchzuführen waren. Ausserdem wurde entschieden, dass die Motorisierung angepasst werden soll, um die Stärken eines herkömmlichen Elektro-RC-Cars durch die Stärken eines Nitro-RC-Cars zu unterstützen.

Schlussendlich konnten in der praktischen Versuchsreihe vor allem im Bereich der Aerodynamik klare Verbesserungen beobachtet werden, während die Effektivität der Hybridmotorisierung nur erahnt werden konnte. Bei der unterschiedlichen Bereifung zeigten sich zusätzliche Erkenntnisse, weshalb es nicht möglich war diesbezüglich ein klares Fazit zu ziehen.

## **3 EINLEITUNG**

---

### **3.1 PROJEKTBE SCHREIBUNG**

Heutzutage leben wir in einer Welt, in welcher die Mobilität durch Automobile zu einer Selbstverständlichkeit geworden ist. Trotz des nachweislich klimaschädlichen Individualverkehrs scheint der Boom der Automobilindustrie kein Ende zu nehmen. Seit der Erfindung des Autos stand dabei schon immer die Geschwindigkeit und Effizienz im Vordergrund. Jeder wollte noch schneller und noch weiter mit seinem Fahrzeug kommen. Es entstanden Autorennen, mit welchen Motorenhersteller für ihre Maschinen warben. Auch heute noch stecken Formel-1 Teams wie Mercedes-AMG Petronas Motorsport hunderte von Millionen in die Entwicklung ihrer Boliden. Aber was genau macht ein Auto schnell?

Mit dieser Arbeit soll aufgeklärt werden, was ein Auto schnell und effizient macht. Dafür analysieren wir grundlegende mechanische und physikalische Aspekte von Sportwagen. Zu Beginn theoretisch, und im weiteren Verlauf praktisch. Dazu bauen wir ein möglichst detailgetreues, ferngesteuertes Modellauto. Für den praktischen Teil, dem Modellbau, beschafften wir uns ein ferngesteuertes Auto, auf welchem unser Projekt basiert. Dieses Basismodell wurde dann Schritt für Schritt immer weiter verbessert. Alle Verbesserungen und Tuningteile sind dabei so angebracht worden, dass sie jederzeit einfach an- und abgenommen werden können. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, mit verschiedenen Tests Vergleiche herzustellen, auf Basis derer die jeweilige Veränderung in der Leistung und Effizienz nachvollzogen und bewertet werden konnte.

Unser Bestreben war es einerseits, uns selbst das Thema Auto näher zu bringen. Andererseits hoffen wir auch, anderen Interessierten mit dem Modellansatz einen praktischen Einblick in das Thema zu ermöglichen, weil uns die Thematik in unserer Vergangenheit grösstenteils sehr theoretisch und somit auch abstrakt begegnet ist.

### 3.1.1 Leitfragen

Ist es möglich, ein Modell-Hypercar [2]<sup>2</sup> zu bauen? Diese Leitfrage kann noch genauer unterteilt werden, denn lassen sich typische Merkmale eines Hypercars an ein funktionierendes Modellauto anbauen? Funktioniert das Auto danach noch? Sind diese Änderungen auch tatsächlich leistungssteigernd? Und lässt sich das auch anhand von Daten feststellen und Messen?

Es wurde entschieden, die Leistung so zu definieren, dass das Modellauto auf einer Rennstreck mit etlichen Kurven und geraden möglichst schnell sein und damit möglichst schnelle Rundenzeiten erreichen soll. Dazu gehören auch eine gute Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit. Zu definieren, was unter «leistungssteigernd» verstanden wird, ist für die Arbeit insofern wichtig, da ein Auto für ein Dragsterrennen, in welchem es rein um die Beschleunigung geht [3]<sup>3</sup>, beispielsweise andere physikalische Aspekte erfüllen muss als ein Formel-1-Auto, welches extrem tiefe Rundenzeiten erreichen soll.

In der vorliegenden Arbeit hat man sich sehr stark an der Fahrphysik [4]<sup>4</sup> der Formel-1 orientiert, da das Ziel des gebauten Modellautos möglichst gute Rundenzeiten auf der erwähnten Rennstrecke war.

### 3.1.2 Hypothese

Bezüglich des ersten Teils der Leitfrage wird erwartet, dass es definitiv möglich sein sollte, typische Merkmale eines Hypercars an ein RC-Car anzubringen, da es am Auto noch genug Platz und leere Fläche hat, an welche etwas angebaut werden kann. Karosserie und Räder können ohne Probleme ausgetauscht werden, da Modellautos normalerweise sowieso aus austauschbaren Einzelteilen bestehen.

Ein solches, umgebautes Auto sollte auf jeden Fall noch fahrfähig sein, da kaum Änderungen vorgenommen wurden, welche das Fahrzeug am Fahren hindern sollten. Einzig und allein das erhöhte Gewicht könnte noch einen Einfluss haben. Jedoch wird nicht erwartet, dass das Modellauto wegen dessen Erhöhung nicht mehr fahren können sollte.

---

<sup>2</sup> Coolsten: Unterschied zwischen Hypercar und Supercar

<sup>3</sup> Nitrolympx: Drag Racing Lexikon

<sup>4</sup> Lernhelfer: Fahrphysik

Es ist gut vorstellbar, dass die geplanten Umbauten dazu im Stande sind auch bei diesem kleinen und deutlich leistungsschwächeren Fahrzeug die Fahrphysik merklich zu verändern, da die Gesetze der Physik logischerweise immer gelten.

Ob die Änderungen der Fahrphysik messbar sein werden, ist noch unsicher, da es durchaus sein könnte, dass das Modell zu klein sein könnte, als dass die verbesserte Aerodynamik zum Beispiel anhand von Messdaten klar erkannt werden kann.

Um die Hypothesen zu untersuchen, werden mit dem Auto verschiedene Fahrversuche und Messungen durchgeführt.

## **3.2 ALLGEMEINE THEORIE**

### **3.2.1 Eigenschaften eines Formel-1-Wagens**

In der Formel 1 ist es wie in den meisten Motorsportdisziplinen das Ziel, maximal schnell zu sein. Dazu gehören möglichst hohe Geschwindigkeiten auf Geraden und in Kurven, wie auch eine möglichst hohe Beschleunigung und Bremskraft. Jedoch entstehen in der Erreichung all dieser Ziele auch gewisse Konflikte. Denn eine hohe Kurvengeschwindigkeit und Bremskraft wird durch Flügel erzeugt, welche den Anpressdruck des Autos auf den Boden vergrößern. Diese Flügel generieren andererseits aber auch mehr Luftwiderstand, unter welchem die Beschleunigung und die Geschwindigkeit auf der Geraden leiden. Da eine Formel 1-Strecke normalerweise deutlich mehr Kurven als lange Geraden hat, setzt man bei den Boliden sehr stark auf den Anpressdruck und versucht die daraus resultierenden Nachteile durch eigens dafür entwickelte und sehr leistungsstarke Motoren und Bremsen zu kompensieren.

### **3.2.2 Motorisierung**

Um ein Fahrzeug mit der Grösse eines Autos anzutreiben, werden zum heutigen Stand drei wesentliche Antriebsarten genutzt. Darunter die Verbrennungsmotoren, welche Diesel, Benzin, Wasserstoff, Ethanol oder Gas nutzen, die reinen Elektromotoren oder die Hybridantriebe [5]<sup>5</sup>. Auch im Modellbau werden Elektromotoren und Verbrenner verbaut. Letztere werden dabei normalerweise aufgrund der kleineren Grösse mit einer Mischung aus Methanol (zur Verbrennung), Nitromethan (als Sauerstoffträger) und Rizinusöl (als Schmiermittel) gespeist [6]<sup>6</sup>. Modellfahrzeuge mit Hybridantrieb gibt es bei Händlern nicht zu kaufen. Dies vermutlich aufgrund der zu hohen Kosten und der aufwändigeren Steuerung.

Im Gegensatz zu einem Verbrennungsmotor erreicht ein elektrischer Antrieb das maximale Drehmoment schon sehr kurz nach dem Anlaufen. Dies führt zu einer sehr schnellen

---

<sup>5</sup> Smatics: Antriebsarten

<sup>6</sup> Conrad: Treibstoff für Modellmotoren

Beschleunigung. Ausserdem ist ein Elektromotor deutlich unkomplizierter aufgebaut und benötigt weniger Wartung [7]<sup>7</sup>. Verbrenner haben dafür eine deutlich längere Reichweite und können trotz langsamerer Beschleunigung gleiche, wenn nicht sogar höhere Geschwindigkeiten erreichen. Insbesondere im Modellbau sind Verbrennungsmotoren trotz ihrer Komplexität günstiger, kleiner und leichter als ein Elektromotor, welcher die gleiche Maximalgeschwindigkeit erreicht.

Um nun also die Beschleunigung eines Elektromotors und die Maximalgeschwindigkeit und Reichweite eines Verbrenners zu nutzen, werden beide Motoren in einem sogenannten Hybridmotor zusammengeschlossen.

### 3.2.3 Aerodynamik

#### 3.2.3.1 $C_w$ -Wert und Down Force

Grundlegend für das Verständnis der Aerodynamik eines Supercars ist der sogenannte  $C_w$ -Wert. Diesem zugrunde liegt das Gesetz, dass alle Objekte, welche sich durch ein Gasgemisch wie die Atmosphäre bewegen, dieses verdrängen müssen. Dadurch entsteht eine Wechselwirkung zwischen dem Objekt und den Gasteilchen. Wie viel Widerstand die Luft leistet, ist von der Grösse, Form und Oberflächengegebenheit des Objekts abhängig und wird mit dem sogenannten Strömungswiderstandskoeffizienten, auch  $C_w$ -Wert genannt, gemessen.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass grosse kugelförmige oder flache Objekte einen eher grossen  $C_w$ -Wert aufweisen, während Spindel und tropfenförmige Objekte eher windschlüpfrig sind und damit einen sehr niedrigen Wert aufweisen.

Wichtig für das spätere Verständnis der Aerodynamiktheorie ist auch, dass im  $C_w$ -Wert die Geschwindigkeit nicht miteingerechnet wird, obwohl sie einen grossen Einfluss auf die Windschlüpfrigkeit des Autos hat. Denn je grösser die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist, desto mehr Luftteilchen müssen verdrängt werden und ziehen über das Fahrzeug hinweg oder daran vorbei, womit sich ein niedriger oder hoher  $C_w$ -Wert bemerkbar macht [8]<sup>8</sup>.

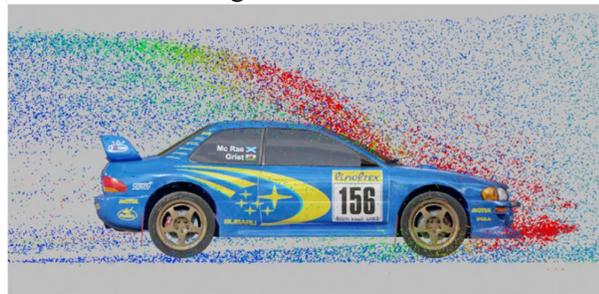


Abbildung 1: CFD-Darstellung des Luftwiderstands

Ein hoher  $C_w$ -Wert kommt also bei grossen Flächen zustande, welche frontal in Richtung Fahrt ausgerichtet sind oder durch viel Luftreibung an der Objekt Oberfläche, beispielsweise aufgrund

<sup>7</sup> E-Auto-Journal: Elektromotor vs. Verbrennungsmotor

<sup>8</sup> Galileo: Luftwiderstand

von Vertiefungen und Erhöhungen auf der Oberseite. Je schneller sich das Objekt durch die Atome bewegt, desto stärker wird die Reibung zwischen ihm und der Luft, weshalb dann der Luftwiderstand stärker wird.

An sich bedeutet ein hoher Strömungswiderstandskoeffizient, dass man sehr stark von der Luft ausgebremst wird. Gleichzeitig ist ein niedriger Koeffizient für Beschleunigung und Top-Speed von Vorteil, da das bewegte Objekt deutlich weniger Gegenkraft erfährt.

Wenn man nun aber nachschaut, was für ein  $C_w$ -Wert beispielsweise Formel 1 Autos haben, wird man feststellen, dass diese einen deutlich höheren  $C_w$ -Wert haben als gewöhnliche Strassenautos [9]<sup>9</sup>. Diese Ungereimtheit lässt sich durch die sogenannte Down-Force [10]<sup>10</sup> erklären. Diese Abtriebskraft ist essenziell für gute Rundenzeiten, da sie den Fahrern erlaubt, auch in Kurven möglichst schnell zu fahren. Man nimmt also einen Verlust der Beschleunigung und des Topspeeds in Kauf, um aus den Kurvenfahrten Zeit aufholen zu können. Durch den erhöhten Anpressdruck haftet ein Auto viel besser am Boden, weshalb der Fahrer für Kurven weniger abbremsen muss und dadurch gesamthaft sehr viel schneller fahren kann.

### 3.2.3.2 *Unsere Anpressdruckoptimierungen*

Wir haben uns auf vier zentrale Punkte des Anpressdrucks fokussiert: die Keilform der Karosserie, der Heckdiffusor, der aktive Spoiler und die Gewichtsverteilung.

Das einfachste war die Keilform der Karosserie. Wieso es sinnvoll ist, diese Form zu wählen lässt sich anhand folgender Beispiele relativ einfach erklären. Wenn man ein A4 Papier aufstellt, so dass es eine «Wand» bildet, dann müsste es sehr viel Luft verdrängen, um sich vorwärtsbewegen zu können. Würde man das Blatt hinlegen und waagrecht in der Luft halten, müsste es fast keine Luftteilchen verdrängen, da es ja nahezu keine Angriffsfläche bietet. Würde man das Blatt aber in dieser Lage etwas hochheben und von vorne mit einem Föhn, Wind «erzeugen», beginnt das Blatt zu flattern und nach oben zu ziehen, was dazu führt, dass man fast keine Kontrolle mehr hat, da das Blatt nun «willkürlich/ungesteuert» in der Luft herumflattert. Deshalb entscheidet man sich für den Mittelweg, der Keilform. Das Auto bietet so zwar immer noch eine grosse Angriffsfläche, welche aber so ausgerichtet ist, dass der Luftwiderstand das Auto nach unten und nicht, wie bei einer Wand, nach hinten presst.

---

<sup>9</sup> Speedweek: Aerodynamik

<sup>10</sup> Onthegrid.de: Downforce

Auch die Gewichtsverteilung hat einen Einfluss auf den Anpressdruck. Allgemein gilt, dass für ein sogenanntes «neutrales Fahrverhalten» der Schwerpunkt möglichst mittig liegen sollte. Hinzu kommt, dass der Schwerpunkt bei einem performancebasierten Auto möglichst tief liegen sollte, da man so auch wieder eine bessere Bodenhaftung erzeugen kann. Im Profibereich (Formel 1 zum Beispiel) wird der Schwerpunkt auf den Fahrstil des jeweiligen Fahrers angepasst. Dabei ist nicht immer ein neutrales Fahrverhalten gewollt [11]<sup>11</sup>.

Ebenfalls entscheidend für die Down Force ist der sogenannte Heckdiffusor. Wie auch der Heckspoiler hat der Heckdiffusor eine lange Geschichte im Rennsport und ist schon fast Tradition. Allerdings konnte erst 1980 nachgewiesen werden, dass der Diffusor tatsächlich auch eine positive Wirkung erzeugt.



Abbildung 2: Unser selbstgebauter Heckdiffusor

Der Diffusor basiert auf dem Venturi Effekt und der Bernoulli Gleichung.

Der Venturi Effekt besagt, dass in einem glattwandigen Rohr, dessen Querschnittsfläche immer kleiner wird (praktisch kegelförmiges Rohr), eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids (Gas oder Flüssigkeit) festzustellen ist, je enger das Rohr wird [12]<sup>12</sup>.

Die Bernoulli Gleichung beschreibt den Zusammenhang zwischen der Strömungsgeschwindigkeit und dem Druck eines Gases. Denn je schneller das Gas an einem Objekt vorbeiströmt, desto kleiner ist dessen Druck. Beispielsweise ist dieser Effekt auch zum Teil für den Auftrieb eines Flugzeugs verantwortlich, da dessen Flügel so geformt sind, dass die darüber strömende Luft schneller ist als die darunter. Dadurch entsteht eine Druckdifferenz, welche Auftriebskraft generiert [13]<sup>13</sup>.

Angewendet auf den Diffusor heisst dies also, dass erstens eine glatte Oberfläche benötigt wird. Weiter sollte auch dessen Rand möglichst luftdicht mit dem Boden verschlossen sein, was in der Realität kaum möglich ist. In der Praxis sollte er somit möglichst nahe zum Boden liegen zu kommen. In der Formel-1 beispielsweise, schleifen die Diffusoren oft am Boden, weshalb man dann Funken hinter dem Auto sieht. Dank des Diffusors entsteht unter dem Auto eine Art Kanal, welcher die Luft unter dem Auto aufgrund des Venturi-Effektes schneller strömen lässt. Dadurch entsteht ein Unterdruck unter dem Auto, auf Grund dessen das Auto an den Boden «gesogen» wird.

<sup>11</sup> Motorsport Total: Schwerpunkt

<sup>12</sup> Enginerd.xyz: Venturi-Effekt

<sup>13</sup> LEIFIPhysik: Bernoulli-Gleichung

Als letztes wichtiges Element für den Anpressdruck hat man sich auf den Spoiler fokussiert. Er lenkt ebenfalls die Kraft des Luftwiderstandes um, so dass das Auto auf die Strasse gedrückt wird. Unter dem Begriff Spoiler ist vielen ein fixes, brettförmiges Objekt am Heck des Autos bekannt. Bei diesem Modellauto wurde hingegen ein sogenannter Active-Aero-Spoiler eingebaut [14]<sup>14</sup>, welcher sich bewegen kann und sich somit optimal dem Luftwiderstand anpasst. So wird der Winkel des Spoilers steiler, wenn das Auto in eine Kurve fährt und sich dadurch das Auto besser auf der Strasse hält. Beschleunigt das Auto danach wieder, fährt der Spoiler nach unten und fängt so möglichst wenig Luft ab, um das Auto so wenig wie möglich auszubremsen.

### 3.2.4 Grip

Der Reifen ist bei einem Auto das A und O für die Kraft- und Lenkungsübertragung auf den Boden. Er spielt insbesondere als Gesamtkonstruktion bei der Kraftübertragung auf den Boden eine wesentliche Rolle. Je nach Bodenart und Gegebenheit sind andere Profiltypen geeignet oder eben nicht. Je grösser die Auflagefläche des Reifens auf dem Boden und je ebener ein Reifen, umso besser die Kraftübertragung. Je unebener das Profil eines Reifens ist, desto weniger Auflagefläche hat er und desto weniger Austauschfläche gibt es.

Ein Profil macht aber dennoch Sinn. Denn dieses stellt auf einer nassen Fahrbahn trotz des Wassers noch einen direkten Kontakt zur Strasse sicher, indem die Profilinebenheiten im Reifen das Wasser unter diesem verdrängen und dadurch dem Wasser zur Seite hin ein Ausweg bereitgestellt wird. Slicks würden in einer solchen Situation den Bodenkontakt vollständig verlieren und damit einhergehend die allgemeine Kontrolle über das Auto sowie die Möglichkeit der Kraftübertragung verunmöglichen [15]<sup>15</sup>.

Die drei Hauptaspekte eines Reifens sind demnach das Profil, die Reifenhärte, welche mit der Luftmenge und dem Gummigemisch zusammenhängt, und die Reifenbriete.

Es gibt viele verschiedene Profiltypen bei Autos, welche alle ihre Vor- und Nachteile haben [16]<sup>16</sup>. Im der Formel-1 werden vor allem drei Arten von Reifen eingesetzt: die Slicks, die Intermediates und die Regenreifen [17]<sup>17</sup>. Das besondere an den Slicks ist, dass sie als einzige Reifenart gar kein Profil haben und deshalb nur auf trockenen Böden eingesetzt werden können. Auf feuchtem oder nassem Untergrund würden sie die Bodenhaftung verlieren. Wenn der Boden hingegen trocken ist, kann dieser Reifentyp die mit Abstand beste Leistung aus dem Auto herausholen.

---

<sup>14</sup> Torque: Active Aerodynamics

<sup>15</sup> Mywheels: Reifenprofil

<sup>16</sup> Oponeo: Reifenprofil

<sup>17</sup> Reifenqualitaet: Slicks

Die Reifenhärte ist ein weiterer wichtiger Faktor. Mit zunehmender Reifenhärte verkleinert sich die Auflagefläche, mit abnehmender Reifenhärte hin zu einem weichen Reifen vergrössert sich die Auflagefläche des Reifens. Die Reifenhärte kann durch das Gummigemisch [18]<sup>18</sup> oder aber auch durch die Luftmenge im Reifen beeinflusst werden. Ein Reifen sollte so weich sein, dass er das Maximum an Auflagefläche mitnimmt, ohne aber vom Gewicht des Autos so fest zusammengedrückt zu werden und dadurch nicht mehr komplett rund ist. In einem solchen Fall würde der Reifen durch die Unebenheit zu mehr Rollwiderstand und damit einhergehend zu einer Leistungseinbusse führen.

Schlussendlich wäre da noch die Reifenbreite, die logischerweise die Auflagefläche stark beeinflusst. Denn je breiter der Reifen, desto grösser fällt seine Auflagefläche aus.

## 4 MATERIAL UND METHODEN

---

### 4.1 BAU

#### 4.1.1 Material

Ein Grossteil der Teile, die für den Bau des Autos genutzt wurden, waren gebrauchte Teile, welche entweder im Internet gekauft wurden oder bereits in unserem Besitz waren. Die wichtigsten Komponenten wurden dabei aus einem, bei Ricardo gekauften, Subaru Impreza Modell im Verhältnis von 1:8 genutzt. Dazu gehörte der Nitromotor, der Tank, das Fahrgestell und die Karosserie. Ausserdem wurden vom Verkäufer auch mehrere verschiedene Radsätze mitgeliefert, welche wir allerdings nicht verwendeten, da wir neue, profillose Reifen bevorzugten. Auch die Stossdämpfer, längere Treibstoffschläuche, eine Kupplung, der Nitrotreibstoff, ein Ritzel, verschiedene Glühkerzen, ein Glühkerzenzündler, ein zusätzlicher Servomotor, ein Heckspoiler, die Materialien für den Diffusor, die Halterungen für den Elektromotor, eine Pan Car Karosserie und ein Empfänger wurden als Neuteile online eingekauft. Bevor letzterer jedoch angeschafft wurden, konnte der Sender und Empfänger von Melwins altem Modellauto genutzt werden. Mit der Anschaffung des neuen Empfängers konnte Leanders Flugzeugsender genutzt werden, welcher viel mehr Steuerungselemente besitzt. Aus dem alten Modellauto von Melwin konnten ausserdem viele Stützelemente, der Elektromotor, der Motorregler, die Motorhalterung, ein Servomotor und ein NiMH-Akku genutzt werden. Der letzte benötigte Servo und drei weitere Akkus waren noch vom poL-Projekt Modell-Uboot in unserem Besitz.

---

<sup>18</sup> Continental: Reifenmischung

### 4.1.2 Vorgehen

Passende Einzelteile für Verbrennungsmotoren im Modellbau sind schwierig zu finden. Dies aufgrund von uneinheitlichen Normen, weshalb die einzelnen Teile nicht zueinander kompatibel und zudem sehr teuer sind. Deshalb wurde ein 1:8 Modellauto mit bereits eingebautem 2-Takt-Nitromotor gekauft. Allerdings funktionierten beide Servomotoren nicht mehr und mussten ersetzt werden. Der Nitromotor hingegen lief bereits nach wenigen Anläufen problemlos.

Der erste grosse Umbauschritt wurde am Fahrgestell vorgenommen, indem neue und härtere Stossdämpfer eingebaut wurden. Die Räder wurden mit neuen, profilärmeren ausgetauscht, um das Auto hinsichtlich den Leistungszielen zu optimieren. Zusätzlich führte dieser Umbauschritt dazu, dass das Auto auf der Strasse tiefer zum Liegen kam als zuvor.

In einem weiteren Schritt wurden verschiedenen Elektroteile eingearbeitet. Um möglichst kosteneffizient an elektronische Teile zu gelangen, wurde ein altes ferngesteuertes Elektroauto auseinandergebaut. Dadurch konnten ein Elektromotor, ein Motorenregler und ein Servomotor gewonnen werden. Um diesen zusätzlichen Elektromotor einbauen zu können, musste der bestehende Nitrotank verschoben werden, wofür längere Schläuche gekauft und Löcher in den Unterboden gebohrt wurden. Diese Anpassung schaffte mehr Platz in



Abbildung 3: Einbau des Tanks und Nitromotors

der Nähe der Kupplung, wo später der Elektromotor platziert wurde.

Die Lieferung der Montageteile für den Elektroantrieb dauerte lange an, weshalb wir uns währenddessen mit dem Design und Bau der Aerodynamik-Upgrades beschäftigten. Eines davon war der Diffusor. Dieser wurde aus einer ein Millimeter dicken PLA-Platte gefertigt, welche mit Hilfe eines Bunsenbrenners an den langen Seiten nach unten und an den hinteren Seiten leicht nach oben gebogen wurde. Befestigt wurde der Heckdiffusor mithilfe von Kabelbindern, um ihn je nach Testszenario schnell und einfach an- beziehungsweise abzumontieren. Ein weiteres Upgrade betraf die Karosserie. Für diese fiel der Entscheid auf eine sogenannte «Pan Car»-Karosserie, da diese aufgrund ihrer Form viel Abtrieb verursacht und trotzdem einen relativ geringen cw-Wert aufweist. Zudem wurde am Heck des Autos mit Teilen von alten Stützelementen ein Flügel installiert, dessen Neigung mithilfe eines darunter eingebauten Servomotors verstellt werden konnte.

Nach den Anpassungen an der Aerodynamik war die Montage des Elektromotors als nächstes im Fokus. Leider griffen die Halterungen für den Elektromotor in den ersten Versuchen noch nicht richtig, weshalb der Antrieb herumlief. Um dieses Problem zu beheben, wurde aus der Halterung, welche den Motor im vorherigen Auto befestigte, ein tropfenförmiges Teil gefertigt, welches verhinderte, dass sich das Gehäuse des Elektroantriebs mitdrehen konnte. Danach wurden neue Löcher in den Unterboden gebohrt und der Motor konnte mit einem neu gekauften Ritzel direkt an die Kupplung angeschlossen werden.



Abbildung 4: Elektromotor mit angebauter Halterung

Zum Schluss wurden wiederum neue, profillose Reifen montiert und es wurde damit begonnen, das Luft-Nitro-Gemisch des Verbrenners abzustimmen. Ausserdem musste noch der Sender korrekt programmiert werden, damit alle Motoren richtig auf die Eingaben reagierten.

#### 4.1.3 Probleme im Vorgehen

Die ersten Probleme traten bereits beim Kauf der Teile auf. Wir haben dabei festgestellt, dass es nahezu unmöglich war, gegenseitig passende Einzelteile für ferngesteuerte Verbrennerfahrzeuge zu beschaffen. Die meisten der Teile hatten nicht dieselbe Norm, waren nur im Ausland verfügbar und verhältnismässig sehr teuer. Aus diesem Grund wurde uns in einem Modellbauladen empfohlen, ein günstiges Modellauto bei Ricardo zu kaufen, was allerdings neue Schwierigkeiten mit sich brachte. Insbesondere defekte Teile, wie in diesem Beispiel die beiden eingebauten Servomotoren, sowie Probleme mit dem Verbrennungsmotor, machten uns zu schaffen.

Das aus verschiedensten Einzelteilen montierte Modellauto verursachte dann Probleme bei den ersten Testfahrten. Obwohl im ersten Testlauf zuerst alles problemlos funktionierte, traten in den weiteren Testfahrten verschiedene Störungen auf. Einerseits hörte das Fahrzeug nicht mehr auf im Leerlauf zu rollen, was auf einen Defekt der Kupplung hinwies. Weshalb folgend die Kupplungsbacken ausgetauscht werden mussten. Andererseits funktionierte der Elektromotor nicht fehlerfrei. Grund war ein Ritzel, welches beim Einbau zu nahe an der Kupplung montiert wurde und dadurch sehr viel Widerstand ausübte, weshalb weder der Elektro- noch der Verbrennungsmotor sich frei bewegen konnten. Um dem entgegenzuwirken wurde die Motorhalterung leicht erhöht eingebaut, was zu etwas mehr Spielraum zwischen den Zähnen der Zahnräder führte.

Auch nach der Fertigstellung und Feinabstimmung des Autos während und nach den vielzähligen Testfahrten wollte der Nitromotor noch immer nicht richtig funktionieren. Trotz

mehrmaligem Austausch der Glühkerze und dem Kauf eines neuen Zündgeräts hatte der Motor Probleme beim Anspringen. Selbst wenn er dann ansprang, ging er meist gleich wieder aus, sobald Gas gegeben wurde. Als auch nach vielen erfolglosen Versuchen, mit nahezu jedem möglichen Nitro-Sauerstoff-Gemisch das Auto noch immer nicht einwandfrei lief, war dies Grund genug, die Profis des Wieser Modellbauladens in Altstetten heranzuziehen. Tatsächlich hatten sie verschiedene Theorien, warum der Motor unzuverlässig funktionierte. Zum einen wurden Teile gereinigt, insbesondere der Schalldämpfer. Zum anderen wurde der Nitrotank wieder an seine ursprüngliche Position zurückverschoben, da vermutet wurde, dass dadurch bei Beschleunigung der Kraftstoff besser in die Richtung des Motors gedrückt wird.

Trotz all den Tests, den Feinabstimmungen und Anpassungen sowie dem Beizug der Profis funktionierte der Motor schlussendlich bei der finalen Versuchsreihe nur zwei Mal so wie er gemäss den Versuchszielen funktionieren sollte, was unter anderem aber auch an der kalten Dezembertemperatur gelegen haben könnte. Es hat sich gezeigt, dass die Komplexität auch in kleinen Modellautos enorm sein kann. Insbesondere hat sich der Weg, für welchen wir uns entschieden hatten, das Modellauto aus verschiedenen alten Fahrzeugen zusammenzubauen und zwei Motor-Arten zu verwenden, als anspruchsvoll und zeitaufwändig erwiesen. Dafür hatten wir aber die Chance unser Wissen auszubauen, ganz im Sinne des Zitats von Theodor Fontane «Wer aufhört, Fehler zu machen, lernt nichts mehr dazu» [19]<sup>19</sup>.

## 4.2 MESSUNG DER RESULTATE

### 4.2.1 Material

Für die Messung wurden folgende Dinge gebraucht. Zum einen das Auto und die Fernbedienung, eine Batterie für den Elektromotor und die Servos und Treibstoff für den Nitromotor. Zum anderen alle Teile, die für das Auto angefertigt wurden, wie die keilförmige Karosserie, der Heckdiffusor, der Spoiler, Slicks und stark profilierte Reifen. Man benötigte auch Werkzeuge wie eine Zange und ein Sechskant, um die Räder zu wechseln, kleine Metallklemmen, um die Karosserie zu befestigen und Kabelbinder, um den Diffusor befestigen zu können. Um die Daten zu messen und auszulesen, brauchte man einen Telemetrie Sensor und die dazugehörige Handy-App. Dann fehlte nur noch ein passendes Testgelände. Es sollte ein möglichst fester und ebener Untergrund wie beispielsweise Asphalt sein, welcher etwa 20 auf 30 Meter Platz bietet.

---

<sup>19</sup> Zitat von Theodor Fontane

### 4.2.2 Umsetzung

Um die Tests durchzuführen, entschied man sich zuerst für das Dach des Flughafenparkhauses bei der Bushaltestelle «OPC». Oben angekommen wurde jedoch schnell klar, dass der Untergrund nicht genug eben war und den Anforderungen nicht gerecht werden konnte. Dennoch wurden die Zeit und Ort genutzt, um erste Resultate zu messen. Doch leider hat der Nitromotor nach einmaligem, kurzem laufen nicht mehr funktioniert und der erste Testtag musste daher abgebrochen werden.

Am zweiten Testtag hat man sich für den asphaltierten Schulhof des Schulhauses Nägelimoos in Kloten entschieden, denn dieser Platz konnte die Bedingungen perfekt erfüllen. Das Auto wurde je nach Test umgerüstet und vorbereitet. Der Telemetrie Sensor wurde eingeschaltet und das Auto wurde in der einen Ecke des Platzes platziert. Als nächstes wurde dann auf der App eingegeben, auf welcher Strecke der Sensor die Daten messen sollte. Dann musste das Auto nur noch möglichst schnell in die andere Ecke des Platzes gefahren werden.

Die Versuchsreihe mit den fünf einzelnen Versuchen war wie folgt aufgebaut: Für den ersten Versuch wurde bloss der elektrische Antrieb genutzt. Die ausgerüsteten Teile beschränkten sich



Abbildung 5: Wechseln der Räder auf Slicks

auf die Slick-Reifen und den Spoiler, der so flach wie möglich ausgerichtet wurde. Beim zweiten Versuch wurde nur der Nitromotor gebraucht, auch hier wurden die Slicks und der möglichst flach ausgerichtet Spoiler als Zusatzteile verwendet. Im dritten Versuch wurden beide Motoren gebraucht, um das Auto anzutreiben, die Zusatzteile waren jedoch immer noch dieselben wie bei Versuch eins und zwei. Im vierten Versuch wurden weiterhin beide

Motoren genutzt, wobei allerdings der Spoiler möglichst steil eingestellt wurde. Zudem wurden die keilförmige Karosserie und der Heckdiffusor angebracht. Im fünften Versuch blieb der Versuchsaufbau fast gleich wie beim vierten. Es wurden ausschliesslich die Slicks durch Reifen mit starkem Profil ausgetauscht.

## 5 RESULTATE

### 5.1 MOTOR

#### 5.1.1 Versuch 1

In der nachfolgenden Tabelle wurde vom GPS-Gerät die Geschwindigkeit und Beschleunigung während 6.8 Sekunden dokumentiert. Dabei wurde das Auto nur vom Elektromotor und ohne

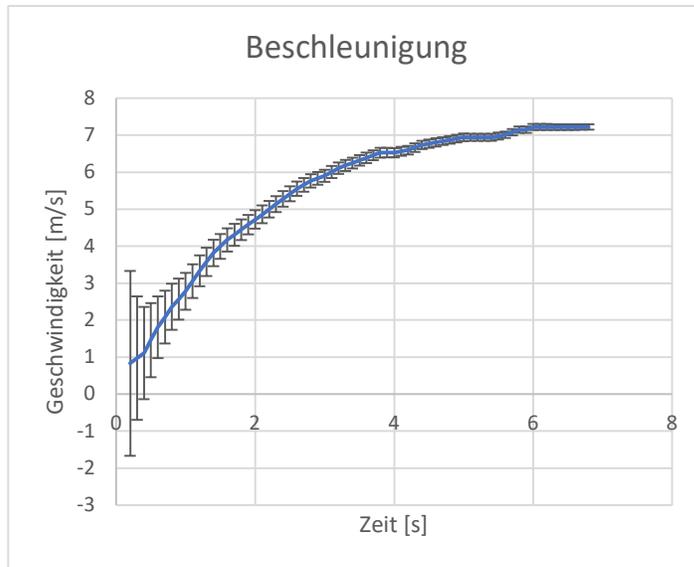


Abbildung 6: Elektromotor ohne Aerodynamikverbesserungen

Aerodynamikverbesserungen angetrieben. Ausserdem wurde in der ersten Spalte von rechts noch eine Abweichung berechnet, dessen Formel in der Methodenkritik unter **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** im Abschnitt **«Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.»** noch genauer erläutert wird. Während der Messung erreichte das Fahrzeug eine maximale Beschleunigung von 0.28 g und einer Höchstgeschwindigkeit von 7.222 m/s. Dies entspricht 26 km/h.

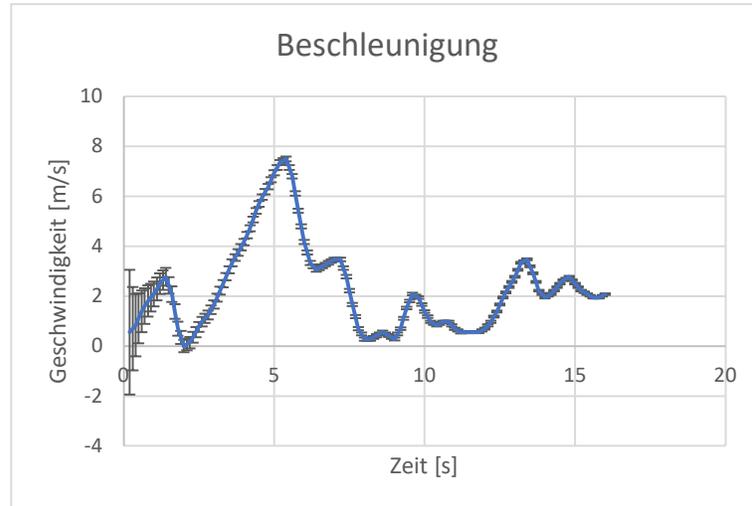
Zeit [s]	Beschleunigung [g]	Geschwindigkeit [km/h]	Geschwindigkeit [m/s]	Abweichung [±m/s]
0.2	0	3	0.833	2.5
0.6	0.25	6.5	1.806	0.833
1.0	0.25	10	2.778	0.5
1.4	0.265	13.75	3.819	0.357
1.8	0.16	16	4.444	0.278
2.2	0.14	18	5	0.227
2.6	0.14	20	5.556	0.192
3.0	0.09	21.25	5.903	0.167
3.4	0.09	22.5	6.25	0.147
3.8	0.07	23.5	6.528	0.132
4.2	0.02	23.75	6.597	0.119
4.6	0.055	24.5	6.806	0.109
5.0	0.035	25	6.944	0.1
5.4	0	25	6.944	0.093
5.8	0.055	25.75	7.153	0.086
6.2	0.04	26	7.222	0.081
6.6	0	26	7.222	0.076

6.8		26	7.222	0.074
-----	--	----	-------	-------

Tabelle 1: Elektromotor ohne Aerodynamikverbesserungen

### 5.1.2 Versuch 2

Beim zweiten Versuch wurde 16 Sekunden lang die Geschwindigkeit und Beschleunigung des



Verbrennungsmotors ohne Aerodynamikverbesserungen gemessen. Dabei erreichte das Auto eine Beschleunigung von bis zu 0.32 g und eine Höchstgeschwindigkeit von 7.5 m/s. Also umgerechnet 27 km/h.

Abbildung 7: Verbrennungsmotor ohne Aerodynamikverbesserungen

Zeit [s]	Beschleunigung [g]	Geschwindigkeit [km/h]	Geschwindigkeit [m/s]	Abweichung [±m/s]
0.2	0	2	0.556	2.5
0.6	0.21	5	1.389	0.833
1.0	0.18	7.5	2.083	0.5
1.4	0.18	10	2.778	0.357
1.8	-0.53	2.5	0.694	0.278
2.2	-0.14	0.5	0.139	0.227
2.6	0.21	3.5	0.972	0.192
3.0	0.18	6	1.667	0.167
3.4	0.28	10	2.778	0.147
3.8	0.25	13.5	3.75	0.132
4.2	0.25	17	4.722	0.119
4.6	0.32	21.5	5.972	0.109
5.0	0.25	25	6.944	0.1
5.4	0.14	27	7.5	0.093
5.8	-0.53	19.5	5.417	0.086
6.2	-0.53	12	3.333	0.081
6.6	-0.04	11.5	3.194	0.076
7.0	0.07	12.5	3.472	0.071
7.4	-0.18	10	2.778	0.068
7.8	-0.53	2.5	0.694	0.064
8.2	-0.11	1	0.278	0.061
8.6	0.07	2	0.556	0.058
9.0	-0.07	1	0.278	0.056
9.4	0.32	5.5	1.528	0.053
9.8	0.11	7	1.944	0.051

10.2	-0.25	3.5	0.972	0.049
10.6	0	3.5	0.972	0.047
11.0	-0.07	2.5	0.694	0.045
11.4	-0.04	2	0.556	0.044
11.8	0	2	0.556	0.042
12.2	0.11	3.5	0.972	0.041
12.6	0.25	7	1.944	0.04
13.0	0.21	10	2.778	0.038
13.4	0.18	12.5	3.472	0.037
13.8	-0.32	8	2.222	0.036
14.2	-0.04	7.5	2.083	0.035
14.6	0.14	9.5	2.639	0.034
15.0	-0.04	9	2.5	0.033
15.4	-0.11	7.5	2.083	0.032
15.8	-0.04	7	1.944	0.032
16.0		7.5	2.083	0.031

Tabelle 2: Verbrennungsmotor ohne Aerodynamikverbesserungen

### 5.1.3 Versuch 3

Leider war es nicht möglich, den dritten Versuch durchzuführen. Denn dabei hätte der Elektromotor und der Verbrennungsmotor gleichzeitig laufen müssen. Dies funktionierte zwar bereits im Vorfeld bei Probeläufen, jedoch schaltete Letzterer während dem Test immer wieder aus. Aus diesem Grund wurden auch alle folgenden Versuche nur mit dem Elektroantrieb durchgeführt.

## 5.2 AERODYNAMIK

### 5.2.1 Versuch 4

Mit dem vierten Versuch wurden, während 4.4 Sekunden, die Beschleunigung und die Höchstgeschwindigkeit des Elektromotors gemessen, während gleichzeitig Aerodynamikverbesserungen angebaut wurden, welche die Anpresskraft des Autos verbesserten. Dabei erreichte das Fahrzeug eine Beschleunigung von bis zu 0.25 g und eine Höchstgeschwindigkeit von 5.278 m/s, was 19 km/h entspricht.

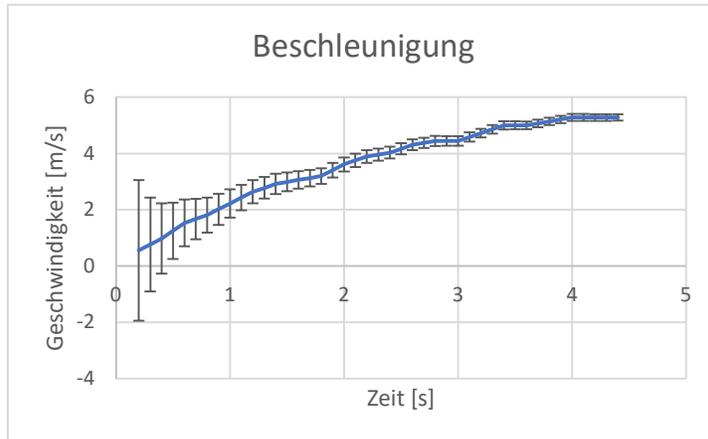


Abbildung 8: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen

Zeit [s]	Beschleunigung [g]	Geschwindigkeit [km/h]	Geschwindigkeit [m/s]	Abweichung [ $\pm$ m/s]
0.2	0	2	0.556	2.5
0.6	0.25	5.5	1.528	0.833
1.0	0.18	8	2.222	0.5
1.4	0.18	10.5	2.917	0.357
1.8	0.07	11.5	3.194	0.278
2.2	0.18	14	3.889	0.227
2.6	0.11	15.5	4.306	0.192
3.0	0.04	16	4.444	0.167
3.4	0.14	18	5	0.147
3.8	0.04	18.5	5.139	0.132
4.2	0.04	19	5.278	0.119
4.4		19	5.278	0.114

Tabelle 3: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen

### 5.3 REIFEN

#### 5.3.1 Versuch 5

Der fünfte und letzte Versuch wurde fast gleich wie Versuch 4 durchgeführt. Jedoch wurden dabei die Slick-Reifen mit Offroad-Reifen ersetzt, welche zwar mehr Bodenhaftung besitzen, aber dadurch auch mehr Rollwiderstand erzeugen. Mit dem tieferen Reifenprofil erreichte das Auto, während 4.4 Sekunden, eine maximale Beschleunigung von 0.25 g und eine Höchstgeschwindigkeit von 5 m/s was 18 km/h entspricht.

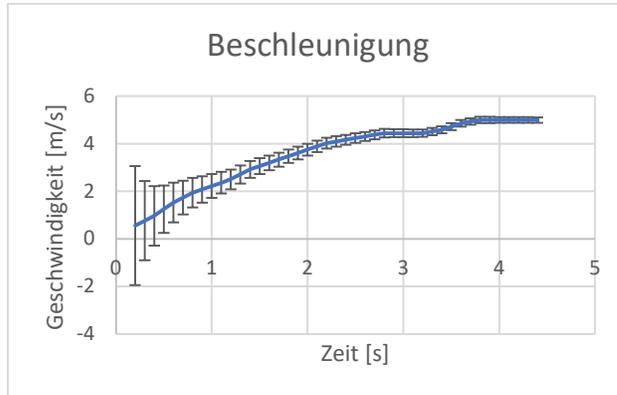


Abbildung 9: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen und Offroad-Reifen

Zeit [s]	Beschleunigung [g]	Geschwindigkeit [km/h]	Geschwindigkeit [m/s]	Abweichung [±m/s]
0.2	0	2	0.556	2.5
0.6	0.25	5.5	1.528	0.833
1.0	0.18	8	2.222	0.5
1.4	0.18	10.5	2.917	0.357
1.8	0.14	12.5	3.472	0.278
2.2	0.14	14.5	4.028	0.227
2.6	0.07	15.5	4.306	0.192
3.0	0.04	16	4.444	0.167
3.4	0.04	16.5	4.583	0.147
3.8	0.11	18	5	0.132
4.2	0	18	5	0.119
4.4		18	5	0.114

Tabelle 4: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen und Offroad-Reifen

### 5.4 VERGLEICH ALLER EXPERIMENTE

Aus *Versuch 1* und *Versuch 2* kann man herausfinden, ob sich die beiden Motoren Gegenseiten unterstützen, man schaut hier nur auf die Beschleunigungswerte (da beide Motoren am selben Antriebsrad befestigt sind, dominiert bei der Höchstleistung der Motor mit der höheren Drehzahl, der andere hat keinen Einfluss mehr auf die Höchstgeschwindigkeit). Versuch zwei konnte leider nicht vollständig durchgeführt werden, da der Nitromotor trotz allen Bemühungen bis zum Schluss nicht funktionierte. Man will hier also Versuch zwei (wenn möglich) noch mit den Leistungsdaten des Herstellers von unserem Basis RC-Car ergänzen, damit man aus den Beschleunigungsgraphen (von uns gemessen), den Angaben vom Hersteller und dem Theorieabschnitt «Motorisierung» ein halbwegs empirisches Resultat ermitteln kann.

Konkret kann bei dem Vergleich der Daten herausgefunden werden, dass der Elektromotor, wie erwartet, das Auto vor allem zu Beginn sehr stark beschleunigt (am stärksten im Zeitraum von etwa 0.4 bis etwa 1.4 Sekunden), während der Verbrennungsmotor erst deutlich später dieselbe Beschleunigungskraft erreicht, danach ist er dafür aber deutlich stärker, da 1 zu 8 Nitro RC-Cars bekanntlich zwischen 60- ungefähr 80 km/h erreichen können.

Die Beschleunigung des Elektromotors kann man einerseits an der Differenz der Geschwindigkeitszunahme feststellen (je grösser diese Differenz, desto stärker ist die Beschleunigung) und andererseits auch mit der Zunahme der zurückgelegten Strecke (zweite Spalte der Tabelle) begründen. Wenn man die Differenz der Geschwindigkeit anschaut, dann ist zu sehen, dass vor 1.4 Sekunden die Geschwindigkeitszunahme nur selten unter eins ist, danach fällt sie jedoch deutlich ab auf unter eins und wird immer kleiner, bis sie dann bei der maximalen Leistung stagniert. (Da der der Tests des Benziners nicht wirklich perfekt gelaufen ist, hat man sich entschieden, für den Vergleich beim Verbrennungsmotor einfach die höchste Kurve zu nehmen, das wäre die, die bei der Zeit von 2.2 Sekunden beginnt, für den folgenden Vergleich setzt man also den Nullpunkt bei 2.2 !!). Die Anfangsbeschleunigungsleistung des Verbrenners ist bei der Geschwindigkeitszunahme, wie auch an der zurückgelegten Strecke gemessen, deutlich schlechter als beim Elektromotor. Ein konkretes Beispiel würde zum Beispiel die Geschwindigkeit nach einer Sekunde liefern (in der Tabelle von Versuch 1 also bei 3.2 Sekunden!). Der Elektromotor ist bei 10 km/h, während der Benziner erst bei 8 km/h ist. Erst nach 2.1 Sekunden beginnt der Benziner den Elektromotor zu überbieten.

*Versuch 3* sollte eigentlich den Vergleichswert zu *Versuch 4* liefern, mit diesen beiden Graphen kann man dann den Einfluss der Aerodynamikupgrades herauslesen. Wie im Theorieabschnitt zur «Aerodynamik» erwähnt, sollte das Auto langsamer beschleunigen und langsamer fahren, denn dann hat das Auto mehr Luftwiderstand und somit einen besseren Anpressdruck. Auch bei diesem Versuch stellte sich das Problem mit dem nicht funktionierendem Nitromotor. Man improvisierte und entschloss, dass man diesen, wie auch den nächsten Versuch, auf Basis der Elektromotorwerte auswertet. Dies sollte zu den gleichen Resultaten führen, einzig mit dem Unterschied, dass die Versuche mit weniger Motorleistung durchgeführt wurden.

Beim Vergleich der Resultate von Versuch eins und vier lässt sich konkret sagen, dass die Endgeschwindigkeit zur jeweiligen Zeit bei dem Versuch mit den Aerodynamikupgrades messbar langsamer ist. Wichtig zu erwähnen ist hier aber noch, dass man der Meinung ist, dass der Unterschied fast schon zu signifikant war. Bei genauerem Hinschauen, besser gesagt hinhören, ist auch aufgefallen, dass der Diffusor etwas am Boden schleift. Diese zusätzliche Reibung, wird wohl auch noch am Leistungsverlust mitgewirkt haben. Weiter ist zu berücksichtigen, dass

das Auto nun mit den Extrateilen noch schwerer ist, bei einem Gewicht von etwa drei Kilo kann schon vermeintlich wenig Gewicht einen merkbaren Unterschied machen.

*Versuch 5* untersucht lediglich die Räder als Vergleich zu *Versuch 4*, es wird erwartet, dass das Auto wie im Theorieabschnitt *Grip* erklärt, mit den profilierten Reifen langsamer beschleunigt. Es könnte aber auch sein, dass der Boden vielleicht nicht genug trocken war und das Auto so doch mit den profilierten Reifen schneller fährt und besser beschleunigt.

Konkret konnte anhand des Datenvergleichs zwischen Versuch vier und fünf herausgefunden werden, dass die Daten vor allem zu Beginn relativ ähnlich verlaufen. Danach dann sind einmal die Daten mit den Slicks besser und dann aber auch wieder die Daten mit den profilierten Reifen. Es ist auf dieser Datenbasis schwierig, ein klares Fazit zu ziehen. Gerade auch weil wir bei Versuch 2 (nur Elektromotor) erkennen konnten, dass der Elektromotor nicht immer konstant gleich leistet. Schon bei den ersten Fahrten gibt es nämlich minimale Schwankungen zwischen den drei Fahrten (siehe Tabelle, Versuch 2, zurückgelegte Strecke, Tabelle 1,2,3). Wir sind der Meinung, dass unser Auto wohl noch zu leicht und schwach ist, als dass sich solche Feinheiten auch wirklich in der Messung bemerkbar machen. Auch könnte es sein, dass man vielleicht die Versuche mit den Reifen jeweils auf einem nassen, glatten Boden und einem trocknen Boden mit gutem Halt hätte durchführen müssen, um so das jeweilige Optimum pro Reifenset herauszufordern. Weiterhin ist uns auch aufgefallen, dass man mit den Reifentest nicht wirklich ein Optimum festlegen oder feststellen kann, da beide Reifen je nach Umwelt und Situation mehr oder weniger geeignet sind. Insofern kann man hier nicht sagen welcher Reifentyp allgemein besser ist. Fest steht aber, dass sie wohl in ihrem jeweiligen Einsatzgebiet Bestleistungen hervorbringen.

## 6 DISKUSSION

---

### 6.1 VERGLEICH MIT DER HYPOTHESE

Die Versuche haben gezeigt, dass wir mit unserer Hypothese richtig lagen. Denn es ist grundsätzlich möglich, ein Nitro-RC-Car zu einem Hypercar Modell umzubauen. Es konnten erfolgreich ein beweglicher Active-Aero-Spoiler, ein Diffusor, neue Reifen und eine neue Karosserie angebracht werden. Darüber hinaus hat die ganze Arbeit aber auch aufgezeigt, dass ein solches Projekt, trotz der Modellgrösse, doch sehr komplex ist. Insbesondere der Nitromotor ist an sich schon eine kleine, komplexe Maschine. Man hatte leider keinen Erfolg den Nitromotor und den Elektromotor zusammen als eine Einheit zum Hybridantrieb zu vereinen.

Trotzdem konnte das Auto mit eine der beiden Motoren fahren, somit ist auch bestätigt, dass es möglich ist ein fahrendes Hypercar Modell zu bauen.

Zu guter Letzt konnten auch verschiedene Leistungssteigerungen (vor allem im Bereich der Aerodynamik) erzielt werden, welche man anhand der gemessenen Daten auswerten und damit auch belegen konnte.

## **6.2 BEANTWORTUNG DER LEITFRAGEN**

Abschliessend lässt sich die Leitfrage grundsätzlich mit Ja beantworten.

Ein klares ja kann man zur Frage geben, ob man typische Merkmale eines Hypercars an ein Modell RC-Car bauen kann. Die Grundlage für diese Antwort stellt unser fertiges RC-Car, welches nun einen beweglichen Heckspoiler, einen Heckdiffusor, neue Reifen und eine neue Karosserie hat.

Auch der Umbau zum Hypercar ist grundsätzlich geglückt, jedoch kann gesagt werden, dass der Versuch des Hybridantriebs nicht zu 100% geglückt ist und nur in einzelnen Probeläufen funktioniert hatte. Nichtsdestotrotz konnten aber verschiedene andere Aspekte eines Hypercars umgesetzt werden. Ausserdem konnte anhand von Messdaten aufgezeigt und bewiesen werden, dass diese auch eine messbare Auswirkung auf die Fahrphysik haben.

Man ist auch der Meinung, dass der Hybridantrieb definitiv ein umsetzbares, wie auch sinnvolles Konzept zur Leistungssteigerung gewesen wäre.

## **6.3 NEUE ERKENNTNISSE**

Wie sich aus unseren Testresultaten entnehmen lässt, kann man die Prinzipien, welche im Rennsport angewandt werden, um die Autos dort zu optimieren, tatsächlich auch auf deutlich kleinere Massstäbe übertragen.

Weiterhin ist uns aufgefallen, dass schon unser kleines, eigentlich simples Modell einiges komplexer ist als ursprünglich angedacht. Weiter haben wir festgestellt, dass für ein optimales Resultat bereits beim Modell viele Faktoren zusammenspielen müssen, damit alles perfekt zum Laufen kommt.

## **6.4 METHODENKRITIK**

Allgemein lässt sich sagen, dass das Mitbringen eines breiteren Sachwissens zum Thema wohl die eine oder andere Panne hätte vorbeugen können. Vor allem bezogen auf den Kauf des gebrauchten Autos, welches den Grundstein für das Projekt legen sollte.

Konkret hätte hier mehr Wissen über Nitromotoren und «Nitro-RC-Cars» helfen können. Möglicherweise hätte dann mehr Klarheit darüber geherrscht, ob ein Motor, welcher immer im zweiten Gang anfahren musste (da der erste Gang defekt war/ist), für die Versuche nicht mehr im

notwendigen Zustand sein würde. Laut des Verkäufers auf Ricardo [20]<sup>20</sup>, hätte das Auto problemlos funktionieren und fahren sollen. Man kann jetzt nur spekulieren, ob dies tatsächlich so war oder nicht. Als man das Auto zu Beginn erstmalig starten wollte, ist es erst nach vielen Versuchen und Anpassungen angesprungen und hat dann zu Beginn funktioniert. Aber definitiv nicht so einwandfrei, wie vom Vorbesitzer beschrieben. Diese Startschwierigkeiten hätte man allerdings schon als Motorprobleme deuten sollen, leider aufgrund des noch fehlenden Wissens aber noch nicht können. Da das Ziel des Projekts «mehr Leistung» war, war schon zu Beginn klar, dass jedes Teil der Basis perfekt funktionieren muss, da mehr Leistung auch immer automatisch mehr Belastung und mehr «Problemstellungen» heisst. Allenfalls hätte mit umfassenderem Vorwissen bereits der Angebotspreis von 149 CHF [20] als ein Indiz erkannt werden können. Da vergleichbare neue Autos zwischen 500-800 CHF Kosten [21]<sup>21</sup> und gebrauchte oft für mehr als 149 gehandelt werden [22]<sup>22</sup> [23]<sup>23</sup>.

Weiter hat man sehr viel Zeit für trimmen, basteln und Teiletauschen aufgewendet, damit der Motor und das Fahrzeug als Ganzes funktionstauglich wurde. In diesem Fall ist man der Meinung, dass mehr Vorwissen auch nur bedingt geholfen hätte, da der Fachmann nach vier Wochen Bearbeitungszeit das Auto nicht einwandfrei zum Funktionieren gebracht hatte. Trotz all den Erkenntnissen war der Faktor Zeit in Anbetracht des anspruchsvollen Modells eine generelle Herausforderung. So hätte beispielsweise ein früherer Beizug eines Fachmanns Abhilfe schaffen können, als zu lange selbst die Fehler zu finden, Teile bestellen und auf Lieferungen zu warten sowie Änderungen vorzunehmen, wodurch gesamthaft ein Grossteil der Zeit des mehrmonatigen Fahrzeugbaus verloren ging.

Auch das Geld hat eine Rolle gespielt. Es war naheliegend, dass das beabsichtigte Modell ein kostspieliges Unterfangen werden kann. Dies zusammen mit der fehlenden Erfahrung führte schlussendlich zum Kauf eines günstigen Modellautos für die Ersatzteile und Motor sowie das langwierige Reparieren des möglicherweise bereits defekten Motors anstelle eines weiteren Kaufes und somit zusätzlichen Kosten für neue Teile und Motor.

Mit den Tests und den Daten und Resultaten ist man grundsätzlich zufrieden. Was man beim Versuch mit der Bereifung und Gripp allenfalls hätte bedenken sollen ist, dass die Räder erst dann wirklich einen Unterschied machen, wenn sie in ihrer jeweiligen optimalen Umwelt eingesetzt werden. Man hätte also vielleicht die Slicks wie auch die profilierten Reifen einmal auf einer glatten, trockenen Fläche und ein anderes Mal auf einer nassen, leicht unebenen Fläche

---

<sup>20</sup> Ricardo: RC Subaru Impreza

<sup>21</sup> RC-Motodrom: Kyosho 1:8 Verbrenner

<sup>22</sup> Ricardo: Kyosho 1:10 Verbrenner

<sup>23</sup> Ricardo: Kyosho 1:8 Verbrenner

testen sollen. So hätte man allenfalls einen Unterschied feststellen und eine Aussage dazu treffen können, ob und vor allem wann welcher Reifentyp geeignet ist.

Man konnte feststellen, dass man sich vielleicht nicht für eine sogenannte «Try-Error Ansatz» hätte entscheiden sollen. Aufgrund des Basis-Wissenstands zum Thema schien das zu Beginn der Arbeit wohl der geeignetste Weg zu sein, da man dachte man könnte so während dem Arbeitsprozess dazulernen. Dies fand auch tatsächlich statt. Das Problem daran war allerdings, dass man immer erst nach dem entsprechenden Schritt wusste, wie man besser hätte handeln können. Insgesamt benötigte dieses Vorgehen sehr viel mehr Zeit. So viel mehr, dass es am Schluss leider nicht mehr gereicht hat, um den Nitromotor noch ein weiteres Mal auszubauen und einen komplett neuen und passgenauen Motor zu beschaffen und einzubauen. Die Idee war somit im Grundsatz Schritt für Schritt zum Hypercar Modell zu gelangen. Rückblickend hätte es aber vielleicht Sinn gemacht, wenn man das Projekt etwas geordneter, beispielsweise Etappenweise angegangen wäre (zuerst Recherchearbeit zum Thema Nitro-RC-Car, dann der Kauf und die Teilebesorgung, dann der Bau und Qualitätskontrolle, dann erst die Versuchsreihe, etc.) so hätte man möglicherweise früher Fehler erkannt, Zeitbedarf im Vorgehen reduzieren können und wäre dadurch möglicherweise weiter in der Zielerreichung gekommen.

#### 6.4.1 Fehlertoleranz in den Messdaten

Die Geschwindigkeitsdaten des Fahrzeugs wurden mit einem sogenannten GNSS-Gerät der Marke Ruddog gemessen. Der Begriff GNSS steht dabei für «Globales Navigationssatellitensystem» und beschreibt alle satellitenbasierten dreidimensionalen Positionsbestimmungstechnologien. Unser Gerät benutzte dabei sowohl amerikanische GPS- als auch russische GOLNASS-Satelliten. Diese messen dabei bis zu einem Meter genau [24]<sup>24</sup> und nach der offiziellen GOLNASS-Webseite erreicht dieses System mithilfe von Ergänzungssystemen sogar eine Genauigkeit von bis zu einem Zentimeter [25]<sup>25</sup>.

Aus diesem Grund wurde bei der Höchstgeschwindigkeit mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.5$  Metern gerechnet. Also der Formel:  $\frac{v \cdot t + 0.5m}{t} - v = \frac{0.5m}{t}$

## 6.5 AUSBLICK

Aufgrund der begrenzten Zeit der Maturitätsarbeit ist es uns leider nicht gelungen, den Verbrennungsmotor so weit zu reparieren, dass man mehr Experimente damit hätte durchführen können. Daraus eröffnet sich ein Spektrum in zukünftigen Studien ähnlich gelagerte Tests mit

---

<sup>24</sup> Elektronik Kompendium: GPS

<sup>25</sup> Roskosmos: GOLNASS

einem zuverlässigeren Motor durchzuführen, um diese dann auch stärker auf den Verbrenner fokussiert umzusetzen.

## 7 SCHLUSSWORT

---

Wir denken, wir konnten mit diesem Projekt zeigen, wie komplex ein solches Auto nur schon als Modell ist. Zur Erreichung von Höchstleistungen muss immer alles perfekt laufen und aufeinander abgestimmt sein. Unserer Meinung nach ist die Anpassung des Autos im Bereich der Aerodynamik geglückt, leider waren wir bei der Motorisierung etwas weniger erfolgreich, konnten aber dennoch unsere Schlüsse ziehen und daraus lernen. Hoffentlich konnten wir mit unserer Arbeit anderen Interessierten einen etwas praktischeren und vielleicht auch verständlicheren Einblick in die grossen Themen Auto und Rennsport geben und damit einen Weg für zukünftige Projekte schaffen, welche sich mit einem ähnlichen Thema auseinandersetzen wollen. Für uns war es auf jeden Fall eine aufschlussreiche und spannende Arbeit, mit vielen Hochs aber auch ein paar Tiefs.

## 8 ANHANG

---

### 8.1 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] „news/motorsport/formel1/wissen/kosten,“ sport1, [Online]. Available: <https://www.sport1.de/news/motorsport/formel1/wissen/kosten>. [Zugriff am 2 Januar 2023].
- [2] „Was ist ein Hypercar und der Unterschied zum Supercar?,“ coolsten, [Online]. Available: <https://coolsten.de/hypercar-supercar/>. [Zugriff am 10 November 2022].
- [3] „Drag Racing Lexikon,“ nitrolympx, [Online]. Available: <https://www.nitrolympx.de/info/drag-racing-lexikon/>. [Zugriff am 10 November 2022].
- [4] Lernhelfer, „Fahrphysik,“ Duden Learnattack GmbH, [Online]. Available: <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/fahrphysik>. [Zugriff am 2 Januar 2023].
- [5] Smatrics, „E-Autos: Antriebsarten und Unterschiede,“ Smatrics, 19 September 2017. [Online]. Available: <https://smatrics.com/privat/news/antriebsarten-von-elektroautos>. [Zugriff am 10 November 2022].
- [6] „Treibstoff für Modellmotoren,“ Conrad, 10 März 2021. [Online]. Available: <https://www.conrad.de/de/ratgeber/modellbau-modellbahn/treibstoff-fuer-modellmotoren.html>. [Zugriff am 10 November 2022].
- [7] „Elektromotor vs. Verbrennungsmotor,“ e-auto-journal.de, [Online]. Available: [https://e-auto-journal.de/elektromotor-vs-verbrennungsmotor/#Nachteile\\_des\\_Elektroantriebs](https://e-auto-journal.de/elektromotor-vs-verbrennungsmotor/#Nachteile_des_Elektroantriebs). [Zugriff am 10 November 2022].
- [8] „cw-wert-aerodynamik-luft-widerstand-auto,“ Galileo/Technik, [Online]. Available: <https://ch.galileo.tv/technik/cw-wert-aerodynamik-luft-widerstand-auto/>. [Zugriff am 17 November 2022].
- [9] „Aerodynamik: Entscheidende Millimeterarbeit,“ Speedweek, [Online]. Available: <https://www.speedweek.com/formel1/news/42882/Aerodynamik-Entscheidende-Millimeterarbeit.html#:~:text=Ein%20Stra%C3%9Fenauto%20hat%20einen%20cw,%20C75%20und%201%20C0..> [Zugriff am 24 November 2022].

- [10] „Das Motorsport-ABC: D wie Downforce,“ Onthegrid.de, [Online]. Available: <https://onthegrid.de/motorsport-abc/d-wie-downforce#:~:text=Die%20Downforce%2C%20oder%20zu%20deutsch,h%C3%B6her%2C%20desto%20st%C3%A4rker%20der%20Effekt..> [Zugriff am 24 November 2022].
- [11] „Dank Wolfram schwer auf den Punkt gebracht,“ motorsport-total.com, [Online]. Available: <https://www.motorsport-total.com/formel-1/news/dank-wolfram-schwer-auf-den-punkt-gebracht-04041611>. [Zugriff am 1 Dezember 2022].
- [12] „venturi-effekt-einfach-erklart-warum-sinkt-der-druck,“ enginerd.xyz, [Online]. Available: <https://enginerd.xyz/venturi-effekt-einfach-erklart-warum-sinkt-der-druck/>. [Zugriff am 2 Januar 2023].
- [13] B. Flurl, „BERNOULLI-Gleichung,“ LEIFIphysik, [Online]. Available: <https://www.leifiphysik.de/mechanik/stroemungslehre/grundwissen/bernoulli-gleichung>. [Zugriff am 2 Januar 2022].
- [14] „How do active aerodynamics keep a sports car on the road?,“ torque, [Online]. Available: <https://www.torque.com.sg/features/how-do-active-aerodynamics-keep-sports-car-on-road/>. [Zugriff am 12 Dezember 2022].
- [15] „das-reifenprofil-wichtigste-voraussetzung-fuer-die-bodenhaftung,“ mywheels, [Online]. Available: <https://www.mywheels.tv/reifen/das-reifenprofil-wichtigste-voraussetzung-fuer-die-bodenhaftung>. [Zugriff am 2 Januar 2023].
- [16] „www.oponeo.de,“ Profile und Aufbau der Reifenlauffläche, [Online]. Available: <https://www.oponeo.de/blog/profile-und-aufbau-der-reifenlaufflaeche>. [Zugriff am 25 Dezember 2022].
- [17] „was sind eigentlich slicks,“ www.reifenqualitaet.de, [Online]. Available: <https://reifenqualitaet.de/magazin/was-sind-eigentlich-slicks/#:~:text=Das%20besondere%20an%20Slicks%20ist,beide%20%C3%BCber%20ein%20Profil%20verf%C3%BCgen..> [Zugriff am 25 Dezember 2022].
- [18] „pkw/reifenwissen/reifen-grundlagen/reifenmischung,“ Continental, [Online]. Available: <https://www.continental-reifen.ch/pkw/reifenwissen/reifen->

grundlagen/reifenmischung#:

~:text=Ein%20moderner%20Pkw%20DReifen%20enth%C3%A4lt,Plantagen%20gez%C3%BChteten%20B%C3%A4umen%20gewonnen%20wird..

[Zugriff am 25 Dezember 2022].

[19] T. Fontane, „Aphorismen.de,“ [Online]. Available:

<https://www.aphorismen.de/zitat/183635>. [Zugriff am 5 Januar 2023].

[20] „rc-benziner-1-8-kyosho-subaru-impreza-wrc-2004-1201273566,“ ricardo, [Online].

Available: <https://www.ricardo.ch/de/a/rc-benziner-1-8-kyosho-subaru-impreza-wrc-2004-1201273566/>. [Zugriff am 2 Januar 2023].

[21] „verbrenner-18-kyosho,“ rc-motodrom, [Online]. Available:

[https://www.rc-motodrom.ch/verbrenner-18-kyosho-c-21\\_132\\_437.html](https://www.rc-motodrom.ch/verbrenner-18-kyosho-c-21_132_437.html).

[Zugriff am 2 Januar 2023].

[22] „kyosho-1-10-1205173354,“ ricardo, [Online]. Available:

<https://www.ricardo.ch/de/a/kyosho-1-10-1205173354/>. [Zugriff am 2 Januar 2023].

[23] „kyosho-mad-force-1-8-4wd-1221636014,“ ricardo, [Online]. Available:

<https://www.ricardo.ch/de/a/kyosho-mad-force-1-8-4wd-1221636014/>.

[Zugriff am 2 Januar 2023].

[24] „GPS - Global Positioning System,“ Elektronik-Kompendium.de, [Online]. Available:

<https://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1201071.htm>.

[Zugriff am 25 12 2022].

[25] Roskosmos, „ÜBER DAS GLONASS-SYSTEM,“ Roskosmos, [Online]. Available:

[https://glonass-iac.ru/deu/about\\_glonass/](https://glonass-iac.ru/deu/about_glonass/). [Zugriff am 25 12 2022].

## 8.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: CFD-Darstellung des Luftwiderstands.....	8
Abbildung 2: Unser selbstgebaute Heckdiffusor.....	10
Abbildung 3: Einbau des Tanks und Nitromotors.....	13
Abbildung 4: Elektromotor mit angebaute Halterung .....	14
Abbildung 5: Wechseln der Räder auf Slicks .....	16
Abbildung 6: Elektromotor ohne Aerodynamikverbesserungen.....	17
Abbildung 7: Verbrennungsmotor ohne Aerodynamikverbesserungen.....	18
Abbildung 8: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen .....	20
Abbildung 9: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen und Offroad-Reifen .....	21

## 8.3 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Elektromotor ohne Aerodynamikverbesserungen.....	18
Tabelle 2: Verbrennungsmotor ohne Aerodynamikverbesserungen .....	19
Tabelle 3: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen .....	20
Tabelle 4: Elektromotor mit Aerodynamikverbesserungen und Offroad-Reifen.....	21

## 9 DEKLARATION

---

Wir, Leander und Melwin, erklären hiermit, dass wir die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe erstellt haben und dass alle Quellen, Hilfsmittel und Internetseiten wahrheitsgetreu verwendet wurden und belegt sind.

Kloten, 05.01.2023

*Melwin, Widmeier*

---