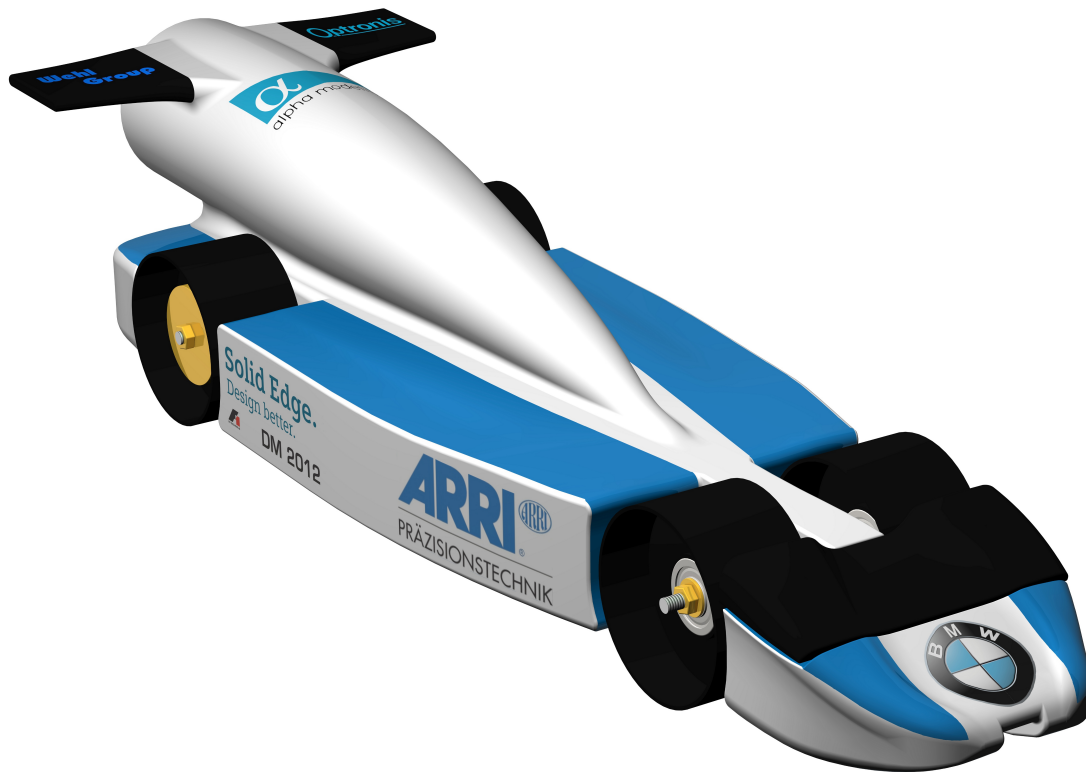


Aerodynamische Entwicklung eines Miniatur-Rennwagens im Rahmen des Wettbewerbs „Formel 1 in der Schule“



Maria Voss

Städt. Heinrich-Heine-Gymnasium

Seminararbeit
aus dem Fach
Mathematik

Thema:

**Aerodynamische Entwicklung eines Miniatur-Rennwagens im Rahmen des
Wettbewerbs „Formel 1 in der Schule“**

Verfasser: Maria Voss

Kursleiter: Susanne Nikles

Erzielte Note: in Worten:

Erzielte Punkte: in Worten:

abgegeben bei der Oberstufenkoordination: Marcus Sillober

.....

Unterschrift des Kursleiters / der Kursleiterin

Inhaltsverzeichnis

1. Der Wettbewerb „Formel 1 in der Schule“	3
2. Die Schritte bis zum Wettbewerbstag.....	5
2.1 Aufgabenverteilung innerhalb des Teams.....	5
2.2 Sponsorenfindung.....	5
2.3 Konstruktion und Tests im Windkanal.....	5
2.4 Rendering.....	6
2.5 Fertigung.....	7
2.6 Portfolio und Präsentation.....	8
3. Entscheidende physikalische Eigenschaften für ein schnelles Fahrzeug.....	10
3.1 Trägheitsmoment.....	10
3.2 Rollwiderstand.....	10
3.3 Beschleunigung.....	11
3.4 Luftwiderstand.....	12
4. Optimierung der Aerodynamik von der Regional- zur Deutschen Meisterschaft.....	13
4.1 Allgemeines zur Strömungsmechanik.....	13
4.2 Frontpartie.....	15
4.3 Form der Seitenkästen.....	17
4.4 Höhe der Heckspoiler.....	18
5. Wichtige Erfahrungen für das Berufsleben und Einfluss auf Entscheidung für einen Studiengang.....	20
6. Anhang.....	21
6.1 Glossar.....	22
6.2 Quellenverzeichnis.....	23
6.3 Abbildungsverzeichnis.....	24
6.4 Eigenständigkeitserklärung.....	25

1. Der Wettbewerb „Formel 1 in der Schule“

Jeder Formel 1-Grand Prix ist ein Großereignis und lockt jedes Mal wieder tausende Zuschauer aus aller Welt an. Doch im Vorfeld eines Grand Prix findet ein Mal im Jahr auch ein weiteres interessantes Ereignis statt: Die Weltmeisterschaft der „kleinen Formel 1“, bei der auf einer 20 Meter langen Rennstrecke Miniatur-Formel 1-Rennwagen um die Wette fahren.

Über die Regionalmeisterschaften und die Nationalen Meisterschaften können sich die Teams für die Weltmeisterschaft qualifizieren.

Der Wettbewerb „Formel 1 in der Schule“ ist ein multidisziplinärer, internationaler Technologiewettbewerb, bei dem Schülerinnen und Schüler im Alter von elf bis 19 Jahren¹ in Teams aus drei bis sechs Personen am Computer Miniaturrennwagen entwickeln, fertigen und am Wettbewerbstag gegen die Fahrzeuge anderer Teams fahren lassen.

Das Ziel des Wettbewerbs ist es, Schülern einen Einblick in die verschiedenen Bereiche der Wissenschaft, Technologie und Produktentwicklung zu gewähren und ihr Interesse an technischen Berufen zu wecken. Außerdem lernen die Teilnehmer, im Team zu arbeiten

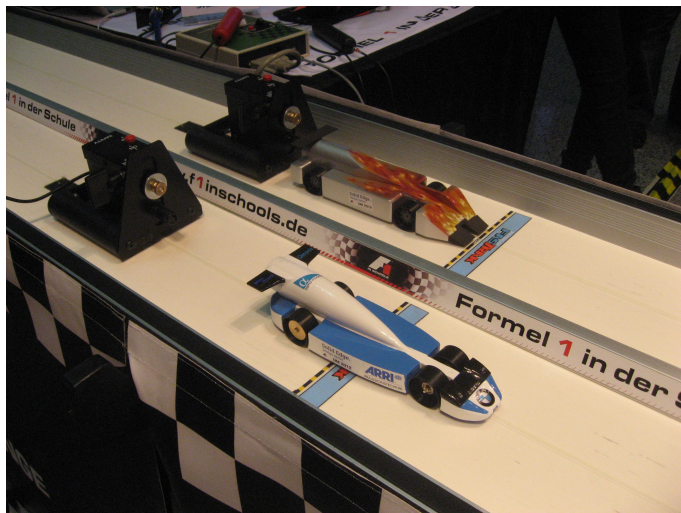


Abbildung 1: Fahrzeuge am Start

und Projekte von Grund auf zu planen und in die Praxis umzusetzen.

Am Wettbewerbstag fährt der aus einem Balsaholzblock gefertigte Wagen eine 20 Meter lange gerade Rennstrecke entlang. Da die Rennwagen eine Geschwindigkeit von bis zu 130 km/h erreichen können und deshalb aufgrund ihres leichten Gewichtes von 50 bis 100 Gramm abheben würden, sind sie an einer Nylonschnur befestigt. Angetrieben werden sie von einer speziellen Vorrichtung, bei der eine Nadel in eine CO₂-Patrone sticht und das Auto durch Rückstoßprinzip antreibt.

¹ Vgl. Formel 1 in der Schule gGmbH: <http://www.f1inschools.de> (Stand: 02.08.2013)

Doch nicht nur die Rennzeit des Wagens ist ausschlaggebend, es fließen auch viele andere Kriterien in die Bewertung der Jury mit ein.

In dieser Arbeit werden einige wichtige Faktoren für ein schnelles Auto behandelt. Schwerpunkt ist die aerodynamische Entwicklung des Rennwagens, da diese äußerst facettenreich und für die Geschwindigkeit des Fahrzeugs von enormer Bedeutung ist. Um die Hintergründe der Entwicklung des Rennwagens zu verstehen, muss der Wettbewerbsablauf erklärt werden, was im zweiten Abschnitt geschieht. Es folgt die theoretische Beschreibung einiger ausgewählter Grundlagen für einen schnellen Rennwagen. Im vierten Abschnitt wird die Theorie der Aerodynamik anhand des Widerstandsbeiwertes c_w in die Praxis umgesetzt und auf die Konstruktion des Fahrzeuges angewendet.

2. Die Schritte bis zum Wettbewerbstag

2.1 Aufgabenverteilung innerhalb des Teams

Die Jury bewertet die gesamte Teamleistung.

Um als Team erfolgreich zu sein, bedarf es einer genauen Aufgabenverteilung innerhalb des Teams, damit einerseits jeder Arbeitsbereich abgedeckt ist und andererseits sich nichts überschneidet.

Beim Wettbewerb „Formel 1 in der Schule“ darf ein Team aus drei bis sechs Schülern bestehen. Neben dem Teamleiter sind weitere Aufgabengebiete das Ressourcenmanagement, das Design, die Konstruktion und die Produktion.

2.2 Sponsorenfindung

Eine Voraussetzung, um bei diesem Wettbewerb antreten zu können, sind Sponsoren. Durch sie wird die Ausführung des ganzen Projektes erst ermöglicht. Dabei wird zwischen zwei Arten von Sponsoren unterschieden: Während die Finanzsponsoren das Team mit Geldmitteln unterstützen, bieten Dienstleistungssponsoren direkt ihre Leistungen an, wie z.B. das Fräsen oder Lackieren. Die Sponsoren müssen auf dem Wettbewerb natürlich entsprechend präsentiert werden. Das geschieht sowohl am Teamstand und im Portfolio, als auch auf dem Auto selbst.

2.3 Konstruktion und Tests im Windkanal

Um am Wettbewerbstag mit einem schnellen Auto antreten zu können, ist ein langer und aufwendiger Entwicklungsprozess nötig.

Dieser beginnt mit groben Entwürfen für den Rennwagen, die nach und nach verfeinert und optimiert werden. Dabei entwirft der Konstrukteur das Auto mithilfe eines CAD-Programmes (Computer Aided Design). Den Teilnehmern wird das CAD-Programm Solid Edge ST2 vom Veranstalter zur Verfügung gestellt.

Sobald ein Modell fertig konstruiert ist, wird es in einem virtuellen Windkanal getestet. Wir verwenden den Windkanal „Caedium“ des Unternehmens „Simscape“.

Mit dem virtuellen Windkanal können verschie-

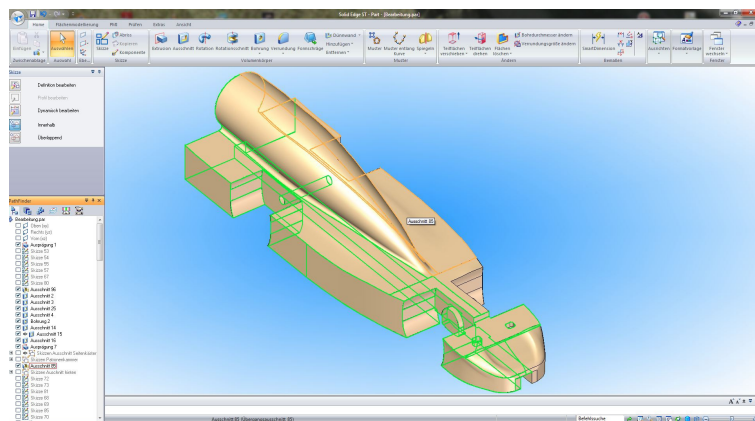


Abbildung 2: Konstruktion des Modells mit Solid Edge ST2

dene Werte wie beispielsweise die Luftgeschwindigkeit oder der Druck am Korpus errechnet werden, mit denen die Aerodynamik optimiert werden kann.

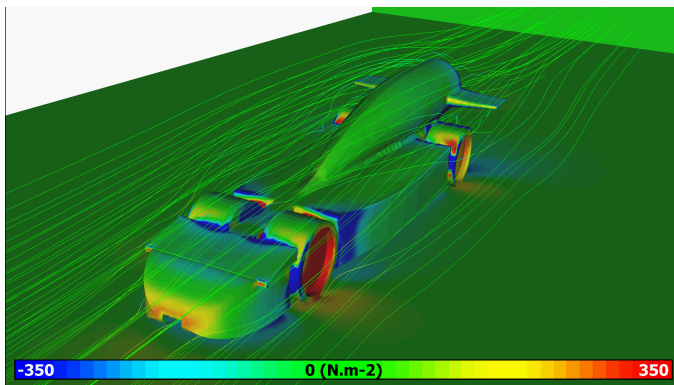


Abbildung 3: Modell im virtuellen Windkanal "Caedium"

Das Modell wird nun immer wieder verändert und getestet. Dabei dürfen die genauen Vorgaben durch das Regelwerk nie außer Acht gelassen werden, da Verstöße mit Punktabzug bestraft werden.

2.4 Rendering

Auch das Design des Autos ist von großer Bedeutung.

Es sollte wie das Design des Teamstandes und des Portfolios an die Corporate Identity angepasst werden, die auch in die Bewertung der Jury mit einfließt.

Dazu können den einzelnen Flächen des Modells Texturen unterschiedlicher optischer Eigenschaften zugeordnet werden.

Eine weitere Anforderung des Wettbewerbs ist das Rendering, die Umsetzung des Modells in eine fotorealistische grafische Darstellung.

Für das Rendering des Autos steht eine spezielle Umgebung im CAD-Programm zur Verfügung, mit der beispielsweise die Lichteffekte, die Glanzintensität, die Reflexion des Modells und die Umgebung präzise angepasst werden können, sodass ein fotorealistisches Rendering des Autos entsteht.

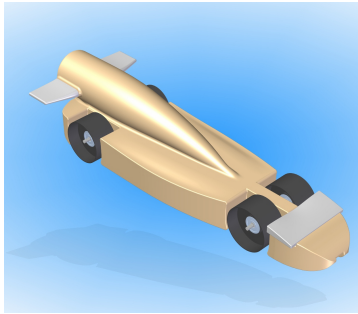


Abbildung 4: Modell ohne Texturen

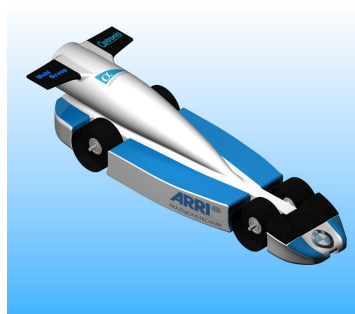


Abbildung 5: Modell mit Texturen



Abbildung 6: Modell in gerenderter Umgebung

2.5 Fertigung

Die virtuelle Konstruktion muss nun in ein reales Modell umgesetzt werden. Dies geschieht mithilfe einer CNC-Fräse. Mit dem vom Wettbewerb gestellten CAM-Programm (Computer Aided Manufacturing) „QuickCAM3D“ werden die einzelnen Fräsbahnen programmiert. In mehreren Schritten wird der Korpus in verschiedenen Spurweiten erst grob, dann immer feiner aus einem Balsaholzblock herausgefräst.

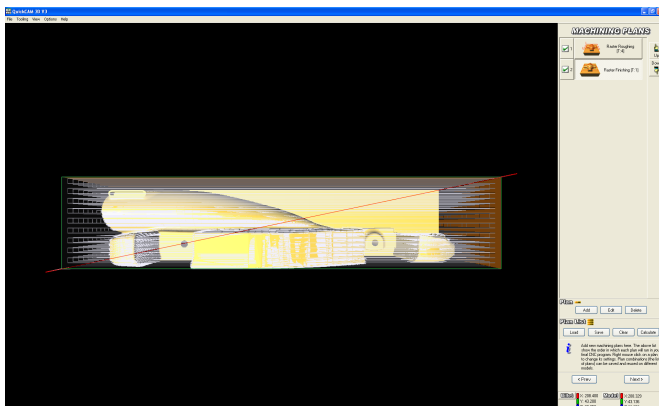


Abbildung 7: Programmierung der Fräsvorgänge



Abbildung 8: Modell beim Fräsen

Für die höhere Stabilität des weichen Balsaholzes wird das Chassis nach dem Fräsen mehrere Male grundiert und wieder abgeschliffen bis die Oberfläche keinerlei Unebenheiten mehr aufweist. Anschließend wird der Korpus mit mehreren Lackschichten und abschließend einer Klarlackschicht überzogen.

Dabei sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Lackschichten möglichst dünn sind, damit das Auto nicht zu schwer wird.

Die Räder und Spoiler werden getrennt vom Chassis hergestellt und anschließend zusammengebaut. Dabei muss schon bei der Konstruktion darauf geach-

tet werden, dass die einzelnen Teile exakt zusammenpassen, da dies vor allem für die Fahrstabilität von enormer Bedeutung ist und Ungenauigkeiten große Einbußen in der Rennzeit verursachen kann.

Durch moderne Lasersinterertechnik können auch kleine Teile sehr präzise hergestellt werden. Deshalb wurden die Spoiler durch dieses 3D-Druckverfahren gefertigt.

Die Räder wurden aus einem Rundstab aus Polyoxymethylen (POM), einem stabilen, harten Kunststoff, gefräst. POM zeichnet sich durch eine hohe Abriebfestigkeit und einen niedrigen Reibungskoeffizienten aus.²

2.6 Portfolio und Präsentation

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Wettbewerbs ist die Präsentation der Arbeit des Teams vor einer Jury. Dazu gehören die Erstellung eines Teamstandes, eines Portfolios, einer Website und einheitliche Teamkleidung.

Für den Teamstand stehen drei Stellwände mit vorgegeben Maßen zur Verfügung, auf die die Gestaltung des Standes angepasst werden muss. Der übliche Aufbau besteht aus professionell gedruckten Plakaten und Tischen, auf denen das Portfolio, Vitrinen und gegebenenfalls auch ein eigener kleiner Windkanal und anderes technisches Equipment wie Flachbildschirme Platz finden. Wichtig ist außerdem die Präsentation



Abbildung 9: Teamstand

Gestaltung und ein hoher Informationsgehalt sind entscheidend für eine gute Bewertung.

Jedes Team benötigt ein Portfolio, das auf 20 DIN-A3-Seiten die gesamte Arbeit rund um den Rennwagen zeigt. Es sollen virtuelle und reale Tests zur Optimie-

2 Vgl. Technoplast V. Treskow GmbH: <http://www.technoplast-onlineshop.de/Eigenschaften/Datenblatt/Polyoxymethylen/Polyacetal/POM> (Stand: 29.09.2013)

rung des Wagens sowie die optische Gestaltung und die Wahl der Materialien dargestellt werden. Ebenso wichtig sind Innovationen, Marketingstrategien, Sponsoring, Management und die Arbeitsaufteilung im Team. Ein fotorealistisches Rendering, eine technische Zeichnung und die Darstellung des kompletten Entwicklungsprozesses sollen die Details und Besonderheiten des Fahrzeuges näher beleuchten.

Am Wettbewerbstag muss sich jedes Team mit einer achtminütigen Präsentation der Jury stellen und anschließend deren Fragen beantworten. Bewertet werden neben dem Inhalt und der Präsentation auch die Hilfsmittel, wie eine übersichtliche, anschauliche Multimediapräsentation oder die Miteinbeziehung der Jury durch Aushändigung von Fahrzeugen und anderen Exponaten zur Begutachtung.

Zudem findet eine „Boxenbegehung“ statt, bei der die Teams der Jury ihren Stand vorstellen.

Entscheidend für die Platzierung ist die komplette Teamleistung aus Rennzeit, Konstruktion, Produktion, Marketing, Management und Präsentation.

3. Entscheidende physikalische Eigenschaften für ein schnelles Fahrzeug

3.1 Trägheitsmoment

Das Trägheitsmoment beschreibt die Trägheit eines starren Körpers an einer Drehachse, die er einer Bewegungsänderung entgegenbringt. Die exakte Berechnung des Trägheitsmoments gestaltet sich aufgrund der unterschiedlichen Masseverteilung bezüglich der Räder schwierig. Im Folgenden wird vereinfacht von einer einheitlichen zentralen Masseverteilung und zylinderförmigen Rädern ausgegangen.

Es gilt:

$$J = \frac{1}{2} * m * r^2$$

Die variablen Größen sind die Masse m und der Radius r der Räder. Für ein geringes Trägheitsmoment sind m und r möglichst klein zu halten. Maßgeblich hierfür ist die Untergrenze der vom Regelwerk erlaubten Größen. Dabei ist ein kleiner Radius besonders essentiell, da r mit dem Quadrat wächst. Hieraus ergibt sich für die Räder ein Durchmesser von 26 mm.

3.2 Rollwiderstand

Die Rollwiderstandskraft wirkt entgegen der Bewegungsrichtung, sie muss folglich möglichst gering sein.

Es gilt die Formel: $F_R = F_N * c_R$

Der Rollwiderstandskoeffizient c_R nimmt mit der Härte des Materials, aus dem die Räder bestehen, ab, da sich beim Abrollen die Unterlage und der rollende Körper, in diesem Fall das Fahrzeug, verformen. Durch die Verformung wird die Kontaktkraft zwischen Körper und Unterlage asymmetrisch. Der Ersatz der Kontaktkräfte durch Einzelkräfte ergibt eine Normalkraft F_N , die um die Strecke d

nach vorne verschoben ist, und eine Reibungskraft F_R entgegen der Bewegungsrichtung.

Der Rollwiderstandskoeffizient c_R ist proportional zur Strecke d und indirekt proportional zum Radius r des Rades. Die Strecke d kann nicht beeinflusst werden, der Radius der Räder erhält dennoch aufgrund des geringeren Trägheitsmoments den kleinsten vom Regelwerk erlaubten Wert.

3.3 Beschleunigung

Für die gleichmäßige Beschleunigung gilt das zweite newtonsche Gesetz:

$$a = \frac{F}{m}$$

Je geringer das Gewicht des Körpers ist, desto schneller kann er beschleunigt werden.

Der Gasausstoß der Patrone, die den Rennwagen gemäß des Rückstoßprinzips antreibt, und somit auch die Beschleunigungskraft, sind nicht konstant, können aber nur schwer bestimmt werden. Unmittelbar nach dem Anstechen der Gaspatrone ist der Gasausstoß und somit die Beschleunigungskraft F , die der Rennwagen dadurch erfährt, am größten. Im weiteren Zeitverlauf nimmt der Druck in der Patrone und mit ihm die Beschleunigungskraft ab. Die Berechnung der Kraftverteilung über die gesamte Zeit, in der das Gas ausströmt, gestaltet sich jedoch äußerst kompliziert. Deshalb wird im Folgenden vereinfacht von einer konstanten Beschleunigung ausgegangen.

Da die Kraft, die durch die Patrone entsteht, nicht beeinflusst werden kann, stellt die Masse m des Rennwagens den einzigen variablen Parameter dar, was sie umso wichtiger macht.

Die durch das Reglement festgelegte Untergrenze des Gesamtgewichts des Rennwagens beträgt 55,5 Gramm.

3.4 Luftwiderstand

Jeder umströmte Körper besitzt einen spezifischen Luftwiderstand.

Die Widerstandskraft erhält man durch:

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * c_w * A$$

Als der Bewegungsrichtung entgegengesetzte Kraft muss die Widerstandskraft F_w so gering wie möglich sein.

Weder die Widerstandskraft noch die Dichte ρ des umströmenden Fluids, in diesem Fall Luft, und die Geschwindigkeit v können beeinflusst werden. Nur die Stirnfläche A und der Widerstandsbeiwert c_w sind variable Größen, die für eine geringe F_w ebenfalls möglichst niedrig sein müssen.

Die Stirnfläche A stellt die Projektionsfläche des Körpers gegen das anströmende Medium dar. Sie kann beispielsweise durch den Schattenwurf des Körpers in Längsrichtung ermittelt werden.

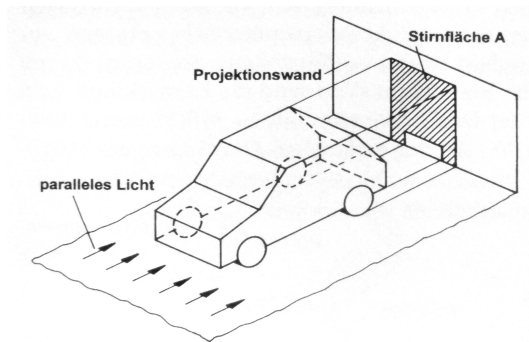


Abbildung 10: Projektionsfläche

Entscheidend für eine kleine Stirnfläche sind dabei die geringe Höhe und Breite des Fahrzeugs.

Der Widerstandsbeiwert c_w beschreibt, wie strömungsgünstig die Luft um den Körper strömt. Er kann durch die Formgebung des Fahrzeugs maßgeblich beeinflusst werden. Darauf wird im folgenden Kapitel näher eingegangen, indem das Modell der Regionalmeisterschaft und das der Deutschen Meisterschaft verglichen werden.

Mit der Verringerung des Widerstandsbeiwertes kann der gesamte Luftwiderstand des Boliden reduziert und somit eine kürzere Rennzeit erreicht werden.

4. Optimierung der Aerodynamik von der Regional- zur Deutschen Meisterschaft

4.1 Allgemeines zur Strömungsmechanik

In der Automobilindustrie wird durch verschiedene Tests im Windkanal und vielen Formoptimierungen versucht, den Luftwiderstand zu minimieren, um den Spritverbrauch des Fahrzeugs zu senken. Ähnlich ist das auch bei der Konstruktion eines „Formel 1 in der Schule“-Rennwagens. Hier soll der Luftwiderstand minimiert werden, damit das Auto mit der gleichen Schubkraft der Patrone die Rennstrecke in einer kürzeren Zeit zurücklegt.

Um den Zusammenhang zwischen der Formgebung und dem c_w -Wert zu verstehen, wird zunächst die allgemeine Strömungsmechanik genauer erläutert.

Im weiteren Verlauf wird statt dem gesamten Luftwiderstand vom c_w -Wert ausgegangen, da dieser, wie im vorherigen Kapitel erwähnt, anhand der Formgebung des Fahrzeugs verändert werden kann.

Beispiele von c_w -Werten ausgewählter Körperformen (Durchschnittswerte):

Körper	c_w
Scheibe 	1,1
Kugel 	0,45
Halbkugel 	0,35
Schale 	1,4
Stromlinienkörper 	0,06

Abbildung 11: Widerstandsbeiwerte verschiedener Körper

Man kann erkennen, dass der Widerstandsbeiwert des Stromlinienkörpers weit unter denen der anderen Körper liegt, er ist der „strömungsgünstigste“ Körper.

Dem Ideal des Stromlinienkörpers möglichst nahezukommen, ist daher das Bestreben bei allen Konstruktionen, bei denen es auf einen niedrigen Luftwiderstand ankommt.

Generell muss in der Aerodynamik zwischen schlanken und stumpfen Körpern differenziert werden.

Bei schlanken Körpern liegt die Strömung eng am Körper an, während bei stumpfen Körpern Strömungsablösungen zu beobachten sind.

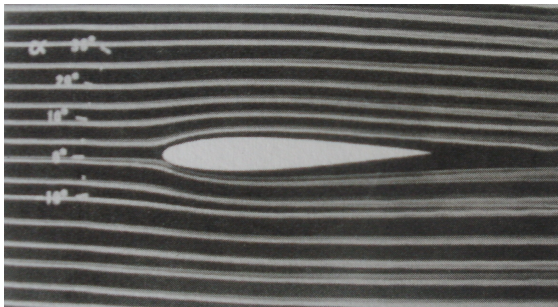


Abbildung 12: Strömung um einen schlanken Körper



Abbildung 13: Strömung um einen stumpfen Körper

Beim Stromlinienkörper handelt es sich um das Ideal eines schlanken Körpers. Der Unterschied in der Strömung ist gut zu erkennen: Hinter dem linken Körper entstehen keine oder kaum Verwirbelungen, wohingegen sich im rechten Bild hinter dem Körper starke Verwirbelungen bilden.

Bei der Konstruktion soll die Strömung möglichst anliegend gehalten werden und Ablösungen, die Wirbelgebiete verursachen, vermieden bzw. möglichst weit in Strömungsrichtung nach hinten verschoben werden.

Ist der Druckgradient, dem das Fluid entgegenströmt, zu groß, löst die Strömung von der Körperkontur ab.³ Dieser Punkt wird Ablösepunkt genannt. Die Größe des Ablösegebietes und folglich der c_w -Wert nehmen mit einem späteren Ablösepunkt ab⁴.

Durch Ablösung entsteht hinter dem Körper ein Totwasser, ein Bereich, in dem durch die Wandreibung am Körper Rückströmungen und folglich eine zirkulierende Strömung auftreten. Dort bildet sich ein räumlich nicht konstanter Unterdruck aus.⁵

3 Vgl. Hucho: Aerodynamik der stumpfen Körper, 2011, S. 38

4 Siehe Anhang

5 Vgl. Hucho, a.a.O., S. 178

Diese Verwirbelungen hinter dem Körper gilt es bei der Konstruktion eines Rennwagens zu minimieren, da diese den c_w -Wert erhöhen und der Unterdruck zusätzlich der Bewegungsrichtung des Körpers entgegenwirkt und in diesem Fall den Rennwagen abbremst.

Die Bodenreibung wird hierbei aus Gründen der Komplexität vernachlässigt.

4.2 Frontpartie

Die Höhe der Schnauze ist hinsichtlich des Widerstandsbeiwertes entscheidend.

Mit abnehmender Höhe der Schnauzenspitze über dem Untergrund nimmt der c_w -Wert ab, da der Ablösepunkt in diesem Fall nahe am Körper liegt und das Ablösegebiet gering ist.⁶

Deshalb wird die gesamte Frontpartie möglichst flach gestaltet, was zusätzlich zur Verringerung der Stirnfläche führt.

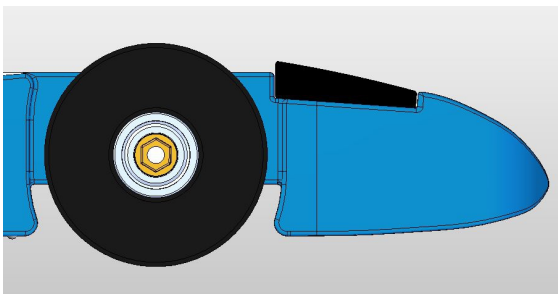


Abbildung 14: seitliche Ansicht der Schnauze des RM-Modells mit hoher Frontpartie

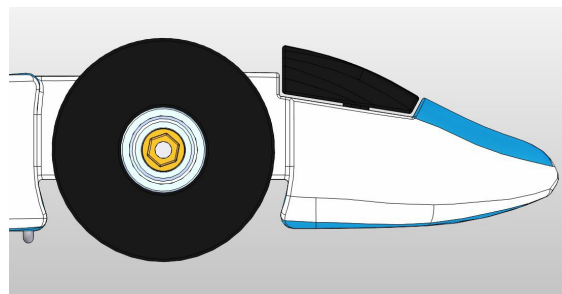


Abbildung 15: seitliche Ansicht der Schnauze des DM-Modells mit flacher Frontpartie

Die geringfügige Veränderung der Kontur der Schnauze bewirkt eine enorme Verringerung des c_w -Wertes des Modells der Deutschen Meisterschaft (DM) im Vergleich zu dem der Regionalmeisterschaft (RM).

Eine aerodynamische Schwachstelle des Wagens sind die Räder. Dort bilden sich starke Wirbelgebiete aus, da durch die Drehung der Räder eine große Relativgeschwindigkeit zwischen Chassis und Rädern entsteht und sich eine Grenzschicht ausbildet. Um die Zirkulationsgebiete an den Vorderrädern zu minimieren, wird der Frontspoiler so konzipiert, dass die Luftströme nicht direkt

⁶ Vgl. Angelis: Komplementäre Methodik in der Aerodynamik bodennaher Fahrzeuge, 1996, S. 16

auf die Radoberfläche treffen, sondern daran vorbeigeleitet werden. Somit wird verhindert, dass der Luftstrom, der durch die Bewegung des Chassis entsteht, und der entgegengesetzt gerichtete Luftstrom direkt an den Rädern frontal aufeinander treffen und weiträumige Wirbel ausbilden.

Anhand der Formlinien des Frontspoilers (siehe Abb. 16) lässt sich erkennen, dass ein Teil der anströmenden Luft zwischen den beiden Rädern vorbeigeleitet wird. Durch die Höhe des Spoilers strömt der andere Teil über die Räder hinweg.

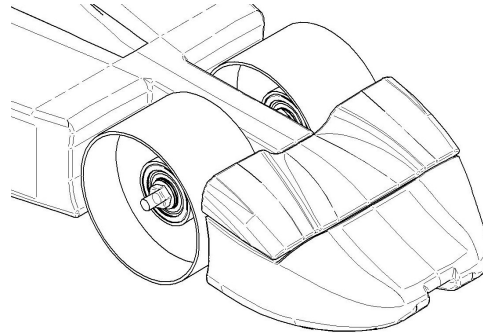


Abbildung 16: Drahtmodellansicht des Frontspoilers

Am Spoiler und den Rädern des RM-

Modells bilden sich an einigen Stellen große Wirbel aus. Aufgrund der zu geringen Höhe des Spoilers treffen an den Vorderrädern die entgegengesetzten Luftströme direkt aufeinander. Auch an der Seite der Schnauze treten Wirbel auf, da der Spoiler über das Chassis hinausragt und die Luft frontal auf die vordere Fläche des Spoilers trifft. Hinzu kommt eine Vergrößerung der Stirnfläche durch den überstehenden Spoiler.

Die Breite des Spoilers und die Höhe der Vorderkante kann aufgrund der Mindestmaße des Regelwerks nicht verringert werden. Durch eine breitere Schnauze wird dieses Problem bei dem DM-Modell umgangen. Bei der Konstruktion des DM-Modells ist die Form des Spoilers exakt mit der des Chassis abgestimmt, sodass am Übergang vom Chassis zum Spoiler keine Kanten entstehen, die einen Strömungsabriss erzeugen oder die Stirnfläche vergrößern.

Die Hinterkante des Spoilers muss laut Regelwerk vor der Mitte der Vorderradachse liegen, weshalb sich Strömungsabriss und Wirbelbildung an dieser Stelle nur minimieren, nicht aber vermeiden lassen.

4.3 Form der Seitenkästen

Die Form der Seitenkästen des DM-Modells unterscheidet sich stark von der des RM-Wagens.

Durch die konkave Form zwischen den Vorder- und Hinterrädern beim RM-Modell wird die Strömung über die Räder hinweggeleitet. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben dient dies zur Verkleinerung der Wirbelgebiete an den Rädern.

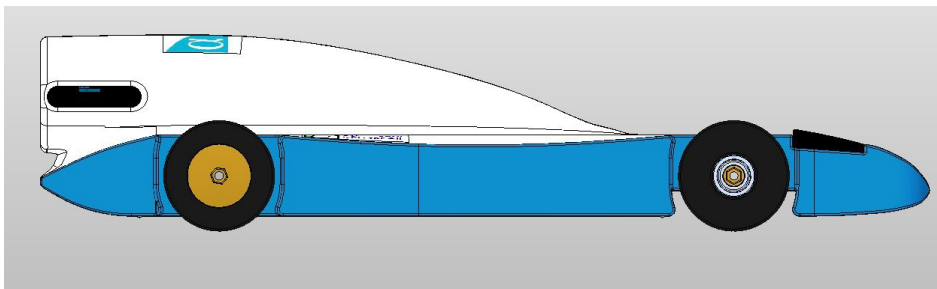


Abbildung 17: RM-Modell mit konkaver Form der Seitenkästen

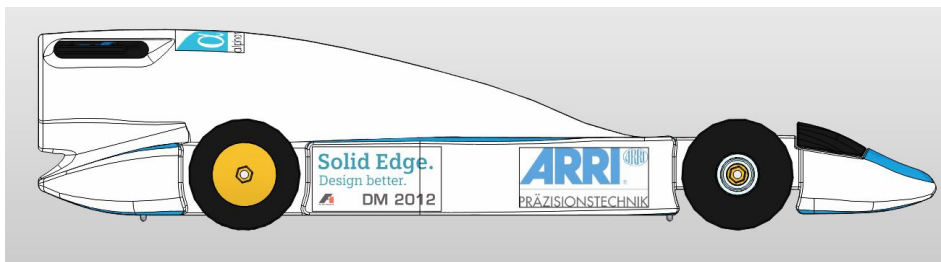


Abbildung 18: DM-Modell mit stromlinienkörperähnlicher Form der Seitenkästen

Das DM-Modell weist hingegen eine stromlinienkörperähnliche Form der Seitenkästen auf. Dabei muss allerdings auf das Vorbeileiten des Luftstromes über die Hinterräder verzichtet werden.

Durch Tests im virtuellen Windkanal stellte sich heraus, dass die stromlinienkörperähnliche Form den c_w -Wert effektiver verringert als die konkave Form.

Durch die kontinuierliche Abnahme der Dicke des Körpers wird der Ablösepunkt weit nach hinten verschoben und es entsteht ein kleineres Ablösegebiet. Ein großes Ablösegebiet hätte aufgrund der Verwirbelungen einen Geschwindigkeitsverlust zur Folge. Scharfe Kanten, an denen eine frühe Ablösung stattfindet, werden vermieden.

4.4 Höhe der Heckspoiler

Ein weiterer entscheidender Faktor für die Verringerung des c_w -Wertes sind die Form und die Höhe der Heckspoiler. Da die Formänderung durch das Regelwerk enorm eingeschränkt ist, wird besonderer Wert auf die Position des Spoilers gelegt.

Getestet wurden die Auswirkungen der Höhe der Spoiler auf die Druckdifferenzen am Körper, denn mit zunehmendem Druckunterschied steigt der c_w -Wert. Die Druckdifferenzen am Korpus und somit der Unterdruck am Heck des Wagens sollen minimiert werden. Je grüner die Flächen sind, desto besser, da grün eine Druckneutralität darstellt. Zudem soll das Rezirkulationsgebiet hinter dem Heck des Wagens verkleinert werden.

Tests im virtuellen Windkanal zeigen, dass ein hoher Spoiler die geringsten Druckdifferenzen aufweist.

In Abbildung 19 sind die Druckunterschiede zwischen den verschiedenen Spoilerstellungen gut zu erkennen. Durch den niedrigen Spoiler bilden sich starke Unterdruckgebiete aus (tiefblaue Flächen), während die Umgebung des hohen Spoilers den geringsten Unterdruck aufweist. Dies ist dadurch begründet, dass die Umströmung des Spoilers durch die

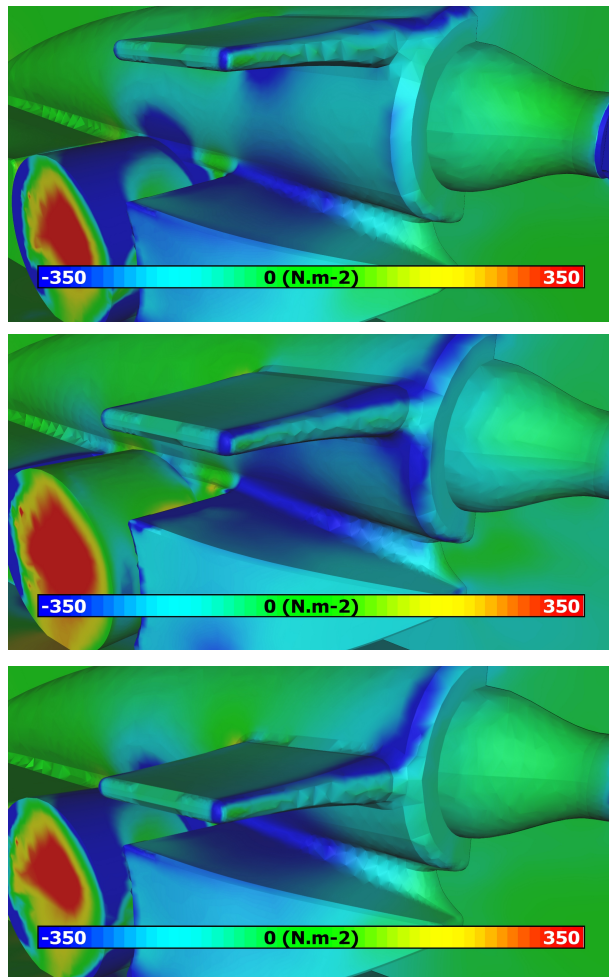


Abbildung 19: Druck am Körper bei unterschiedlichen Spoilerpositionen

größere Entfernung zum Hinterrad weniger durch Zirkulationsgebiete am Rad beeinflusst wird. Wenn das Wirbelgebiet des Rades und das des Spoilers zu nah bei einander liegen, beeinflussen sie sich gegenseitig, sodass im ungünstigsten Fall ein noch größeres Ablösegebiet mit stärkeren Wirbeln entsteht.

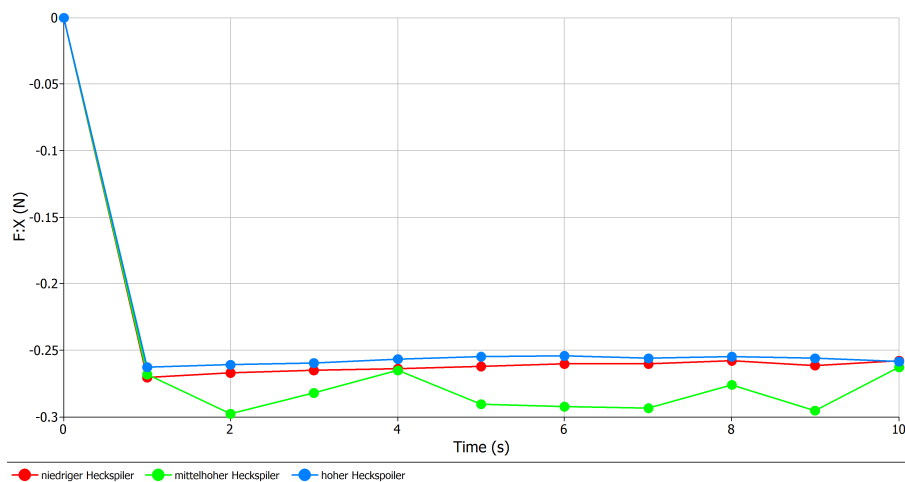


Abbildung 20: auf den Spoiler wirkender Unterdruck in Newton in der jeweiligen Position

Im Fall des niedrigen Spoilers ist die Position günstiger als die des mittelhohen, die Wirbel hinter dem Rad beeinflussen die Umströmung des Spoilers an dieser Position nicht so stark negativ, wie dem Diagramm entnommen werden kann. Dennoch ist der Unterdruck im Gegensatz zum hohen Spoiler stärker. Das große Ablösegebiet macht sich auch noch hinter dem Wagen bemerkbar. Das Totwasser wird größer und der Unterdruck an und hinter dem Heck steigt. Im Vergleich zum RM-Modell konnte durch die veränderte Spoilerposition der $c_{w\text{-Wert}}$ am Heck des DM-Wagens enorm reduziert werden.

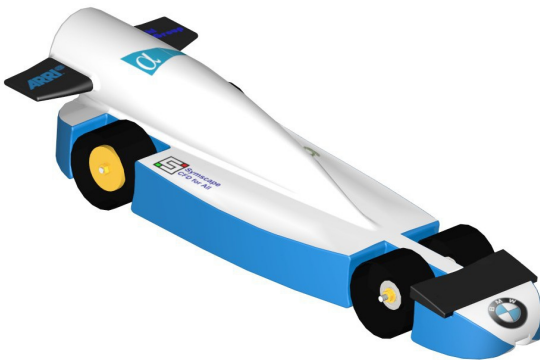


Abbildung 21: RM-Modell

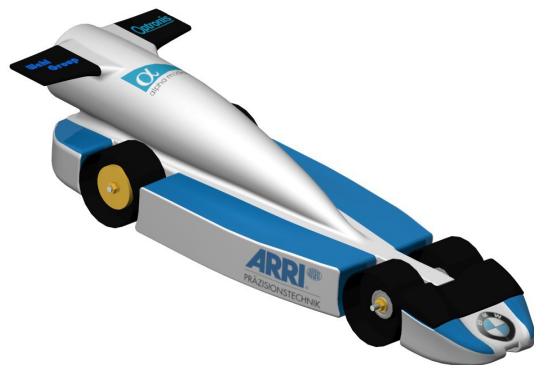


Abbildung 22: DM-Modell

5. Wichtige Erfahrungen für das Berufsleben und Einfluss auf Entscheidung für einen Studiengang

In dem Wettbewerb „Formel 1 in der Schule“ können die Schüler viele wichtige Erfahrungen, vor allem hinsichtlich des Berufslebens, sammeln.

Die Schüler lernen beispielsweise, welche Phasen durchlaufen werden müssen und was alles notwendig ist, um dieses anspruchsvolle Projekt nicht scheitern zu lassen.

Von Management über die Ressourcen- und Finanzplanung bis hin zur Entwicklung und Produktion des Wagens sind alle diese Aufgabenbereiche in das umfassende Projekt eingebunden. Dadurch wird den Schülern ein Einblick in eine große Bandbreite an Aufgaben- und Berufsfeldern gewährt, der für die spätere Berufswahl wegweisend sein kann.

Durch meine Tätigkeit als Konstrukteurin habe ich mich umfassend mit der Entwicklung des Rennwagens und den notwendigen Aspekten wie der Aerodynamik und den weiteren wichtigen Faktoren für ein schnelles Auto auseinandergesetzt und zudem gelernt, mit einem CAD-Programm zu arbeiten. Da mir dies viel Spaß gemacht hat und ich dieses Aufgabengebiet sehr interessant finde, habe ich mich nun entschlossen, Maschinenwesen mit dem Schwerpunkt Entwicklung und Konstruktion zu studieren und kann mir gut vorstellen, später als Konstrukteurin tätig zu sein.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Wettbewerb „Formel 1 in der Schule“ den Schülern nicht nur einen groben Einblick in technische Berufe bietet, sondern dass die Schüler auch viele wichtige Kompetenzen erwerben, wie z.B. Teamarbeit und Projektplanung, die ihnen die Schule in diesem Maße nicht vermitteln kann, die aber für ein erfolgreiches Berufsleben unabdingbar sind.

Obwohl die Teilnahme an dem Wettbewerb „Formel 1 in der Schule“ einen enormen Arbeitseinsatz und Zeitaufwand verbunden ist, lohnt es sich meiner Meinung nach auf jeden Fall, bei dem Wettbewerb anzutreten, denn die Erfahrungen in den verschiedenen Bereichen des Projekts sind ein wertvoller Gewinn für das Leben.

6. Anhang

6.1 Glossar

Entstehung von Verwirbelungen und Grenzschicht:

An der Wand des Körpers haften die Fluidteilchen, sie gleiten nicht. So bildet sich nahe der Wand eine Schicht aus, in der die Geschwindigkeit durch Reibungskräfte auf den Wert Null an der Wand sinkt. Diese Schicht wird Grenzschicht genannt.⁷

Durch die Geschwindigkeitsdifferenz der wandnahen und wandfernen Teilchen entstehen am Körper Verwirbelungen, die je nach Körperform stärker oder schwächer auftreten können. Mit zunehmender Länge des Körpers nimmt auch die Dicke der Grenzschicht zu.

Entstehung von Ablösung:

Im Staupunkt vor dem Körper ist der Druck maximal, nimmt dann aber bis zur dicksten Stelle des Körpers kontinuierlich ab. Nach diesem Punkt steigt der Druck wieder an, doch die Energie der Teilchen in Wandnähe reicht nicht mehr aus, um gegen den Druckanstieg der weiter entfernten Strömung zu fließen⁸ und die wandnahen Teilchen strömen folglich zurück. Dadurch löst sich die Strömung von der Körperkontur und es entstehen Zirkulationsgebiete. Der Punkt, an dem die Strömung vom Körper abreißt, wird Ablösepunkt genannt.

⁷ Vgl. Hucho: Aerodynamik der stumpfen Körper, 2011, S. 23 f.

⁸ Vgl. Hucho, a.a.O., S. 39

6.2 Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis:

Hucho, Wolf-Heinrich: Aerodynamik der stumpfen Körper, Physikalische Grundlagen und Anwendungen in der Praxis, 2.Auflage, Wiesbaden 2011

Winkler, Andreas: Ein automatisiertes Verfahren zur aerodynamischen Formentwicklung, München 2011

Angelis, Walter: Komplementäre Methodik in der Aerodynamik bodennaher Fahrzeuge, München 1996

Schiller, Ludwig: Handbuch der Experimentalphysik, Leipzig 1931, Hydro- und Aerodynamik, Bd.4, Teil 1

Schiller, Ludwig: Handbuch der Experimentalphysik, Leipzig 1932, Hydro- und Aerodynamik, Bd.4, Teil 2

Internetquellen:

Technoplast V. Treskow GmbH (Hrsg., 2013): Datenblatt Eigenschaften Acetal Polyacetal Polyoxymethylen POM C Kunststoff, <http://www.technoplast-onlineshop.de/Eigenschaften/Datenblatt/Polyoxymethylen/Polyacetal/POM> (Stand: 29.09.2013)

Formel 1 in der Schule GmbH (Hrsg., 2013): www.f1inschools.de (Stand: 02.08.2013)

Sonstige Quellen:

„Formel 1 in der Schule“ Regelwerk 2011/2012

Meyer, Lothar: Naturwissenschaftliche Formelsammlung, Berlin 2009

6.3 Abbildungsverzeichnis

Abbil- dungs- nummer	Titel	Autor	Seite
1	Fahrzeuge am Start	Team Fastcination	3
2	Konstruktion des Modells mit Solid Edge ST2	Voss, Maria	6
3	Modell im virtuellen Windkanal „Caedium“	Team Fastcination	6
4	Modell ohne Texturen	Voss, Maria	7
5	Modell mit Texturen	Voss, Maria	7
6	Modell in gerenderter Umgebung	Team Fastcination	7
7	Programmierung der Fräsvorgänge	Team Fastcination	7
8	Modell beim Fräsen	Matl, Gregor	7
9	Teamstand	Voss, Maria	8
10	Projektionsfläche	Hucho, Wolf-Heinrich	12
11	Widerstandsbeiwerte verschiedener Körper	Voss, Maria	13
12	Strömung um einen schlanken Körper	Hucho, Wolf-Heinrich	14
13	Strömung um einen stumpfen Körper	Hucho, Wolf-Heinrich	14
14	Seitliche Ansicht der Schnauze des RM-Modells mit hoher Frontpartie	Voss, Maria	15
15	Seitliche Ansicht der Schnauze des DM-Modells mit flacher Frontpartie	Voss, Maria	15
16	Drahtmodellansicht des Frontspoilers	Team Fastcination	16
17	RM-Modell mit konkaver Form der Seitenkästen	Voss, Maria	17
18	DM-Modell mit stromlinienkörperähnlicher Form der Seitenkästen	Voss, Maria	17
19	Druck am Körper bei unterschiedlichen Spoilerpositionen	Team Fastcination	18
20	auf den Spoiler wirkender Unterdruck in Newton in der jeweiligen Position	Team Fastcination	19
21	RM-Modell	Team Fastcination	19
22	DM-Modell	Team Fastcination	19

6.4 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich meine Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.

....., den

Ort

Datum

.....

Unterschrift des Schülers/der Schülerin