



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Diplomarbeit

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Formgestaltung und Oberflächen des Designmodells RB07

27. Februar 2009



Abstract

In der heutigen Zeit ist es wichtig, wegen der starken Umweltbelastung im Bereich der Personenkraftwagen ein Umdenken in der Automobilbranche stattfinden zu lassen. Einige Firmen haben sich mit der Thematik befasst und Fahrzeuge mit alternativen Antrieben entwickelt. Diese Diplomarbeit greift dieses Thema auf und gibt einen kleinen Einblick in die derzeit verwendeten Möglichkeiten zur Realisierung eines mit alternativem Antrieb bestückten Sportwagens. Dabei wird auf die zur Umsetzung nötigen Maßnahmen, wie Formfindung und Benchmark eingegangen. Als Vorlage dient ein Designmodell, welches im Zuge einer Projektarbeit an der HAW Hamburg entstanden ist. In Anlehnung an dieses Modell wird die Formfindung in Zusammenhang mit einem Benchmark unter Einhaltung gesetzlicher Vorschriften beschrieben und ein Package erstellt. Mit diesen Vorgaben und unter Verwendung des Konstruktionsprogrammes CATIA V5 wird eine mögliche Variante eines Fahrzeugrahmens gezeigt. Im Hauptteil wird auf das neue Design des Fahrzeugs und dessen Entstehung in ICEM Surf eingegangen. Ziel der Arbeit ist es Aufzuzeigen welche Möglichkeiten derzeit bestehen, ein sportliches und dennoch umweltfreundliches Automobil zu entwickeln.



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik + Flugzeugbau
Berliner Tor 9
20099 Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

Bertrandt Ing.-Büro GmbH
Krümke 1
38479 Tappenbeck

Verfasser: Rüdiger Böge, Tjark Miles
Abgabedatum: 27.02.2009

1. Prüfer: Prof. Werner Granzeier
2. Prüfer: Dipl.-Ing. Ronald Krebs

Industrielle Betreuung: Dipl.-Ing. Ronald Krebs



Aufgabenstellung Diplomarbeit

Prof. Werner Granzeier

Diplomarbeit

Name: Rüdiger Böge, Tjark Miles

Thema: **Formgestaltung und Oberflächen des Designmodells RB07**

Ausführliches Thema: Formfindung und Oberflächengestaltung im Bereich Exterieur auf Basis des Designmodells RB07, unter Berücksichtigung von Design-, Package-, Technik- und Gesetzesvorgaben, mit Fokus auf einen alternativen Antrieb.

1. Das Ziel der Diplomarbeit besteht darin, eine Designvariante des RB07 auf Basis eines alternativen Antriebes zu entwickeln und diese unter Berücksichtigung von Design-, Package-, Technik-, und Gesetzesvorgaben im Bereich des Exterieurs durch Oberflächen in ICEM Surf darzustellen.

2. Teilaufgaben:

- Designskizzen erarbeiten
- Benchmark von Referenzfahrzeugen
- Die Packageerstellung
- Konstruktion des Fahrzeugrahmens
- Ausarbeitung im Strak

Diese Diplomarbeit wird in Zusammenarbeit / mit Unterstützung der Firma **Bertrandt Ing.- Büro GmbH, Tappenbeck** durchgeführt.

Wolfsburg, den 25. Februar 2009



Erklärung zur selbständigen Anfertigung dieser Arbeit

Hiermit versichern wir, dass wir die vorliegende Arbeit mit dem Titel

Formgestaltung und Oberflächen des Designmodells RB07

selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt haben. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommene Textpassagen, Bilder etc. sind unter Angaben ihrer Herkunft im Text gekennzeichnet.

Wolfsburg, den 25. Februar 2009

Rüdiger Böge

Tjark Miles



Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen bedanken, die uns bei dieser Diplomarbeit unterstützt haben, besonders bei dem Strak- Team und der gesamten Abteilung K4, Bertrand Ing.- Büro Tappenbeck.

Außerdem bedanken wir uns bei allen Mitarbeitern des Bertrand Ing.- Büro Tappenbeck, die uns mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Ebenso gilt unser Dank Prof. Granzeier, Ronald Krebs und Anton Bytom, die uns mit ihren Ratschlägen und Anregungen sehr geholfen haben.



Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	II
1 Einleitung	1
2 Vorstellung Designmodell RB07	3
2.1 Auszug aus dem Lastenheft des Designmodells RB07	3
2.2 Beschreibung des Designmodells RB07	5
3 Formfindung der Variante	6
3.1 Variante RB07 Targa	6
3.1.1 Frontbereich	7
3.1.2 Heckbereich	8
3.2 Variante RB07 SUV	9
3.2.1 Frontbereich	10
3.2.2 Heckbereich	10
3.3 Designentscheidung	10
4 Benchmark	11
4.1 Referenzfahrzeuge	11
4.1.1 Audi R8 Diesel	12
4.1.2 Tesla Roadster	12
4.1.3 Lightning GT	14
4.1.4 Honda FC Sport	15
4.1.5 Fisker Karma	16
4.2 Antriebskonzepte für Elektrofahrzeuge	17
4.2.1 Induktionsmotor	18
4.2.2 Radnabenmotor	19
4.3 Energieversorgung	21
4.3.1 Energiespeicher	21
4.3.1.1 Fluide Energiespeicher	22
4.3.1.2 Lithium- Ionen Akkumulator	23
4.3.1.3 Lithium- Polymer Akkumulator	24
4.3.1.4 Lithium- Titanat- Akkumulator	25
5 Konzept	26
5.1 Motor und Energiespeicher	27
5.2 Entscheidung für Hinterradantrieb	28
5.3 Auswahl der Materialien	29
5.4 Benchmark Rahmen	32
5.4.1 Selbsttragende Karosserie	32
5.4.2 Gitterrohrrahmen	33
5.4.3 Zentraltunnelrahmen	34



5.4.4	Wiesmann Rahmen	34
5.4.5	Lotus Elise Rahmen.....	35
6	Konstruktion des gewählten Rahmenkonzeptes	36
6.1	Boden	40
6.2	Schweller und Querträger	40
6.3	Tunnel.....	42
6.4	Crashelemente.....	42
6.5	Frästeile	43
7	Package	45
7.1	Antriebskonzept	45
7.2	Sitzposition	45
7.2.1	Beinfreiheit.....	46
7.2.2	Kopffreiheit	46
7.2.3	Schulter, Hüft und Ellenbogen-Freiheit	46
7.2.4	Sichtbereiche	47
7.2.4.1	Bereiche A und B.....	47
7.2.4.2	Binokularer Verdeckungswinkel.....	49
7.3	Lage der Crashelemente	50
7.4	Allgemeine Fahrzeugabmessungen.....	50
8	Technische Vorgaben	52
8.1	Radeindrehwinkel	52
8.2	Böschungswinkel/Überhangwinkel.....	54
9	Gesetzesvorgaben.....	56
9.1	Kennzeichenabmessungen und Positionierungen	56
9.2	Sicherheitsradien	56
10	Strak	59
10.1	Vorgang des Strakens	59
10.2	Theorieflächen	60
10.2.1	Polygone / Polygonpunkte	61
10.2.2	Highlights.....	62
10.3	Theorieflächen erzeugen	63
10.3.1	Theorieflächenerzeugung über technische Begrenzungen..	63
10.3.2	Theorieflächenerzeugung über Skizzen	63
10.3.3	Theorieflächenerzeugung über einen Scan	64
10.4	Scan des RB07	65
10.5	Felge RT09	67
10.6	Frontbereich.....	68
10.6.1	Kotflügelbereich.....	70
10.6.2	Frontscheinwerfer	71
10.6.3	Anordnung der Außenspiegel	72
10.6.4	Fronthaube	73
10.7	Heckbereich	74
10.7.1	Kotflügel.....	74
10.7.2	Entlüftung	76



10.7.3	Kennzeichentafel	77
10.7.4	Rückleuchten	79
10.7.5	Auspuff	80
10.7.6	Diffusor	81
10.7.7	Obere Heckkontur.....	82
10.7.8	Spoiler	84
10.7.9	Heckklappe.....	86
10.7.10	Lufteinlass Heckscheibe	87
10.7.11	Lufteinlass Kotflügel.....	87
10.8	Türöffnungskonzept	88
10.9	Scheibentonne	91
10.10	Dachkonzept.....	93
11	Ergebnis	94
11.1	RT09 in Bildern	94
11.2	Ausblick.....	95
	Anhang	III
	Literaturverzeichnis.....	IV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Designmodell RB07 Frontansicht	5
Abbildung 2: Designmodell RB07 Heckansicht.....	5
Abbildung 3: Variante RB07 Targa Frontansicht	6
Abbildung 4: Variante RB07 Targa Frontansicht, Ausschnitt.....	7
Abbildung 5: Variante RB07 Targa Heckansicht.....	8
Abbildung 6: Variante RB07 SUV Frontansicht	9
Abbildung 7: Variante RB07 SUV Frontansicht, Ausschnitt	10
Abbildung 8: Audi R8 Diesel	12
Abbildung 9: Tesla Roadster	12
Abbildung 10: Lightning GT	14
Abbildung 11: Honda FC Sport.....	15
Abbildung 12: Fisker Karma	16
Abbildung 13: Elektromotor Tesla Roadster	18
Abbildung 14: Radnabenmotor	19
Abbildung 15: Radnabenmotor von Michelin	20
Abbildung 16: Selbsttragende Karosserie.....	32
Abbildung 17: Gitterrohrrahmen	33
Abbildung 18: Audi Zero Rahmen.....	34
Abbildung 19: Wiesmann GT Rahmen	34
Abbildung 20: Lotus Elise Rahmen.....	35
Abbildung 21: Kenigsegg CCX Rahmen.....	35
Abbildung 22: Catiarahmen	36
Abbildung 23: Catiarahmen mit Rohdatengitter	37
Abbildung 24: Catiarahmen einfache Radeindrehung	38



Abbildung 25: Catiarahmen Radeindrehung.....	39
Abbildung 26:Aluminiumsandwich	40
Abbildung 27: Schwellerschnitt.....	40
Abbildung 28: Catiarahmen Querträger.....	41
Abbildung 29: Catiarahmen Tunnel	42
Abbildung 30: Catiarahmen Frästeil vorn.....	43
Abbildung 31: Catiarahmen Frästeil hinten.....	44
Abbildung 32: Catiarahmen Package	45
Abbildung 33: Böschungswinkel Audi R8	54
Abbildung 34: Böschungswinkel Porsche GT	54
Abbildung 35: Böschungswinkel RT09	55
Abbildung 36: Tangente 30°.....	56
Abbildung 37: Offsetfläche 20mm.....	57
Abbildung 38: Kontrolle der Sicherheitsradien.....	58
Abbildung 39: Theorieflächen	60
Abbildung 40: Polygonbild	61
Abbildung 41: Highlights	62
Abbildung 42: Claymodell.....	64
Abbildung 43: Scan RB07.....	65
Abbildung 44: Vergleich Scan.....	66
Abbildung 45: Felge RT09.....	67
Abbildung 46: 4 Punkte Patch	68
Abbildung 47: Y0-Symmetrie	69
Abbildung 48: Symmetrie.....	69
Abbildung 49: Kotflügel vorne zu klein.....	70



Abbildung 50: Kotflügel vorne angepasst	70
Abbildung 51: Schlafaugen.....	71
Abbildung 52: Klarglasscheinwerfer	72
Abbildung 53: Öffnen der Fronthaube	73
Abbildung 54: RB07 Kotflügel hinten	74
Abbildung 55: Ferrari Zagato	74
Abbildung 56: Trennfuge zur optischen Verkleinerung	75
Abbildung 57: RB07 Entlüftung.....	76
Abbildung 58: RT09 Entlüftungen hinten	76
Abbildung 59: Positionierung Kennzeichentafel.....	77
Abbildung 60: Kennzeichenblende	78
Abbildung 61: RB07 Rückleuchten	79
Abbildung 62: RT09 Rückleuchten	79
Abbildung 63: Auspuffblende.....	80
Abbildung 64: RB07 Diffusor	81
Abbildung 65: RT09 Diffusor.....	81
Abbildung 66: Draufsicht RB07 Konturverlauf	82
Abbildung 67: Draufsicht RT09 Konturverlauf.....	82
Abbildung 68: Höckerkontur Frontansicht.....	83
Abbildung 69: Überrollbügel	83
Abbildung 70: Draufsicht RT09 ohne Spoiler.....	84
Abbildung 71: RT09 Draufsicht mit Spoiler Variante 1.....	85
Abbildung 72: RT09 Draufsicht mit Spoiler Variante 2.....	85
Abbildung 73: Öffnen der Heckklappe	86
Abbildung 74: Lufteinlass Heckscheibe	87



Abbildung 75: Lufteinlass Kotflügel hinten	87
Abbildung 76: Koenigsegg CCX Rahmen, Türöffnung	88
Abbildung 78: RT09 geöffnete Türen.....	89
Abbildung 77: Koenigsegg CCX geöffnete Türen	89
Abbildung 79: RT09 Drehachse Tür	90
Abbildung 80: Scheibentonne.....	91
Abbildung 81: Scheibentonne Abzugsrichtung	91
Abbildung 82: Durchdringungsanalyse	92
Abbildung 83: Dachverschluss	93
Abbildung 84: RT09.....	94

1 Einleitung

Mit zunehmender Belastung der Umwelt durch den Ausstoß von CO₂ und Feinstaub, sowie der steigenden finanziellen Belastung durch hohe Mineralölpreise, sind die Käufer neuer Autos zu einem Umdenken gezwungen. Mineralölknappheit und neue Gesetzesauflagen machen das Autofahren durch die hohen Unterhaltskosten zu einem Luxus, oder einer notwendigen Belastung, wenn man in seinem Beruf auf ein Auto angewiesen ist. Es spielen weiterhin die Optik und die Ausstattung beim Kauf eine entscheidende Rolle, aber mit steigender Tendenz auch das Angebot von Fahrzeugen mit geringen Verbrauchs- und Emissionswerten. Aus diesen Gründen ist es notwendig Fahrzeuge zu entwickeln, die den heutigen Anforderungen entsprechen. Meist handelt es sich bei den neuentwickelten Fahrzeugen um kleine Pkws mit einer geringen Antriebsleistung, bei denen das Fahrvergnügen oft etwas zu kurz kommt. Aus diesem Grund haben sich einige Hersteller die Aufgabe gestellt sportlichere Autos mit alternativen Antrieben zu entwickeln, die ähnliche Verbrauchs- und Schadstoffwerte erreichen wie ein Kleinwagen, dabei aber ein Vielfaches ihrer Leistung bereitstellen. Unter dieser Voraussetzung haben wir uns entschlossen mit Hilfe der Firma Bertrandt ein sportliches Fahrzeug mit alternativem Antrieb zu entwerfen, welches nicht nur schadstoffarm, sondern auch durch seine Fahrleistungen und sein sportliches Gesamterscheinungsbild überzeugen soll. Als Basis dient das Designmodell RB07, das im Rahmen eines Schwerpunktprojektes an der HAW Hamburg entstanden ist.

Neben der Zielsetzung ein ansprechendes, sportliches Design zu entwickeln spielt auch die technische Umsetzung, sowie eine alternative, umweltschonende und emissionsarme Antriebsart eine wichtige Rolle.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Formfindung und Oberflächenerstellung im Bereich Exterieur auf Basis des Designmodells RB07 mit dem Programm ICEM Surf, unter Berücksichtigung von Design-, Package¹-, Technik- und Gesetzesvorgaben, mit dem Fokus auf ein alternatives Antriebskonzept.

¹ als Package (engl. Paket) wird im Automobilbau der Bauraum mit der geometrischen Anordnung der Bauteile bezeichnet
Quelle: eigene Erklärung

Da sich der überwiegende Teil der Diplomarbeit mit dem Design und der Erstellung eines Oberflächenmodells im Strak beschäftigte, was einen sehr hohen Umfang zur Bearbeitung dieser Diplomarbeit mit sich führte, wurde diese Diplomarbeit von zwei Diplomanden bearbeitet.

Im ersten Abschnitt wird zunächst das Designmodell des RB07 beschrieben, um das Referenzfahrzeug vorzustellen. Im Weiteren werden verschiedene Varianten des RB07 dargestellt und nach einer durchgeführten Benchmarkanalyse² das gewählte Konzept beschrieben.

Im nächsten Abschnitt wird die Entstehung des Fahrzeugrahmens erklärt, der eine Benchmarkanalyse vorausgegangen ist. Dieser in CATIA V5³ erstellte Rahmen dient als Grundlage für allgemeine Untersuchungen. Neben den technischen und gesetzlichen Vorgaben, die auf den Rahmenuntersuchungen basieren bildet auch die Packageerstellung eine wichtige Grundlage für den Strak⁴.

Im Hauptteil der Diplomarbeit werden die Ergebnisse der erarbeiteten Formen basierend auf den vorangegangenen Analysen, wie Benchmark und technischen Untersuchungen vorgestellt.

In der Gliederung laufen die einzelnen Arbeitsschritte nacheinander ab, was nicht der tatsächlichen Abfolge der Entstehung entspricht. Die meisten Arbeiten und Untersuchungen liefen parallel ab.

² Benchmark (engl. „Maßstab“) oder Benchmarking (= Maßstäbe setzen).

Eine Benchmark oder das Benchmarking ist eine vergleichende Analyse mit einem festgelegten Referenzwert. Benchmarking wird in vielen verschiedenen Gebieten mit unterschiedlichen Methoden und Zielen angewendet.
Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Benchmark>; Abruf: Februar.2008.

³ CATIA (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application) ist ein professionelles CAD-Programm der französischen Firma Dassault Systèmes, das ursprünglich für den Flugzeugbau entwickelt wurde und sich auch im Fahrzeugbau neben ProEngineer, Unigraphics und I-DEAS als professionelle Standard-CAD-Software etabliert hat.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/CATIA>, Abruf Februar 2009

⁴ Als Strak eines Fahrzeuges wird die geometrische Darstellung der sichtbaren Oberflächen im Interieur und Exterieur unter Berücksichtigung aller technischen und formalästhetischen Ansprüche bezeichnet
Quelle: Eigene Erklärung.

2 Vorstellung Designmodell RB07

Bei dem Designfahrzeug RB07 handelt es sich um eine Studie, welche im Zuge eines Projektentwurfes an der HAW Hamburg entstanden ist. Ziel war es ein futuristisch anmutendes Designfahrzeug zu erstellen, mit einem eigenständigen Erscheinungsbild, das sich von allen bekannten Sportwagen abhebt, aber dennoch die Leistung und Agilität eines Supersportlers besitzt. Es wurde versucht ein Fahrzeug zu designen, welches nicht nur einen aggressiven Sportler darstellt, sondern auch durch eine elegante Anmutung zu beeindrucken weis.

Ein äußerlich stark auffallendes Merkmal sind die hinteren Kotflügel, die sich durch ihre Proportion und runde Bauform vom Fahrzeug abheben. Das Ziel war es, für ein kraftvolles Erscheinungsbild, ähnlich eines angespannten Muskels zu sorgen. Das Fahrzeug wurde als ein zweisitziges Sportcoupé mit Heckantrieb ausgelegt. Für den Antrieb soll der RB07 über einen V8 Verbrennungsmotor verfügen. Um für eine ausreichende Steifigkeit zu sorgen, ist ein Spaceframe⁵, ähnlich eines Audi R8 oder Lamborghini Gallardo angedacht.

2.1 Auszug aus dem Lastenheft⁶ des Designmodells RB07

Fahrzeugeigenschaften

- Geschlossener Karosserieaufbau
- Zweisitzer, mit der Anordnung nebeneinander
- Mittelmotor Konstruktion

⁵ Als Spaceframe (räumliches Fachwerk) wird ein fahrbares Untergestell eines Fahrzeuges genannt, an dem die Karosserieteile angebracht werden.

Quelle: eigene Erklärung

⁶ Ein Lastenheft beschreibt die Anforderungen, die vom Auftraggeber gestellt werden

Quelle: eigenen Erklärung

**Zulassung**

-EG und US-Zulassung

Karosserie

- Außenhaut aus CFK⁷
- zwei Türen, ausgelegt als Flügeltüren

Antrieb/Fahrwerk

- Benzinmotor von Audi mit 8 Zylindern in V-Anordnung und 4200cm³ Hubraum
- Heckantrieb
- 6-Gang-Getriebe
- Servolenkung
- Anti-Blockier-System und Anti-Schlupf-Regelung
- Scheibenbremse an allen vier Rädern

Abmessungen und Gewichte

-Länge:	4325mm
-Breite:	2000mm
-Höhe:	1150mm
-Radstand:	2525mm
-Spurweite vorn/hinten:	1850mm/2000mm
-Masse:	1400 kg
-Reifen vorn/hinten:	235/35/19 / 315/30/19
-Felgen vorn/hinten:	8x19/10x19

⁷ Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK – C für Carbon = Kohlenstoff) bezeichnet einen Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoff, bei dem Kohlenstofffasern, meist in mehreren Lagen, als Verstärkung in eine Kunststoffmatrix eingebettet werden.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverstärkter_Kunststoff; Abruf: Februar 2009

2.2 Beschreibung des Designmodells RB07

Auffällig ist die markante Front, mit den Lufteinlässen an der Seite, die für eine ausreichende Kühlung der Bremsen sorgen sollen. Die sich auf der Haube befindlichen Luftauslässe sorgen für einen ausreichend großen Luftfluss durch den Wasserkühler, der sich hinter dem Kühlerschutzgrill befindet.

Die Zweifarbige Lackierung dient als Stilmittel, um die besonderen Konturen der Karosserie stärker hervorzuheben und die Individualität des Fahrzeugs zu unterstreichen. Markant sind auch die beiden Lufteinlässe vor den hinteren Kotflügeln, die für eine ausreichende Belüftung sorgen.

Am Heck befinden sich drei Entlüftungen die dafür sorgen, dass die von den Aggregaten abgegebene Wärme entweichen kann. Im

unteren Bereich ist ein Diffusor⁸ vorgesehen, der das Fahrzeug bei hohen Geschwindigkeiten stabilisieren soll. Um das Fahrzeug durch seine kantige Formgebung nicht zu aggressiv wirken zu lassen, wurden die hinteren Kotflügel weicher gestaltet. Daraus entsteht eine Kombination aus Aggressivität und Eleganz. (Vergl. Abbildung 1 und 2)



Abbildung 1: Designmodell RB07 Frontansicht



Abbildung 2: Designmodell RB07 Heckansicht

⁸ ein Diffusor ist ein Bauteil, das bei Fahrzeugen dafür sorgt, dass ein Unterdruck unter dem Fahrzeug entsteht und das Fahrzeug so an den Boden gepresst wird.
Quelle: eigene Erklärung

3 Formfindung der Variante

Da die Designstudie des RB07 bereits als Studienschwerpunktentwurf ausgelegt wurde besteht die Aufgabe in dieser Arbeit darin, eine Variante des RB07 herzustellen. Als mögliche Varianten wären eine Cabiro-, Targa-, oder sogar eine SUV⁹- Version denkbar. Ein gewisser Wiedererkennungswert sollte gegeben sein. Hierzu wurden in der ersten Phase Skizzen der möglichen Varianten erstellt, um die verschiedenen Möglichkeiten zu visualisieren. Die Visualisierung ermöglicht eine Bewertung der verschiedenen Designs. Auf diesen Bewertungen stützt sich die Designentscheidung.

3.1 Variante RB07 Targa



Abbildung 3: Variante RB07 Targa Frontansicht

Die hier erstellte Variante des RB07 stellt einen Targa dar (vergl. Abbildung 3). Targa ist die umgangssprachliche Abkürzung für ein Fahrzeug mit Targadach, was bedeutet, dass das Dach komplett aus dem Fahrzeug herausgenommen und separat, nicht notwendigerweise im Fahrzeug, verstaut wird. Im Gegensatz zum Cabriolet, bei dem das Dach nach hinten geklappt wird, hat der Targa den Nachteil, dass beim Einsetzen von Regen, Hagel, Schnee usw. die Insassen, sowie das

⁹ Sport Utility Vehicle; vergl. Kapitel 3.2

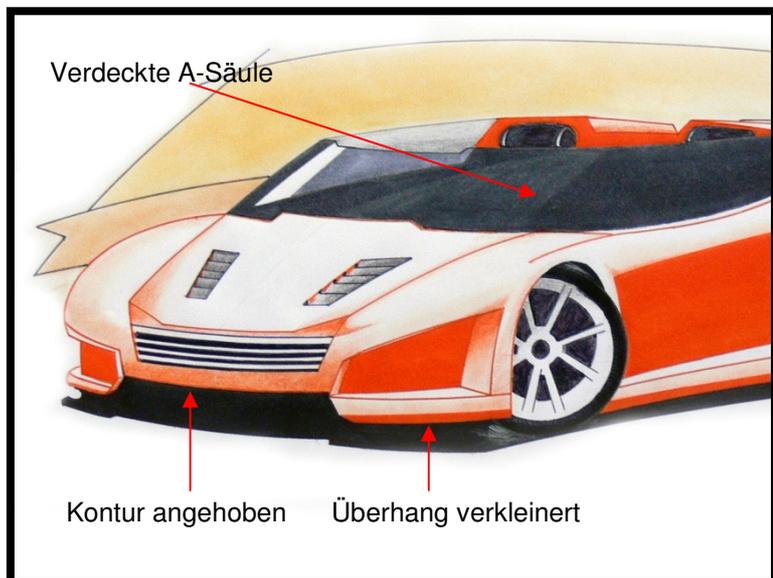
Interieur der Witterung ohne nennenswerten Schutz ausgeliefert sind. Ein Cabriolet könnte in diesem Fall das Dach schnell, heutzutage komplett automatisch, verschließen.

Die Bauform des Targas bietet sich als Variante des RB07 besonders an, weil wesentliche Designmerkmale, wie die Silhouette und der weit ausgestellte hintere Kotflügel bestehen bleiben können.

Bei der erstellen Targavariante des RB07 wurde darauf geachtet, den Radstand zu erhöhen, um ein besseren Geradeauslauf zu erzielen und außerdem den Insassen mehr Raum zu bieten. Die Dimension der Felgen sollte ungefähr einer 19“ Felge entsprechen. Die Lufteinlässe in der Fronthaube, sowie im hinteren Kotflügel sind zum Erhalt der Wiedererkennung belassen worden.

3.1.1 Frontbereich

Der Entwurf des Frontbereiches ist in Abbildung 4 dargestellt. Der Überhang, von Anfang Fahrzeug bis Vorderachse, wurde gegenüber dem RB07 verringert, um die Optik aggressiver erscheinen zu lassen und den Böschungswinkel¹⁰ zu erhöhen, der in der Designstudie sehr gering ausgefallen ist. Die Motorhaube ist angehoben worden, um Platz für darunterliegende Crashelemente¹¹ zu schaffen. Weiterhin ist im Frontbereich



auf Höhe des Kühler- **Abbildung 4: Variante RB07 Targa Frontansicht, Ausschnitt** schutzgrills ein Anheben der Ursprünglichen Kontur vorgenommen worden, um den Böschungswinkel weiter zu vergrößern. Im Bereich der unteren Vorderscheibenkante

¹⁰ Vergl. Kapitel 8.2

¹¹ Element zur Absorption von kinetischer Energie durch Verformung
Quelle: eigene Erklärung

wurde eine aggressiv wirkende Kante hinzugefügt um das Fahrzeug noch sportlicher wirken zu lassen. Die durchgängig wirkende Front/Seitenscheibe wird von der A-Säule gestützt, die möglichst verdeckt gehalten werden soll. Es ist angedacht, die Front- und die Seitenscheibe an einer scharfen Kante zusammenzuführen.

3.1.2 Heckbereich

Die kantigen Höcker hinter den Kopfstützen unterstreichen die eckige und sehr aggressive Optik. Die in der Designstudie sehr wichtig wirkenden Heckkotflügel wurden in dieser Skizze (vergl. Abbildung 5) durch einen etwas kantigeren Verlauf ersetzt. Der Heckleuchtenbereich ist nach Vorbild des RB07 belassen worden um die Wiedererkennung zu unterstreichen. Es ist angedacht die Höcker nicht bis zum Ende des Fahrzeugs verlaufen zu lassen, weil durch diese Maßnahme die besondere Kontur des Fahrzeugs verloren ginge.

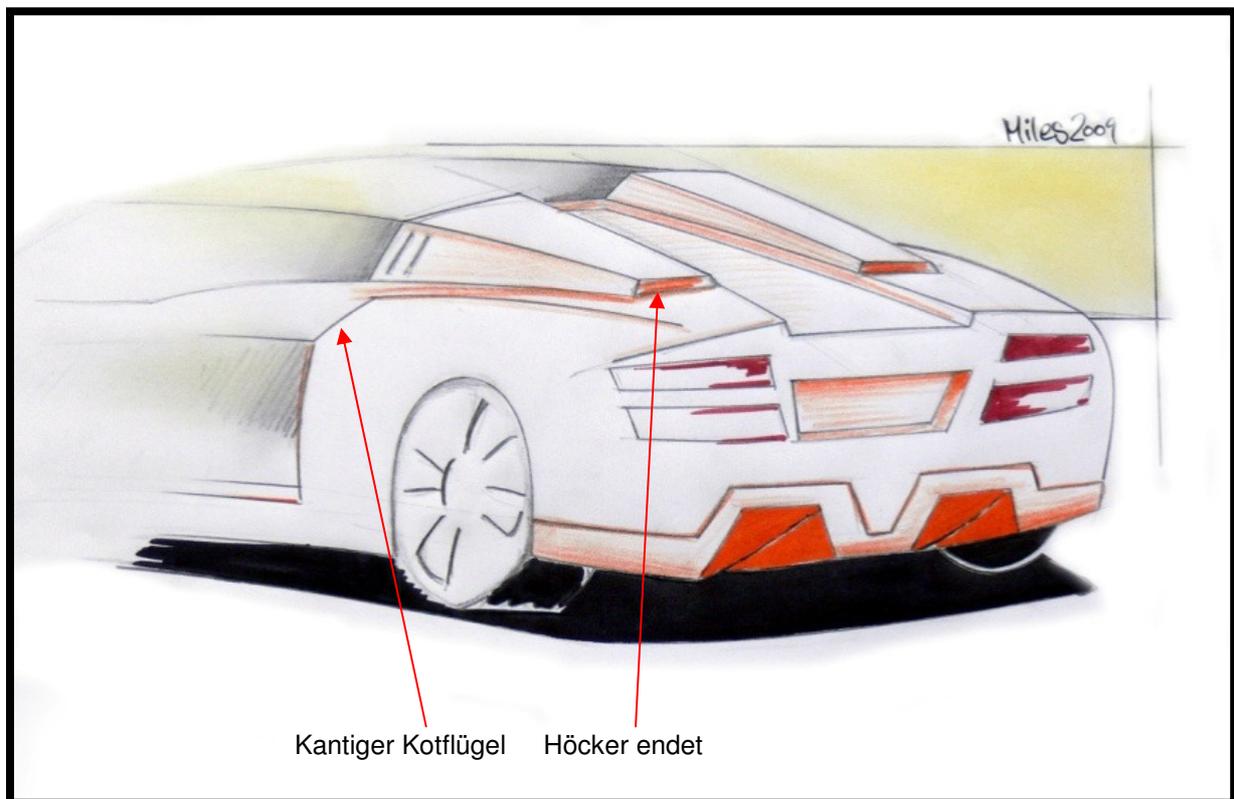


Abbildung 5: Variante RB07 Targa Heckansicht

3.2 Variante RB07 SUV



Abbildung 6: Variante RB07 SUV Frontansicht

Die Abbildung 6 zeigt eine SUV- Variante des RB07. SUV ist die Abkürzung für Sport Utility Vehicle und wird für Fahrzeuge verwendet, die eher einen Coupé oder Kombinationswagen auf einem geländegängigen Fahrwerk ähneln, als einem reinrassigen Geländefahrzeug. Diese Fahrzeuge sind in der letzten Zeit vor allem bei Frauen sehr beliebt. Als Grund wird vermutet, dass sich die Insassen in einem solchen Fahrzeug sehr sicher und geborgen fühlen.

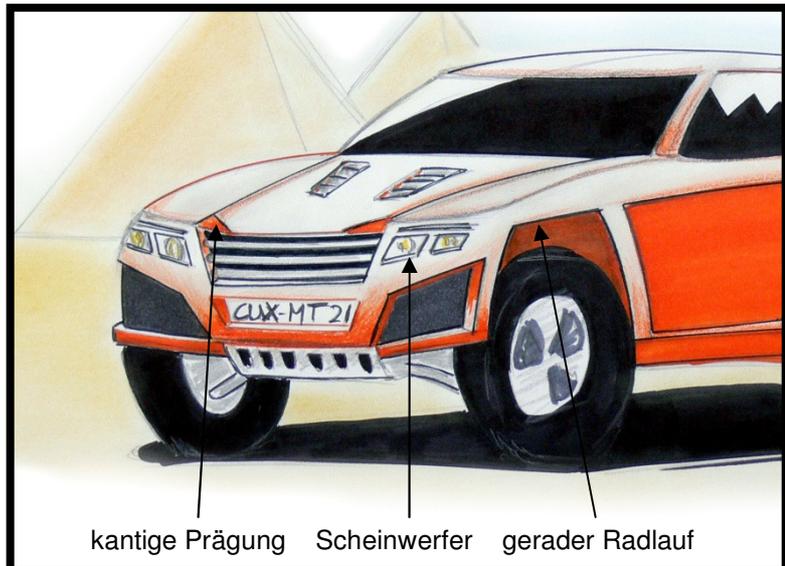
Ein solches Fahrzeug sollte durch seine bullige Form Sicherheit ausstrahlen und Masse verkörpern. Es darf jedoch nicht dazu neigen statisch und langweilig zu wirken, deshalb ist es notwendig dem Design eine gewisse Dynamik zu geben, indem ausgefallene Formen verwendet werden.

Die hier erstellte Variante stellt einen SUV dar, der durch Übernahme besonderer Details stark an den RB07 erinnert und gleichzeitig einen eigenen Charakter erhält.

3.2.1 Frontbereich

Im Gesamten wurde bei der SUV Variante des RB07 versucht das Fahrzeug kantiger und robuster wirken zu lassen (vergl. Abbildung 7). Hierzu sind im Frontbereich die Radläufe an der oberen Kante durch eine gerade Linie, die über die komplette

Seitenpartie weitergeführt wird, ersetzt worden. Die Motorhaube, samt Kühler-schutzgrill, ist gradliniger gestaltet worden. Die Frontscheinwerfer wurden entsprechend der kantigen Optik fast quadratisch ausgeführt. Zur Wiedererkennung wurden die



Prägung und die Luft- **Abbildung 7: Variante RB07 SUV Frontansicht, Ausschnitt** einlässe in der Motorhaube übernommen. Der A-Säulenbereich ist etwas steiler ausgeführt worden, da es sich nicht mehr um einen Supersportler handelt, sondern um ein geländegängiges, sportlich anmutendes SUV-Coupé.

3.2.2 Heckbereich

Im Heckbereich fällt vor allem das gegenüber dem RB07 abgeschnittene Heck auf. Dieses Heck erinnert an Fahrzeuge wie den VW Buggy und vermittelt auf diese Weise die Sportlichkeit, die von diesem Fahrzeug ausgehen soll. Der große Lufteinlass direkt vor dem hinteren Kotflügel ist aus Wiedererkennungsgründen übernommen worden.

3.3 Designentscheidung

Die Entscheidung ist zu Gunsten des Targas getroffen worden, da das Konzept des Targas besser zum Thema Sportlichkeit passt als die SUV- Variante. Durch seinen leichten und aerodynamischen Aufbau eignet sich der Targa gut für eine alternative Antriebsart.

4 Benchmark

Das Benchmark wurde durchgeführt, um einen Überblick der Marktsituation zu erlangen und verschiedene Antriebskonzepte aufzuführen.

4.1 Referenzfahrzeuge

Da in der heutigen Zeit die CO₂ Emission in der Automobilbranche eine wesentliche Rolle spielt und die derzeitigen Sportwagen als wahre Spritfresser verschrien sind, haben sich einige Automobilhersteller über Lösungen Gedanken gemacht umweltverträglichere Sportwagen mit alternativen Antrieben zu entwickeln. Trotz ihrer alternativen Motorisierung, sollen diese Fahrzeuge über eine ausreichende Leistung verfügen um ein Sportwagen ebenbürtiges Fahrverhalten zu ermöglichen. Derzeitige Wettbewerber wie z.B. die durch die Medien bekannt gewordene Firma Tesla, mit dem Tesla Roadster, setzen wie die Firma Lightning auf einen mit E-Motor und Akku betriebenen Sportwagen, mit jedoch unterschiedlichen Motorkonzepten. Honda setzt bei seinem Fahrzeug auf ein mit Wasserstoff betriebenes Modell. Die Firma Fisker verbaut in ihrer 4-Türigen Sportlimousine einen Hybrid-Antrieb und Audi setzt im R8 auf einen sparsamen Dieselmotor. Aus diesem Hintergrund heraus, haben wir uns entschlossen die zu erstellende Designvariante des RB07 ebenfalls mit einem alternativen Antriebskonzept auszustatten, ohne auf entsprechende Fahrleistungen verzichten zu wollen.

Im Weiteren werden die Fahrzeuge der oben genannten Hersteller und deren Antriebskonzepte näher vorgestellt.

4.1.1 Audi R8 Diesel

Audi geht den Weg, seinen Sportwagen R8 mit einem leistungsstarken Dieselmotor auszustatten. Durch diverse Erfolge im Rennsport, konnte Audi bereits seine große Erfahrung auf dem Dieselsektor unter Beweis stellen. Der R8 ist mit einem 6,0 Liter großen Zwölfzylinder bestückt, der eine Leistung von 368 kW/500PS und ein maximales Drehmoment von 1000 Newtonmetern (Nm) erreicht. Die Beschleunigung des rund



1560 Kilogramm schweren **Abbildung 8: Audi R8 Diesel**

Sportwagens beträgt laut Werksangaben 4,2 Sekunden von 0 auf 100 Kilometer pro Stunde (km/h), mit einer Höchstgeschwindigkeit von 300km/h. Der Kraftstoffverbrauch ist mit weniger als zehn Litern auf 100 Kilometern angesetzt, bei einem Tankvolumen von knapp 90 Litern.¹²

4.1.2 Tesla Roadster

Die Firma Tesla baut einen vollständig elektrisch betriebenen, zweisitzigen Sportwagen. Er ist das erste Serienfahrzeug der Firma Tesla Motors. Der Roadster wird von einem etwa fußballgroßen, 185kW (252 PS) starken Elektromotor im Heck angetrieben. In vorhergegangenen Prototypen wurde ein Zweiganggetriebe verbaut. In der endgültigen Serienform wird jedoch ein Getriebe mit nur einem Gang



Abbildung 9: Tesla Roadster

¹²Quelle: Internet [1]

Verwendung finden, da die Standfestigkeit des Zweiganggetriebes nicht gegeben war. Bis zur Umstellung erhalten alle Tesla Roadster das zweistufige Vorseitengetriebe, das allerdings im zweiten Gang arretiert ist, um die auftretenden mechanischen Kräfte zu beschränken. Mit dem endgültigen Getriebe beschleunigt das Fahrzeug in etwa 3,8 Sekunden von 0 auf 100km/h,

Um die Getriebemechanik zu schonen, wird der Roadster bei 201km/h elektronisch abgeregelt. Wie an der Karosserie deutlich zu erkennen, wurden viele Bauteile vom Lotus Elise übernommen, wie unter anderem auch der Rahmen. Besonders interessant ist der Energiespeicher, der aus 6831 handelsüblichen Lithium-Ionen-Akkuzellen für Laptops besteht. Der gesamte Akkublock verfügt über eine Speicherkapazität von insgesamt ca. 55 Kilowattstunden, die mit einer Spannung von 400 Volt an den Motor abgegeben werden. Das gesamte Paket aus 6831 Zellen wiegt etwa 450kg. Der Batterieblock wird durch eine Mischung aus Wasser und Glykol¹³ gekühlt. Der Wagen ist aus Fiberglas und Aluminium konstruiert bei einem Gesamtgewicht von insgesamt 1250kg. Auf Grundlage des amtlichen amerikanischen Fahrzyklus verspricht der Hersteller eine Reichweite von 350km. Die Ladezeit wird mit 3,5 Stunden angegeben. Die hohe Reichweite trotz der 55 Kilowattstunden Speicherkapazität ist möglich, weil der Elektromotor beim Bremsen als Generator wirkt und so einen Teil der aufgebrachten kinetischen Energie in elektrischen Strom umwandelt. Dies spart besonders bei Stadtfahrten Energie. Der Preis für die Basisausstattung des Wagens beträgt 109.000 US-Dollar. Ein vollständiges Laden des Akkublocks (für ca. 350km Reichweite) kostet nach amerikanischen Preisen etwa zwei bis drei US-Dollar. Auf deutsche Strompreise übertragen entspricht dies etwa 11 Euro (bei 20 ct/kWh). Nachdem der Roadster zuerst nur in Nordamerika angeboten wurde, soll er ab Mai 2009 auch in Europa erhältlich sein. Dafür wurde ein auf 250 Einheiten limitiertes Sondermodell Signature Edition zum Preis von mindestens 117.810 Euro geschaffen. Das europäische Modell soll einen stärkeren Motor, ein verändertes Getriebe, spezielle Dämpfer und Sonderfelgen besitzen.¹⁴

¹³ einfachster zweiwertiger Alkohol, ölige, farblose, süß schmeckende, giftige Flüssigkeit; Verwendung als Glycerinersatz, Gefrierschutzmittel und Bremsflüssigkeit.

Quelle: <http://lexikon.meyers.de/wissen/Glykol>; Abruf: Februar 2009

¹⁴ Quelle: Internet [2]

4.1.3 Lightning GT

Der Lightning GT ist ein mit Elektroenergie betriebener britischer GT-Sportwagen. Der Antrieb erfolgt über vier Radnabenmotoren, der Firma PML Flightlink, mit einer Leistung von je 120kW (163PS). Die Motoren, die zusammen eine Leistung von 480kW (652PS) und 750Nm Drehmoment entwickeln, beschleunigen den 1400kg schweren Lightning GT in weniger als vier Sekunden



Abbildung 10: Lightning GT

von 0 auf 100km/h und eine Höchstgeschwindigkeit von ca. 209km/h. Die Energiequelle besteht aus einem Lithium-Titanat-Akkumulator der Firma Altair Nanotechnologies, welcher durch eine spezielle Ladeinheit in nur zehn Minuten komplett aufladen werden kann. Bei einer Batteriekapazität von 35kWh (Strombedarf bei einer Schnellladung: 38,89kWh) wird eine Reichweite, bei voller Batterie, von 300 Kilometern angegeben. Auch bei dem Lightning GT erfolgt eine Energierückgewinnung beim Bremsen. Der Lightning GT und der Tesla Roadster gelten als die derzeit schnellsten in Serie gefertigten Elektrofahrzeuge der Welt. Der Auslieferungsstart für das Fahrzeug, mit einem Preis von 155000€, ist 2009 geplant. Verbrauch: 9,67kWh/100km (9,67kWh entsprechen dem Energieinhalt von 0,98l Diesel.), Kosten: ca. 2 Euro pro 100km. Unter Einbeziehung der CO₂-Emissionen des deutschen Strommixes von rund 530g/kWh macht das 51,3g/km; bei der Nutzung von Ökostrom entsprechend weniger.¹⁵

¹⁵ Quelle: Internet [3]

4.1.4 Honda FC Sport

Bei dem Honda FC Sport handelt es sich um eine mit Wasserstoff betriebene Studie eines Sportwagens, die auf der Los Angeles Auto Show enthüllt wurde. Die Energie bezieht der Honda FC Sport aus einer Brennstoffzelle, nachgeschaltet folgt ein kraftvoller Elektromotor. Über die Fahrleistungen und die Stärke des Motors lagen keine Informationen vor. Die



kompatte Brennstoffzellen- **Abbildung 11: Honda FC Sport**

Technologie die hier zum Einsatz kommt, wurde bereits im Honda FCX Clarity verbaut, welcher Ende Juli 2008 an erste Privatkunden in den USA ausgeliefert wurde. Bei dem Honda FC Sport ist sehr auf Leichtbau und einen niedrigen Schwerpunkt geachtet worden, so befindet sich der Brennstoffzellen-Stack zwischen den beiden Rücksitzen, die Batterieeinheit wurde tief im Fahrzeugboden verbaut und die Anordnung der Elektromotoren befindet sich vor der Hinterachse. Die Wasserstofftanks wurden, durch eine Glasabdeckung gut sichtbar, im Heck über der Hinterachse verbaut. Interessant ist auch die Anordnung der Sitze, da es sich bei dem Honda um einen Dreisitzer handelt. Der Fahrer ist vorn in der Mitte platziert, während zwei weitere Sitzplätze nebeneinander dahinter positioniert sind. Die Kraft wird mittels 19-Zoll Felgen auf die Straße übertragen, um das Fahrzeug zu bremsen, wurde eine große Bremsanlage mit gelochten Scheiben verbaut.¹⁶

¹⁶Quelle: Internet [4]

4.1.5 Fisker Karma

Auf der Detroit Auto Show hat der amerikanische Autobauer Fisker seine Version des kraftstoffsparenden Sportwagens vorgestellt. Fisker setzt auf eine 400PS starke Hybrid-Sportlimousine, die ab 2010 ausgeliefert werden soll.

Die viertürige Limousine kommt auf eine Länge von 4,99 Meter, eine Breite von 1,98 Meter und erreicht eine Höhe von nur 1,33 Meter. Der Radstand soll bei 3,16 Meter liegen. In den Radhäusern



wurden 22 Zoll große Räder **Abbildung 12: Fisker Karma**

verbaut, um die sportliche Note des Fisker zu unterstreichen. Für die Motorisierung sorgt ein Hybridantrieb, der sich unter der Aluminiumkarosserie befindet. Die zwei verbauten Elektromotoren sorgen für eine Leistung von zusammen 296kW an der Hinterachse. Als Energiespeicher dient eine Lithium-Ionen-Batterie, die im voll geladenen Zustand eine Reichweite von 80km gewährleisten soll. Wird der verbaute 2 Liter Benzinmotor zugeschaltet, um den Akku zu laden, soll eine Reichweite von 500km möglich sein. Zudem kann die Batterie an jeder konventionellen Steckdose nachgeladen werden. Die Fahrleistungen werden wie folgt angegeben. Die Beschleunigung von 0 auf 100km/h soll in sechs Sekunden erreicht werden und die Höchstgeschwindigkeit ist auf 200km/h begrenzt. Der Fahrer hat die Möglichkeit zwischen zwei Fahrmodi zu wählen, Im Stelth- Modus wird die Leistung reduziert und das Fahrzeug wird eher zu einem eleganten Gleiter, im Sport- Modus wird dem Fahrer die volle Leistung zur Verfügung gestellt was für ein wesentlich sportlicheres Ansprechverhalten sorgt. Die Auslieferung soll ab Mitte 2010 erfolgen, der Preis startet bei 87.900 Dollar. Eine Cabrio- Variante mit faltbarem Hardtop ist für Ende 2011 geplant.¹⁷

¹⁷ Quelle: Internet [5]

4.2 Antriebskonzepte für Elektrofahrzeuge

Sieht man sich die Neuentwicklungen auf den jüngsten Automobilmessen an, bekommt man den Eindruck, dass der Elektromotor in seinen verschiedenen Ausführungen die Antriebskonzepte in allen Sparten, wie Klein-, Mittel-, oder Oberklasse, revolutionieren wird. Dieser Gedanke ist jedoch ein Trugschluss, denn die Pferdekutschen wurden schon vor rund 100 Jahren durch zwei gleichermaßen häufig verbaute Motoren abgelöst. Es handelt sich hierbei um Verbrennungsmotoren und Elektromotoren. Vielmehr handelt es sich bei der jetzigen Verwendung eines Elektromotors um den Aufgriff einer alten Idee, die sich in der Vergangenheit nicht durchgesetzt hat. Der Grund für den deutlichen Vormarsch der Verbrennungsmotoren lag in der schnellen Ausbreitung der Tankstelleninfrastruktur.

Vergleicht man die Wirkungsgrade von Verbrennungs- und Elektromotor, stellt man fest, dass es große Unterschiede gibt. So weist der Verbrennungsmotor lediglich einen Wirkungsgrad von maximal 40% auf, die meiste Energie wird hierbei in Form von Wärme an die Umwelt abgegeben, ohne nutzbar gemacht zu werden. An dieser Stelle wird das enorme Potential des Elektromotors deutlich, denn der Wirkungsgrad liegt weit über 80%.

Im Vergleich ist Strom in Etwa genauso teuer wie flüssiger Treibstoff, was dazu führt, dass durch den höheren Wirkungsgrad der Elektromotor weit überlegen wirkt. Das Problem ist die Art der Energiespeicherung. Hier stellt sich die Frage, wie die Energie am sinnvollsten zur Verfügung gestellt wird.

Im Folgenden wird die Verwendung eines reinen Verbrennungsmotors ausgeschlossen. Diese Entscheidung begründet sich im höheren Wirkungsgrad des Elektromotors, in dem ein größeres Zukunftspotential gesehen wird. Zur Bereitstellung der notwendigen elektrischen Energie kann jedoch über einen Verbrennungsmotor nachgedacht werden.¹⁸

¹⁸Quelle: Internet [6]

Ein Elektromotor unterliegt in Größe, Drehzahl, Spannungs- und Stromaufnahme, Drehmoment und anderen Faktoren sehr unterschiedlichen Bauformen. In diesem Kapitel soll zwischen den zwei meistverwendeten Elektromotorbauformen für Fahrzeuge verglichen werden. Diese wären der konventionelle Induktionsmotor sowie der Radnabenmotor.

4.2.1 Induktionsmotor

Die einfachste Vorstellung einen Verbrennungsmotor durch einen Elektromotor zu ersetzen ist möglicherweise die, an Stelle des Verbrennungsmotors einen Elektromotor zu verbauen und die Standard-Komponenten, wie Getriebe, Antriebswellen, Brems-systeme usw., zu erhalten. Das ursprüngliche Package des Fahrzeuges kann im Wesentlichen übernommen werden. Dadurch ist es



möglich bestehende Fahr- **Abbildung 13: Elektromotor Tesla Roadster** zeuge schnell auf einen Elektroantrieb umzurüsten. Der für den Einsatz im Fahrzeug verwendete Motor würde ungefähr die Maße eines Fußballs erreichen und ca. 15kg – 25kg wiegen (vergl. Abbildung 13).

Schaut man sich in diesem Fall das Beispiel des Tesla Roadsters an, muss man feststellen, dass Elektromotoren ein sehr großes Drehmoment aufbringen können und so das Getriebe schnell an seine Grenzen kommt. Im Tesla ist ursprünglich ein Zweiganggetriebe angedacht gewesen und auch verbaut worden. Allerdings bringt der verbaute 252PS Motor ein Drehmoment auf, das zur Folge hat, dass der zweite Gang arretiert werden muss und so aus dem Zweiganggetriebe ein Einganggetriebe wurde. Um die Getriebemechanik zu schonen, wird der Roadster bei 201km/h elektronisch abgeregelt.

Wenn man sich aber einen Mercedes SLR mit 780Nm oder einen Bugatti Veyron mit 1250Nm ansieht ist es möglich ein Getriebe zu entwickeln, um das Drehmoment eines Elektromotors zu übersetzen, das je nach Motor zwischen 250Nm (Tesla Roadster) und 740Nm (Lightning GT) liegt. Mit einem Zweiganggetriebe hätte man eine äußerst gute Beschleunigung, sowie eine ausreichend hohe Endgeschwindigkeit zur Folge. Es ist auch möglich auf das Getriebe zu verzichten, was eine stufenlose Automatik als Resultat hätte.¹⁹

4.2.2 Radnabenmotor

Der Radnabenmotor hat durch seine kompakte und leichte Bauweise den Vorteil, dass er direkt an der Radnabe des Fahrzeuges verbaut werden kann, dadurch entsteht mehr Raum für Lasten, Passagiere und Energiespeicher. Der Radnabenmotor hat einen Durchmesser, der vergleichbar mit dem einer Scheibenbremse ist und ein Gewicht von ungefähr 15kg (vergl. Abbildung 14). Es lassen sich



Abbildung 14: Radnabenmotor

leicht Front- und Heck-, als auch Allradantrieb realisieren. Zudem kann das Drehmoment jedes einzelnen Rades separat geregelt werden, wodurch eine variable Verteilung des Antriebmomentes möglich wird.

¹⁹ Quelle: Internet [7]

Dadurch, dass diese Motoren wenig wiegen, kann man das Problem der ungefederten Masse²⁰ vernachlässigen. Auch ist die Energierückgewinnung, z.B. beim Bremsen, sehr leicht umzusetzen.

Der Radnabenantrieb lässt aufgrund seiner begrenzten Maximaldrehzahl (ca. 1800U/min) eine Endgeschwindigkeit von ca. 210km/h²¹ zu. Eine höhere Geschwindigkeit ist in diesem Fall nur über ein Getriebe zu erreichen, welches in Form eines Planetengetriebes vor dem Radnabenmotor platziert werden müsste. Die Folge wäre eine erhöhte ungefederte Masse, die das sportliche Verhalten des Fahrzeuges negativ beeinflusst.

Für Stadtfahrzeuge und Geländewagen ist der Nabenmotor ohne Getriebe eine gute Alternative.²²

Radnabenmotor von Michelin

Michelin hat jetzt einen Radnabenmotor (vergl. Abbildung 15) entwickelt, der noch ein bisschen weiter geht, als nur für den Vortrieb zu sorgen. Das sogenannte „Active Wheel“ umfasst nicht nur einen 30 kW starken Elektromotor, sondern auch Bremsscheibe, Bremssattel sowie eine aktive elektromechanische Feder-



Dämpfer-Einheit.

Die **Abbildung 15: Radnabenmotor von Michelin**

Dämpfereinheit ermöglicht auf einfache Weise ein variables Anpassen an die Fahrbahnbeschaffenheit und steuert somit aktiv zur Fahrzeugsicherheit bei.

²⁰ Ungefederte Massen, sind Massen, die nicht über ein separates System von Stößen oder Schlägen entkoppelt sind.

Quelle: eigene Erklärung

²¹ Abhängig vom Reifendurchmesser

²² Quelle: Internet [8]

4.3 Energieversorgung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Energie für den Vortrieb eines Fahrzeuges zur Verfügung zu stellen. Der klassische Verbrennungsmotor wandelt die in einer fluiden Form gespeicherte Energie, meist Benzin- oder Dieseldieselkraftstoff, durch Verbrennung in Wärmeenergie um. Die Wärmeenergie wird über einen Kurbelhub in eine mechanische Form umgewandelt. Die mechanische Energie wird genutzt, um über ein Getriebe das Fahrzeug voranzutreiben.

Treibt der Verbrennungsmotor einen Generator an, wird elektrische Energie gewonnen, die einen Elektromotor speisen könnte. Auf diese Art ist es möglich, ein Elektrofahrzeug über einen fluiden Energiespeicher anzutreiben. Der Vorteil des Fluides liegt in seiner sehr hohen Energiedichte.

4.3.1 Energiespeicher

Bei dem Thema Energiespeicher ist es wichtig eine Vergleichbarkeit zwischen fluiden Energiespeicher und Akkumulator herzustellen. Hierzu wird die Energiedichte miteinander verglichen.

Als Energiedichte wird die Verteilung von Energie E auf eine bestimmte Größe X bezeichnet. Die Energiedichte wird wie folgt dargestellt.

$$\omega = \frac{dE}{dX}$$

[Joule/m³] für Energie pro Raumvolumen

oder

[Joule/kg] für Energie pro Masse eines Stoffes

In der folgenden Tabelle werden einige, für den Fahrzeugbau bedeutenden, Energiedichten aufgeführt.²³

Stoff / System	Energiedichte in MJ/kg
Li-Ionen Akku	0,36
Li-Polymer-Akku	0,54
Wasserstoff (ohne Tank)	119,9
Dieselmkraftstoff	39,6-43,2
Benzin	43

1 J = 1 Ws; 1 MJ = 0,2778 kWh; 1 kWh = 3,6 MJ

4.3.1.1 Fluide Energiespeicher

Die Tabelle verdeutlicht die wesentlich höhere Energiedichte fluider Energieträger. Vor allem Wasserstoff hebt sich mit einer Energiedichte, die knapp 120MJ/kg beträgt, von den übrigen Systemen ab. Dem ersten Eindruck nach ist Wasserstoff ein ideal geeignetes System um Fahrzeuge anzutreiben. Außerdem entstehen bei der Verbrennung von Wasserstoff keine umweltschädlichen Emissionen. Da bei der Herstellung von Wasserstoff ungefähr das Sechsfache der später nutzbaren Energie aufgewendet werden muss, ist Wasserstoff auf den zweiten Blick wirtschaftlich ungeeignet.

Benzin- und Dieselmkraftstoffe weisen ebenfalls eine hohe Energiedichte auf, da es sich aber um fossile Brennstoffe handelt sind sie nur begrenzt verfügbar. Während des Verbrennungsvorganges verursachen die Motoren schädliche Emissionen, die das Weltklima stark beeinflussen.

²³ Quelle: Internet [9]

4.3.1.2 Lithium- Ionen Akkumulator

Der Lithium- Ionen Akkumulator (kurz: Li- Ionen Akku) ist ein Wiederaufladbarer Energiespeicher, bestehend auf der Basis von Lithium und einem flüssigen Elektrolyt²⁴. Er erzeugt die elektrische Energie durch die Verschiebung von Li- Ionen. Das Material der negativen Elektrode (Anode) eines Li- Ionen Akkus besteht aus Graphit, die positive Elektrode (Kathode) enthält meist Lithium Metalloxide in Schichtstruktur.

Beim Laden des Akkus wandern die Lithium- Ionen durch den Elektrolyten in das Metalloxid, was einen Potentialunterschied von Ladungen an den Polen zur Folge hat. Der Ladungsträger ist bestrebt diesen Unterschied auszugleichen. Über den äußeren Stromkreis, außerhalb des Akkus, können jetzt Elektronen fließen, um ein Ladungsgleichgewicht herzustellen.

Der Elektrolyt ist meistens eine Mischung aus wasserfreien, aprotischen²⁵ Lösungsmitteln.

Der Li- Ionen Akku zeichnet sich durch eine hohe Energiedichte aus, ist thermisch stabil und liefert über den gesamten Entladezeitraum eine konstante Spannung. Diese Art Akku kennt keinen Memory- Effekt und hat nur eine geringe Selbstentladung. Der Wirkungsgrad, das Verhältnis von Lademenge zu Entlademenge, liegt bei ca. 96%, was vor allem am niedrigen Innenwiderstand aufgrund der hohen Ionenbeweglichkeit liegt. Mit sinkender Temperatur nimmt der Wirkungsgrad jedoch stark ab.²⁶

²⁴ Ein Elektrolyt ist ein Stoff, der beim Anlegen einer Spannung unter dem Einfluss des dabei entstehenden elektrischen Feldes elektrischen Strom leitet, wobei seine elektrische Leitfähigkeit und der Ladungstransport durch die gerichtete Bewegung von Ionen bewirkt werden.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrolyt> Abruf: Februar 2009

²⁵ frei von Protonen

Quelle: Duden, http://www.duden.de/definition/aprotisch_stern_ ; Abruf: Januar 2009

²⁶ Quelle: Internet [10]

4.3.1.3 Lithium- Polymer Akkumulator

Eine Weiterentwicklung des Lithium- Ionen Akkumulators ist der Lithium- Polymer²⁷ Akkumulator. Er ist ebenfalls ein wiederaufladbarer Energiespeicher. Bei dem Li- Polymer- Akku besteht eine Elektrode aus Li- Metalloxid, die andere Elektrode aus Graphit. Im Gegensatz zum Li- Ionen Akku wird kein flüssiger Elektrolyt verwendet, sondern eine feste Folie auf Polymerbasis. Die Komponenten des Akkus – Anode, Kathode, Elektrolyt – lassen sich mit einer Dicke von weniger als 100 µm herstellen und unterliegen deshalb keiner Bauformbeschränkung.

Li- Polymer- Akkus mit festen Elektrolytfolien erreichen ihre optimale Leitfähigkeit erst ab einer Betriebstemperatur von > 60°C, weshalb in modernen Li- Polymer- Akkus meist ein gelartiges Elektrolyt zum Einsatz kommt. Dadurch wird bereits bei einer Temperatur von 20°C, also Raumtemperatur, die volle Leistungsfähigkeit entfaltet.²⁸

²⁷ Ein Polymer ist eine chemische Verbindung, die aus Ketten- oder verzweigten Molekülen besteht, die aus gleichen oder gleichartigen Einheiten bestehen. Das Adjektiv polymer bedeutet entsprechend aus vielen gleichen Teilen aufgebaut.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Polymer>; Abruf: Februar 2009

²⁸ Quelle: Internet [11]

4.3.1.4 Lithium– Titanat-Akkumulator

Der Lithium- Titanat- Akku ist ebenfalls eine Weiterentwicklung des Lithium- Ionen- Akkus, wobei die Graphitanode durch eine nanostrukturierte Lithium- Titanat- Anode ersetzt wurde.

Altair Nanotechnologies ist der Entwickler, der den Akku unter dem Markennamen „nanoSafe Batterie“ an Originalhersteller liefert.

Laut Altair Nanotechnologies ist der Akku in einem Temperaturbereich von -35°C bis 75°C einzusetzen und soll mindestens 12 Jahre nutzbar sein.

Das Besondere an diesem Akkumulator ist die Haltbarkeit. Nach 15000 Ladezyklen sollen noch 85% der Anfangskapazität erreichbar sein. Außerdem halte er Temperaturen bis 250°C stand und könne bei -30°C auf 90% seiner Kapazität aufgeladen werden.

Vor allem die sehr geringen Ladezeiten machen diesen Akku für den Einsatz im Automobil attraktiv, denn in einer Minute soll, laut Hersteller, der Akku 80% seiner Kapazität erlangen und dabei immer noch einen Wirkungsgrad von 90% erzielen. Er kommt in den Elektrofahrzeugen Lightning GT und Phoenix Motorcar zum Einsatz.²⁹

²⁹ Quelle: Internet [12]

5 Konzept

Die Variante des RB07 besteht aus einem sehr sportlichen Targa (im folgenden RT09 genannt), der über einen elektrischen Antrieb verfügt. Es ist eine Endgeschwindigkeit von über 250km/h angedacht. Das Exterieur soll aus Leichtbaugründen kohlefaserlaminieren werden.

Nach durchgeführter Benchmarkanalyse wurden Vorgaben für das Fahrzeug erstellt und in einem Lastenheft zusammengetragen. Das Lastenheft beinhaltet alle fahrzeugspezifischen Merkmale, die im zukünftigen Fahrzeug umgesetzt werden sollen.

Fahrzeugeigenschaften

- offener Karosserieaufbau → Targa
- Zweisitzer, mit der Anordnung nebeneinander
- elektrische Heckmotor Konstruktion

Zulassung

- EG und US-Zulassung

Karosserie

- Außenhaut aus CFK
- zwei Türen, ausgelegt als Flügeltüren

Antrieb/Fahrwerk

- 2 Elektromotoren
- Heckantrieb
- 2-Gang-Getriebe
- Servolenkung
- Anti-Blockier-System und Anti-Schlupf-Regelung
- Scheibenbremse an allen vier Rädern

5.1 Motor und Energiespeicher

Der RT09 wird auf einen Elektroantrieb mittels zweier Induktionsmotoren ausgelegt. Ein Motor soll ca. 250PS leisten, wobei eine Gesamtleistung von 500PS mit 500Nm Drehmoment entsteht. Die Motoren geben ihre Kraft über ein Zweiganggetriebe, welches eine sehr gute Beschleunigung im ersten Gang, sowie eine hohe Endgeschwindigkeit ermöglichen soll, an die antreibenden Räder ab. Der Sprint von 0 auf 100km/h soll in ca. 4 Sekunden vollbracht werden. Die Geschwindigkeit wird bei 250km/h abgeregelt.

Grund der Entscheidung für den Induktionsmotor und gegen den Radnabenmotor ist die Drehzahlbegrenzung von Nabenmotoren, die bei einer Felgenreöße von 18“ eine Höchstgeschwindigkeit von ca. 210km/h zulässt, was für einen Sportwagen dieses Formates nicht ausreichend ist. Auch der Einsatz von Planetengetrieben, die vor dem Nabenmotor verbaut sind, ist für dieses Konzept nicht tragbar, da die ungefederte Masse zu hoch wäre, was ein relativ unsportliches Verhalten des Fahrzeuges zur Folge hätte.

Die Kraft wird konventionell über Antriebswellen an die Räder geleitet. Gebremst wird über Bremsscheiben, wobei während des Bremsens die Motoren wie Generatoren arbeiten und den Energiespeicher laden. Als Energiespeicher soll der, in Kapitel 4.3.1.4 beschriebene Lithium- Titanat- Akku zum Einsatz kommen. Aufgrund der Herstellerinformationen der NanoSafe-Akkus kann von einer Reichweite von ca. 400km pro Ladung ausgegangen werden, wobei der Ladevorgang nach 10 Minuten

beendet ist. Die sehr kurzen Ladezeiten und die Haltbarkeit sind die ausschlaggebenden Faktoren.

Eine Energieversorgung durch liquide Energieträger wird nicht angestrebt, da der RT09 Abgas- und weitgehend Geräuschfrei fahren soll. Ein liquider Energiespeicher müsste durch einen Verbrennungsmotor in elektrische Energie umgewandelt werden und würde durch die Verbrennung Schadstoffe, ausgenommen Wasserstoff, an die Umwelt abgeben. Vor allem in Ballungszentren und Städten ist eine Abgasfreie Fortbewegung erwünscht. Außerdem entsteht durch die Verwendung eines zusätzlichen Verbrennungsmotors ein höheres Gesamtgewicht, welches das Fahrzeug ineffizienter und unsportlicher macht.

5.2 Entscheidung für Hinterradantrieb

Da es sich bei dem RT09 um einen Sportwagen handelt, wurden zuerst die drei möglichen Varianten Frontantrieb, Heckantrieb und Allradantrieb verglichen.

Der Frontantrieb ist die sicherste alternative, da Fahrzeuge mit entsprechendem Antriebskonzept bei Kurvenfahrt zum Untersteuern neigen und somit leichter zu kontrollieren sind. Der Nachteil eines frontgetriebenen Fahrzeugs liegt aber in der geringen Traktion bei der Beschleunigung, da die Vorderachse entlastet wird und die Räder zum Durchdrehen neigen.

Bei heckbetriebenen Fahrzeugen verhält es sich annähernd entgegengesetzt zum Frontantrieb. Bei Kurvenfahrt neigen Fahrzeuge mit Heckantrieb zum Übersteuern, was bei ungeübten Fahrern und sportlicher Fahrweise schnell zum Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug führen kann. Der Vorteil liegt eindeutig im Traktionsvorteil beim beschleunigen, da sich das Gewicht auf die Hinterachse verlagert und somit größere Kräfte übertragen werden können.

Der Allradantrieb ist die beste Version, da er bei Kurvenfahrt oder bei Beschleunigung die beste Traktion und somit ein ausgewogenes Fahrverhalten bietet, insbesondere bei rutschigen Fahrbahnverhältnissen. Nachteil ist das höhere Gewicht.

Die Entscheidung fällt auf den Hinterradantrieb, da er aus Sportwagensicht die beste Alternative bietet. Die Entscheidung fiel gegen den Frontantrieb, da er nicht die gewünschten Eigenschaften eines Sportwagens bietet. Ebenfalls ausgeschlossen wurde der Allradantrieb, da er durch sein hohes Gewicht den Energieverbrauch negativ beeinflussen würde. Um die Sicherheit bei der Heckgetriebenen Version zu gewährleisten wird für das Fahrzeug eine Traktionskontrolle vorgesehen. Ein weiterer Grund für die Entscheidung ist die kurze Verbindung zwischen Akkus und Antriebsmotor, da die Anordnung der Akkus im Bereich des Tunnels und hinter den Insassen vorgesehen ist. Energieverluste können auf diese Weise so klein wie möglich gehalten werden.

5.3 Auswahl der Materialien

Bei der Auswahl der Materialien ist besonders auf deren Qualität und späteren Verwendungszweck zu achten. Durch die hohen Anforderungen die bei einem Sportwagen an das Material gestellt werden, ist ein hoher Qualitätsstandard sehr wichtig der im Betrieb alle technischen Anforderungen erfüllt. Auch im Sinn der Umweltfreundlichkeit sollte darauf geachtet, dass möglichst Materialien verwendet werden, die nach Gebrauch wiederverwertbar sind.

Bei der Wahl der Materialien wird man in dieser Fahrzeugklasse kaum Unterschiede feststellen. Die am häufigsten verwendeten Materialien sind Aluminium, CFK und GFK³⁰.

Nachfolgend wird eine kurze Beschreibung der Vor- und Nachteile der oben genannten Werkstoffe vorgenommen.

³⁰ GFK, ist ein Faser-Kunststoff-Verbund aus einem Kunststoff (z. B. Polyesterharz, Epoxidharz oder Polyamid) und Glasfasern. Er ist der am häufigsten eingesetzte langfaserverstärkte Kunststoff.
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Glasfaserverstärkter_Kunststoff; Abruf: Februar 2009

Aluminium

Aluminium ist ein Material, welches sich durch sein geringes Gewicht hervorragend für den Leichtbau eignet. Es ist gut zu verarbeiten und korrosionsbeständig. Bauteile lassen sich durch Schweißen oder Kleben gut miteinander verbinden. Ein weiterer Vorteil ist die große Auswahl an Strangpressprofilen, die bereits im Fachhandel angeboten werden. Ein Nachteil im Verhältnis zu Stahl ist das geringere Elastizitätsmodul³¹ bei gleichem Querschnitt, welches sich aber durch eine geschickte Konstruktion egalisieren lässt.

Das bevorzugte Einsatzgebiet für Aluminium liegt im Bereich der Karosserie, den Felgen und dem Bau selbsttragender Rahmenkonstruktionen wie bei dem Audi R8.

CFK

Die Vorteile des CFK liegen in der hohen Steifigkeit bei geringem Gewicht. Durch die individuelle Verarbeitung können auch kompliziertere und größere Bauteile hergestellt werden. Das bevorzugte Einsatzgebiet für CFK ist der Bau von Karosserieteilen, sowie von Fahrgastzellen in Form eines Monocoque ähnlich wie in der Formel Eins oder beim Porsche GT. Nachteile sind die Gefahr des Splitters bei einem Unfall, Brennbarkeit und es ist nicht zu recyceln. Ein weiterer Nachteil ist die schlechte Oberflächenqualität und der hohe Materialpreis.

GFK

GFK ist ein im Verhältnis zu CFK günstiger Werkstoff der ähnlich zu verarbeiten ist. Um eine vergleichbare Steifigkeit zu erreichen ist eine höhere Materialstärke nötig, die somit das Gewicht in die Höhe treibt. Das Einsatzgebiet, liegt wie beim CFK im Bereich der Karosserieteile. Die Nachteile von GFK sind identisch denen von CFK, ein weiterer Nachteil ist das höhere Gewicht.

³¹ Der Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt. Der Betrag des Elastizitätsmoduls ist umso größer, je mehr Widerstand ein Material seiner Verformung entgegensetzt.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Elastizitätsmodul>; Abruf: Februar 2009

Leichtbau

Ein wichtiger Punkt eine hohe Energieersparnis zu erreichen, ist das Fahrzeuggewicht möglichst gering zu halten. Aus diesem Grund müssen Materialien verwendet werden, die ein geringes Gewicht und zugleich eine hohe Festigkeit aufweisen. Zu den bevorzugten Materialien im Bereich der Karosserie gehört CFK, welches sich durch seine hohe Stabilität und gleichzeitig geringes Gewicht auszeichnet. Hersteller, die eine selbsttragende Karosserie verwenden und den Anspruch eines sportlichen Fahrzeuges haben kämpfen häufig mit dem hohen Schwerpunkt, weshalb bei den Sportvarianten teilweise ein Glasfaser- oder Kohlefaserdach verbaut wird. BMW verbaut beim M3 CSL ein Kohlefaserdach und mindert das Gewicht gegenüber dem herkömmlichen Stahldach um 6kg.

Um die rotierende Masse der Felgen möglichst klein zu halten ist der Einsatz von Aluminium oder Magnesium sinnvoll.

Sicherheit

Aluminium verformt sich im Fall eines Crashes, was den Vorteil hat, dass keine scharfkantigen Splitter entstehen, die den Insassen zusätzlich gefährden. Im Gegensatz zu den Bauteilen aus Metall haben CFK und GFK den großen Nachteil, dass sie sich nicht deformieren, sondern splintern und so zu schweren Verletzungen bzw. Beschädigungen führen können. Außerdem ist der dabei entstehende Kohlefaserstaub enorm gesundheitsschädlich.

Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Materialien

Da das Fahrzeug für den gesamten Weltmarkt gedacht ist, muss auch für Orte in denen eine hohe Feuchtigkeit herrscht eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit gewährleistet sein.

Aluminium hat eine sich sehr schnell an der Luft bildende dünne Oxidschicht. Diese undurchdringliche Oxidschicht macht reines Aluminium sehr korrosionsbeständig, sie erreicht eine Dicke von ca. 0,05µm. Sie kann durch elektrische Oxidation (Eloxieren) oder auf chemischem Weg verstärkt werden.³²

³² Quelle: Internet [13]

CFK und GFK sind gänzlich korrosionsfrei, weshalb sich diese Werkstoffe sehr gut für Bauteile eignen die einer starken Witterung ausgesetzt sind.

Entsorgung

In der heutigen Zeit ist darauf zu achten, dass Materialien verbaut werden, die sich aus umweltfreundlichen und finanziellen Gründen recyceln lassen und so dem Rohstoffkreislauf wieder zugeführt werden können. Aluminium ist sehr gut zu recyceln, wobei die Reststoffe streng getrennt voneinander erfasst und gereinigt werden müssen. CFK und GFK lassen sich nicht wiederverwenden und müssen als Sondermüll behandelt werden.

5.4 Benchmark Rahmen

Der Rahmenentscheidung ist ein Benchmark vorausgegangen, hier wurden unterschiedliche Rahmenbauweisen begutachtet und bewertet.

5.4.1 Selbsttragende Karosserie

Diese Konstruktionsart der selbsttragenden Karosserie zeichnet sich durch eine billige und leichte Bauweise aus. Wie der Name schon sagt, trägt die Karosserie sich selbst (vergl. Abbildung 16), das bedeutet, es werden keinerlei Untergestelle bzw.

Rahmen benötigt. Die Steifigkeiten werden durch das Zusammenspiel von Blechhaut (Außenhaut) und Blechprofilen mit möglichst hohem Querschnitt erreicht. Daraus folgt ein hohes Flächenträgheitsmoment³³.

Sicken erhöhen diese Steifigkeiten und sorgen



Abbildung 16: Selbsttragende Karosserie

somit für eine höhere Eigenfrequenz des Fahrzeuges, um eine eventuelle Anregung

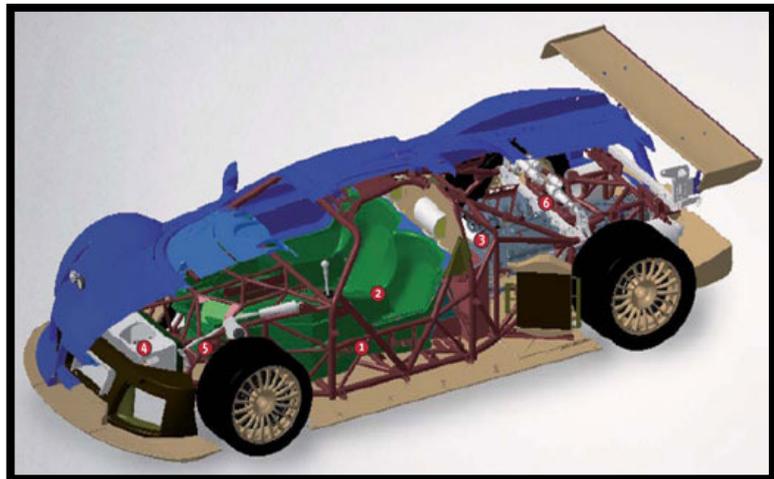
³³ Vergl. Anhang A

in Eigenfrequenz durch den Motor zu vermeiden. Zur Befestigung von Türen und Klappen, sowie weiterer Anbauteile sind Befestigungselemente und Knotenpunkte in die selbsttragende Karosserie integriert. Diese Bauform wird vor allem in der Großserienproduktion angewandt, da ein enormer Entwicklungsaufwand notwendig ist.³⁴

5.4.2 Gitterrohrrahmen

Der in Abbildung 17 aufgeführte Gitterrohrrahmen wird aus Aluminium- oder Stahlrohren, die zu einem räumlichen Fachwerk zusammengeführt werden, gefertigt.

Die einzelnen Stäbe werden idealerweise nur auf Zug und Druck belastet. Die Krafteinleitung sollte deshalb nach Möglichkeit in die Knotenpunkte der Struktur geschehen. Dadurch dass der Gitterrohrrahmen einfach und



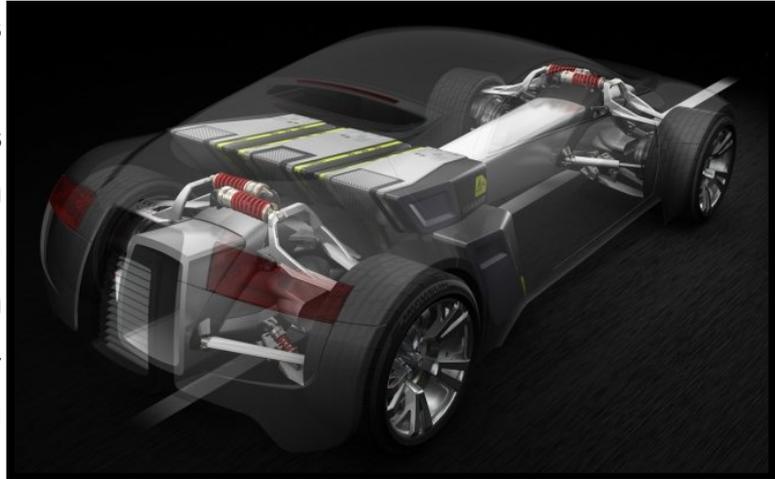
kostengünstig zu fertigen ist, wird dieser Rahmen vor allem für Einzelfertigung und Kleinserienfertigung sowie für den Motorsport verwendet.

Abbildung 17: Gitterrohrrahmen

³⁴ Quelle: Internet [14]

5.4.3 Zentraltunnelrahmen

Der Zentraltunnelrahmen basiert auf einer Audi Studie, die den Namen Zero trägt. Der Rahmen besteht aus einem rechteckigen Aluminiumprofil, das entlang der Längsachse des Fahrzeuges einen Tunnel bildet (vergl. Abbildung 18). Dadurch, dass dieses Profil einen hohen Querschnitt aufweist, ist von einem ebenfalls hohen Flächenträgheitsmoment auszugehen, welches vor allem



bei Torsionsmomenteinleitung eine hohe Steifigkeit aufweist. **Abbildung 18: Audi Zero Rahmen**

An diesen Tunnel werden die Anbauteile direkt angebracht, wie z.B. die Fahrwerkskomponenten. Dieses Konzept hat eine sehr einfache Fertigung zur Folge und wäre dadurch überaus kostengünstig. Platz für Insassen bietet der Rahmen auch, hierzu würden Sitze am Tunnel befestigt werden. Um die Sicherheit der Insassen zu gewährleisten ist es notwendig, ein Monocoque von unten an den Tunnel zu führen, oder zwei einzelne von den Seiten.

5.4.4 Wiesmann Rahmen

Der Rahmen des Wiesmann MF 4 GT besteht aus Aluminiumprofilen, die in Längs- und Querrichtung verbaut werden (vergl. Abbildung 19). Durch diese Profile mit großen Querschnitten entsteht eine Struktur, die gegen jede Belastung eine gute Steifigkeit aufbringt. Diese Bauform ist einfach und kostengünstig herzustellen



und bietet hohe Steifigkeit gegen Biegung und Torsion. Vor allem der übergroße Tunnel in der Mitte des **Abbildung 19: Wiesmann GT Rahmen**

Fahrzeuges bringt eine große Torsionssteifigkeit mit sich. An dieses Aluminiummonocoque werden im Frontbereich zwei Aluminiumfrästeile angebracht, welche Fahrwerkskomponenten, sowie andere Anbauteile aufnehmen. Im Falle einer Beschädigung sind diese Teile schnell und kostengünstig zu ersetzen.

5.4.5 Lotus Elise Rahmen

Der im Lotus Elise verbaute Rahmen (vergl. Abbildung 20) besteht aus einem wannenförmigen Aluminiummonocoque und wird ebenfalls im Tesla Roadster

verbaut. Dieser Rahmen weist hohe Längsträgerprofile auf, was auf eine hohe Steifigkeit gegen Biegung schließen lässt. Die Längsträger sind über Querträger, sowie einem Boden aus einer Aluminiumplatte miteinander verbunden. Diese Bauart zeichnet sich vor allem



Abbildung 20: Lotus Elise Rahmen

durch sein sehr geringes Gewicht, sowie den niedrigen Produktionskosten aus.

In seiner Form ähnelt der Koenigsegg CCX Rahmen dem des Lotus Elise. Allerdings setzt Koenigsegg auf ein einteiliges



Abbildung 21: Koenigsegg CCX Rahmen

Monocoque aus Kohlefasermaterial (vergl. Abbildung 21), das den Fertigungspreis exponentiell, gegenüber dem Aluminiumrahmen des Lotus, steigen lässt. Dieses Monocoque bietet dem Insassen jedoch ein höchstes Maß an Sicherheit.

6 Konstruktion des gewählten Rahmenkonzeptes

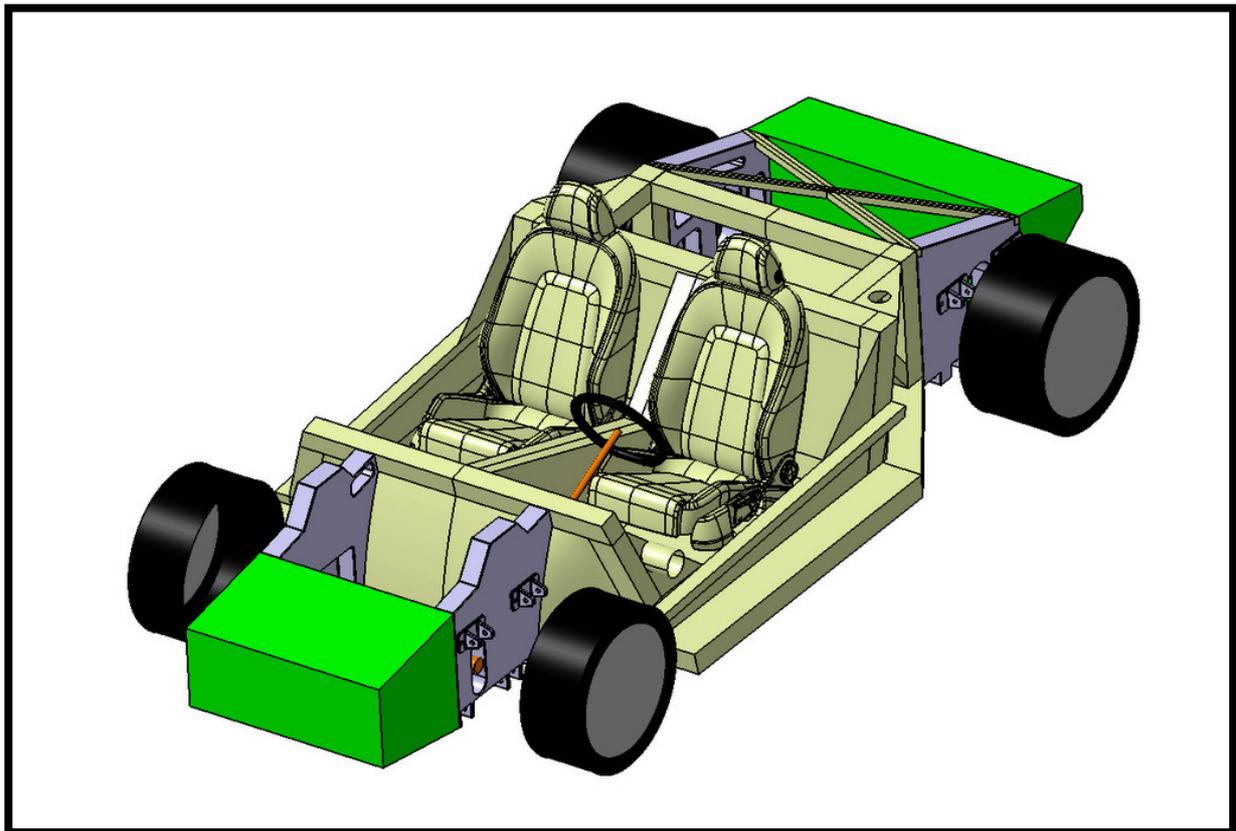


Abbildung 22: Catiarahmen

Der hier erstellte Rahmen (vergl. Abbildung 22) dient als Grundlage für die Packageuntersuchungen, Ergonomieuntersuchung, sowie der Radeindrehuntersuchung. Dieser Rahmen ist auf Kenntnissen der Strukturkonstruktion entstanden, soll aber keinesfalls eine serienreife Lösung darstellen. Dieses würde den Rahmen der Diplomarbeit überschreiten, ist aber ein geeigneter Ansatz um mögliche Folgediplomarbeiten zu realisieren.

Der Rahmen ist so ausgelegt, dass durch Verwendung von Aluminiumteilen das Gewicht gering gehalten wird, um ein angestrebtes Maximalgewicht des Fahrzeuges von 1400 kg nicht zu überschreiten.

Für den Rahmen wurde eine ähnliche Bauweise wie die des Lotus Elise gewählt. Der Grund für diese Entscheidung ist die Möglichkeit diesen Rahmen kostengünstig herzustellen. Weil es sich bei den benötigten Aluminiumprofilen um Standardelemente handelt, sind diese leicht über den Fachhandel zu beziehen. Fügearten wie Schweißen, Kleben und Nieten sind auf einfache Weise durchzuführen.

Im Rahmenkonzept des RT09 wird eine Monocoque Bauweise vorgenommen. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass ein besonders steifer Überlebensraum geschaffen wird, an dem energieabsorbierende Crashelemente (in Abbildung 22 grün dargestellt) angebracht sind. Im Motorsport ist diese Bauweise vor allem durch die Formel 1 bekannt und hat dort schon vielen Fahrern das Überleben gesichert.

Um die Dimensionierung des Rahmens zu erleichtern, wurde der im nächsten Kapitel vorgestellte Scan des RB07 mit ICEM Surf in ein Rohdatengitter umgewandelt und in CATIA V5 eingefügt. Das Gitter ist in Abbildung 23 hellblau dargestellt.

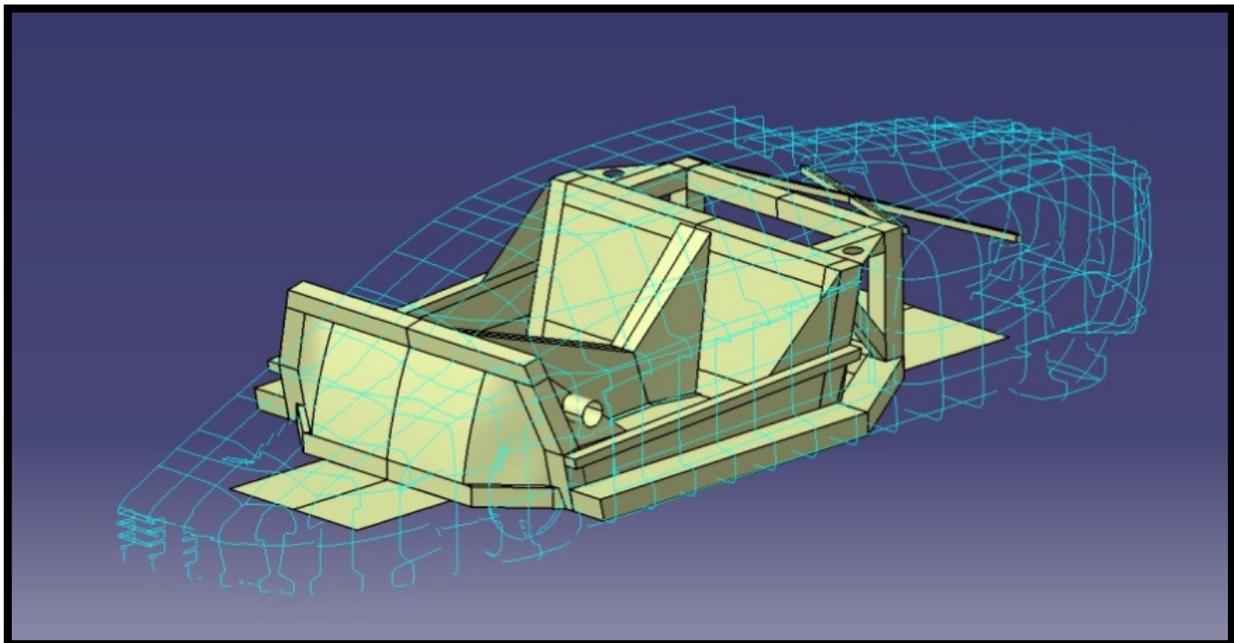
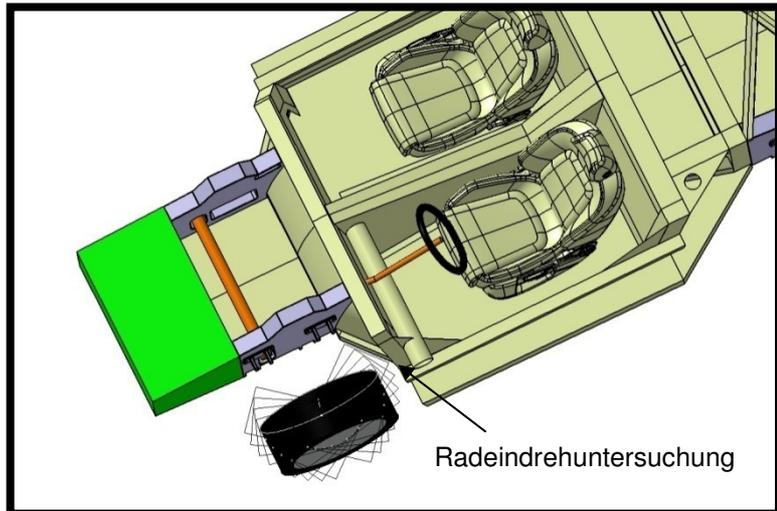


Abbildung 23: Catiarahmen mit Rohdatengitter

Durch dieses Gitter ist eine einfache und schnelle Begrenzung des verfügbaren Bauraums möglich. In diesen Bauraum wurden die ersten Rahmenelemente mit CATIA V5 konstruiert, um eine Basis für die folgenden Untersuchungen zu schaffen.

Im nächsten Schritt sind die Reifen in ihren ungefähren Abmessungen dem Rahmen zugefügt worden, um abschätzen zu können, wo die Querlenkeraufhängepunkte positioniert werden müssen.

Desweiteren ist durch die Räder eine einfache und schnelle Radeindrehuntersuchung durchführbar (vergl. Abbildung 24), um den Bauraum weiter zu definieren. Die Radeindrehuntersuchung ist vor



allem für den Fußraum der Insassen von Bedeutung, da

dieser durch das eingedrehte Rad begrenzt wird. Die hier abgebildete (Abbildung 24), sehr einfach durchgeführte, Radeindrehung veranschaulicht, dass keine Kollisionen mit den Rahmenelementen stattfinden.

Abbildung 24: Catiarahmen einfache Radeindrehung

Durch Ausmessen eines Audi R8, der als Referenzfahrzeug sehr geeignet ist, da er ähnliche Abmessungen wie der RB07 besitzt, wurde der H- Punkt³⁵ ermittelt. Auf diesem Punkt basiert die Sitzposition des Insassen.

³⁵ Der H-Punkt ist der Drehpunkt von Rumpf und Bein der zweidimensionalen Zeichenschablone bzw. der dreidimensionalen Maschine, mit dessen Hilfe Sitzpositionen im Fahrzeug festgelegt und vermessen werden
Quelle: eigene Erklärung

Durch die Sitzposition des Insassen ist es möglich mit dem CATIA Tool RAMSIS³⁶ ein virtuelles Perzentil zu positionieren, um die Bewegungsfreiheiten zu überprüfen und den Bauraum weiter zu definieren. Vor allem der Fußraum des Insassen bedarf einer genauen Untersuchung, da an dieser Stelle durch die eindrehenden Vorderräder der Platz besonders begrenzt ist. Wie im Bild zu erkennen ist findet keine Einschränkung des Insassen durch das eindrehende Vorderrad statt.

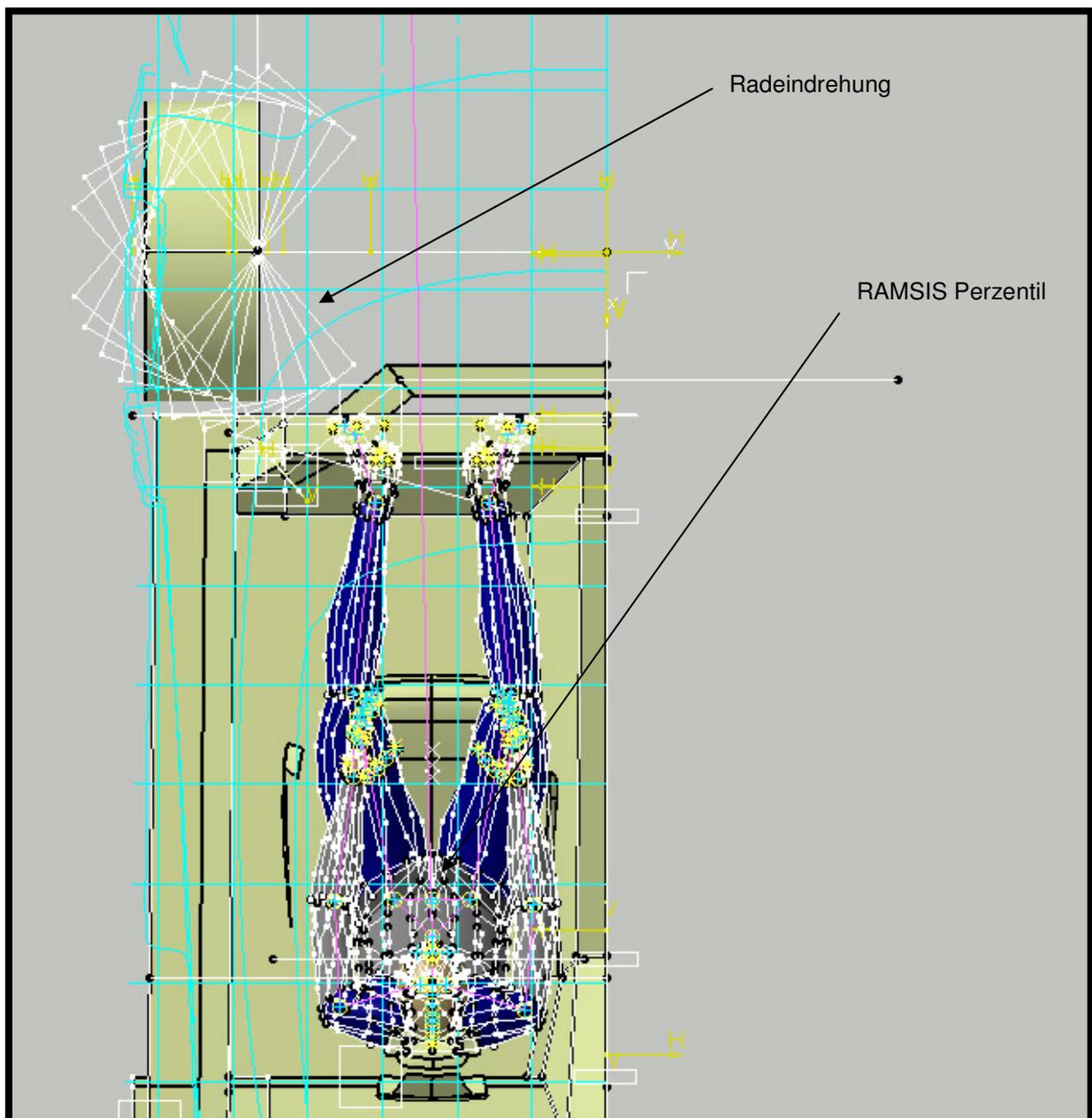
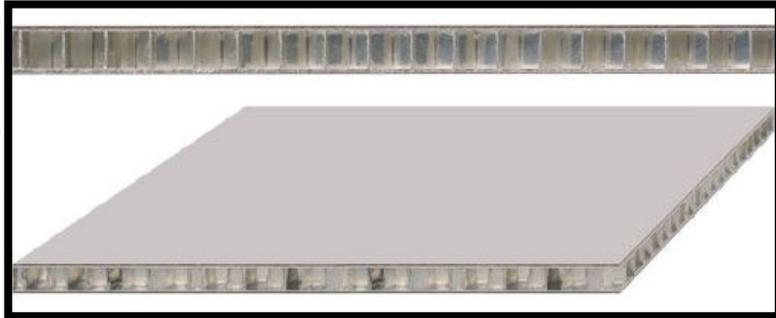


Abbildung 25: Catiarahmen Radeindrehung

³⁶ Abk. **R**echnergestütztes **A**nthropologisches **M**athematisches **S**ystem zur **I**nsassen**S**imulation

6.1 Boden

Der Boden des Monocoques bildet die Basis des Rahmens und besteht aus einer Aluminiumplatte, die mit sämtlichen Längs- und Querprofilen verschweißt ist. Sie wirkt als Schubfeldträger und bringt hohe Steifigkeit in die Struktur. Anfangs war für den Boden eine Sandwichstruktur angedacht, die aus



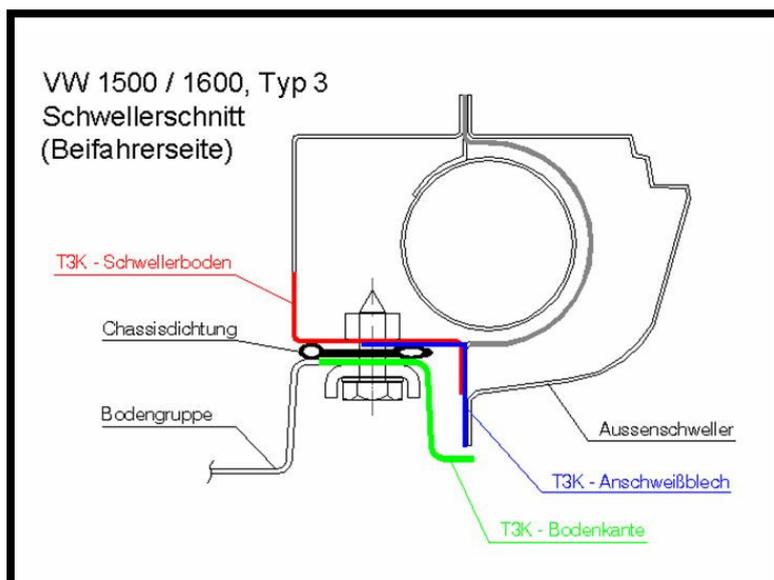
zwei Aluminiumplatten besteht zwischen denen sich

Abbildung 26: Aluminiumsandwich

eine Wabenstruktur, ebenfalls aus Aluminium, befindet (vergl. Abbildung 26). Diese Idee wurde jedoch verworfen, da eine Sandwichstruktur in der Herstellung aufwendig ist und so die Kosten steigern würde. Im Fall eines Austausches bei Beschädigung des Bodens ist die einfache Aluminiumplatte der Sandwichstruktur weit überlegen.

6.2 Schweller und Querträger

Bei einer selbsttragenden Karosserie besteht der Schweller meist aus dem Außenblech und einem von innen angebrachten Profil. Er befindet sich unterhalb des Türeinstieges, in Längs-richtung des Fahrzeuges. Der Schweller soll beim Frontcrash möglichst steif sein und sich wenig verformen, um den Überlebensraum zu sichern. Die Energieabsorption findet im wesentlichen durch Verformung der Längs-träger statt. Für den Fall eines Seitenaufpralls ist die Steifigkeit so auszulegen, dass ausreichend Energie



absorbiert werden kann, **Abbildung 27: Schwellerschnitt**

ohne durch zu starke Verformung den Überlebensraum der Insassen durch eindringende Struktur zu verletzen.

Der Schweller des RT09 besteht aus einem U-förmigen Aluminiumprofil, das durch verschweißen mit dem Bodenblech zu einem geschlossenen, in Längsrichtung verlaufenden, Rechteckprofil wird.

Die verbauten Querträger (vergl. Abbildung 28) sind ein wichtiger Strukturteil für den Seitencrash und bestehen ebenfalls aus U-förmigen Profilen, die durch das Verschweißen mit der Bodenplatte zu einem geschlossenen Träger werden.

Die hinter den Sitzen befindliche Trennwand ist in Verbindung mit den vertikalen Aluminiumträgern und den Querträgern eine äußerst effektive Versteifung, denn sie wirkt wie ein Schubfeld. Diese Konstruktion erhöht ähnlich wie der Tunnel die Torsionssteifigkeit. Außerdem wird die Fahrgastzelle durch die Trennwand von den dahinterliegenden Teilen, wie Motoren, Getriebe und Akkus abgegrenzt.

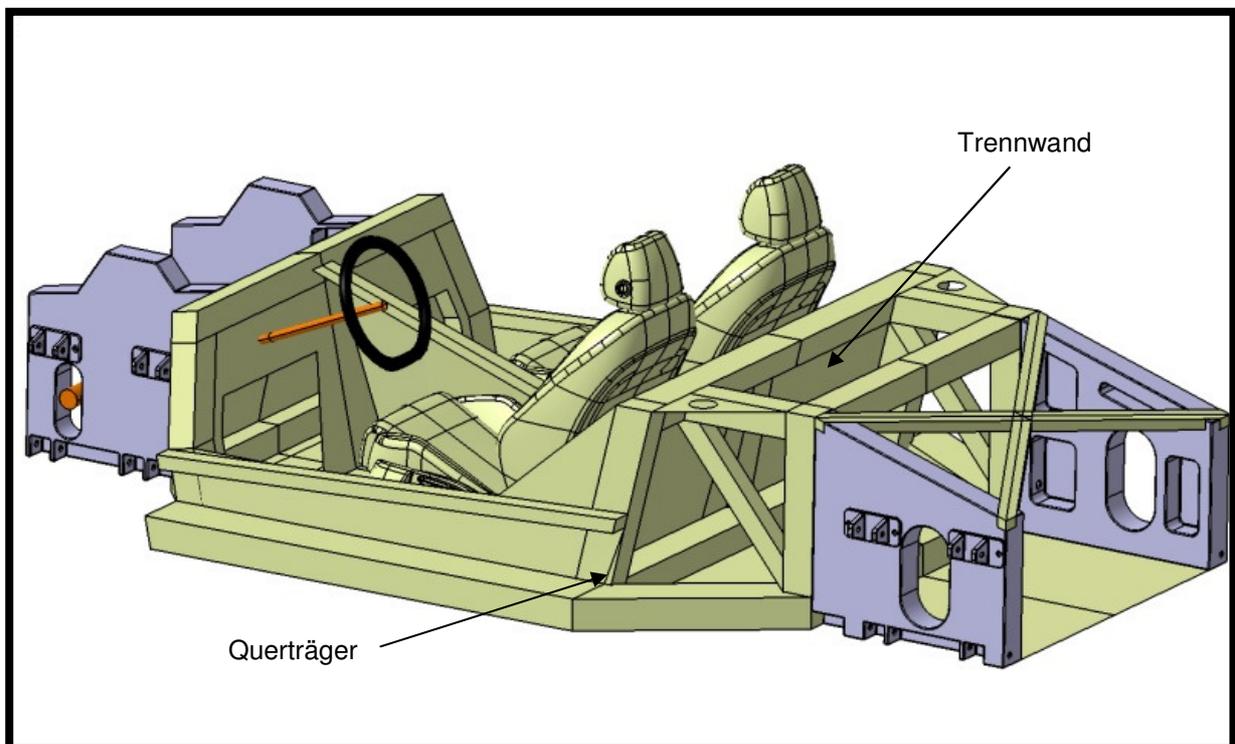
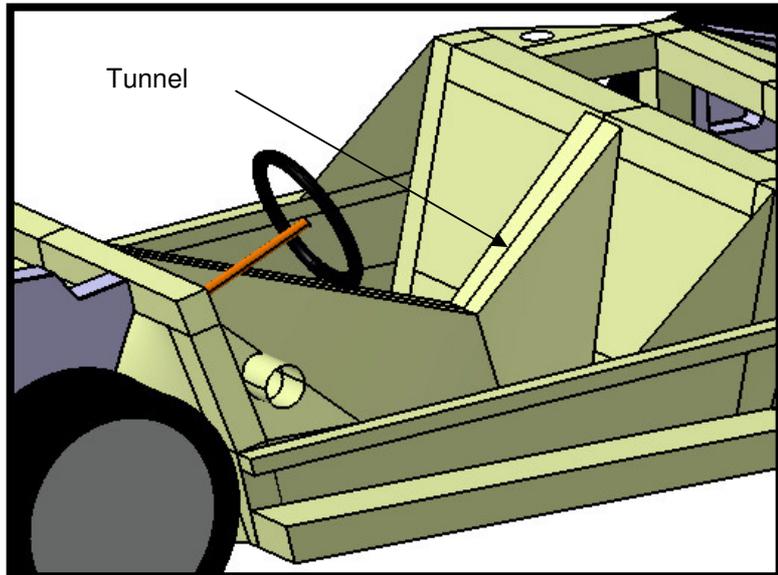


Abbildung 28: Catiarahmen Querträger

6.3 Tunnel

Der Tunnel in X-Achsen- Richtung eines Fahrzeuges dient im ursprünglichen Sinn zum führen und aufnehmen von Kardanwellen, Seilzügen, Abgasanlagen und Elektroleitungen. Da der RT09 als Elektrofahrzeug ausgelegt wird und über zwei hintenliegende, die Hinterräder antreibenden, Elektromotoren verfügt, ist eine Kardanwelle nicht notwendig, genauso wenig wie Seilzüge und Abgasanlagen. Aus diesem



Grund besteht die [Abbildung 29: Catiarahmen Tunnel](#)

Möglichkeit den Tunnel als

Bauraum für den Energiespeicher zu nutzen, was vor allem der Schwerpunktlage zu Gute kommt. Die Lage des Schwerpunktes wird aufgrund des hohen Energiespeichergewichtes weit nach unten verlagert, was positiv auf das Fahrverhalten wirkt.

Aus Strukturkonstruktiver Sicht ist der Tunnel ein sehr geeignetes Element für die Aufnahme von Torsionskräften. Dies ist der Grund für die überdimensionale Ausführung des Tunnels (vergl. Abbildung 29). Er soll die Sportlichkeit des Fahrzeuges durch Torsionssteifigkeit steigern, sowie dem Insassen ein geborgenes, umhüllendes Gefühl, welches bei Sportwagen erwünscht ist, vermitteln.

6.4 Crashelemente

Die im Front und Heckbereich verbauten Crashelemente sollen im Fall eines Front- oder Heckaufpralls möglichst die komplette Energie durch Verformung aufnehmen. Bei leichten bis mittleren Aufprällen sind die Crashelemente zu konstruieren, dass die restliche Struktur, vor allem die Monocoquestruktur, nicht beschädigt wird und keines

Austausches bedarf. Die Elemente werden in dieser Arbeit nur angedeutet und nicht aus konstruktiver Sicht behandelt.

6.5 Frästeile

Die an den Monocoquerahmen verschraubten Aluminiumfrästeile (vergl. Abbildung 30) sind für die Anbringung der Anbauteile, wie die Fahrwerkskinematik mit ihren Doppelquerlenkern, gedacht. Sie sind im Fall eines Schadens komplett, leicht und schnell austauschbar.

Die anschraubbaren Laschen sind die obere Befestigung der Doppelquerlenker. Der untere Anlenkpunkt ist in das Frästeil eingearbeitet.

Die vorderen Frästeile weisen Langlöcher auf, die für das Lenkgestänge notwendig sind. Die Höcker auf der oberen Seite sollen die Kräfte von der A-Säule über einen Querträger in die Frästeilstruktur einleiten. Durch Aussparungen, die im Bild angedeutet sind ist es möglich, die sehr massiven Teile in ihrer Masse zu reduzieren. Um diese Aussparungen zu positionieren wären aufwendige Berechnungen nötig, die in dieser Arbeit keinen Einsatz finden.

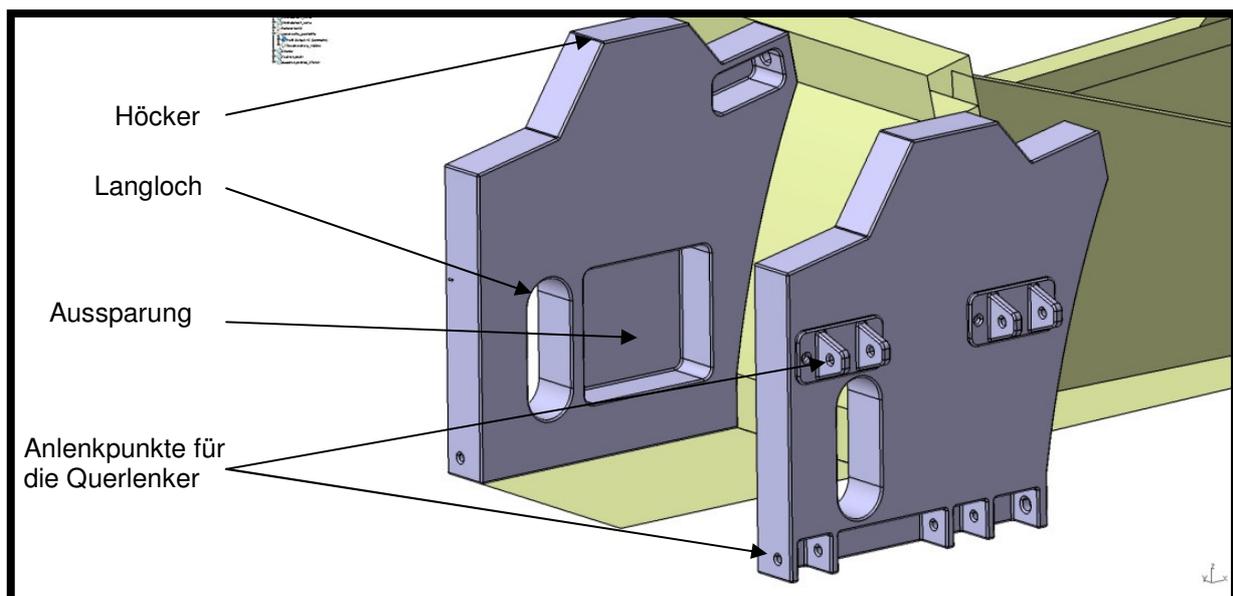


Abbildung 30: Catiarahmen Frästeil vorn

Die Langlöcher im hinteren Frästeil sind für die Antriebswellen gedacht. Über gekreuzte Streben sind die beiden Frästeile miteinander verbunden und versteifen die Struktur zusätzlich. Zwischen den Frästeilen ist ausreichend Platz für die Elektromotoren, sowie das Getriebe vorhanden. Eine genauere Positionierung dieser Teile ist dem Kapitel Package zu entnehmen. Auch hier werden mögliche Aussparungen zur Gewichtsreduzierung angedeutet.

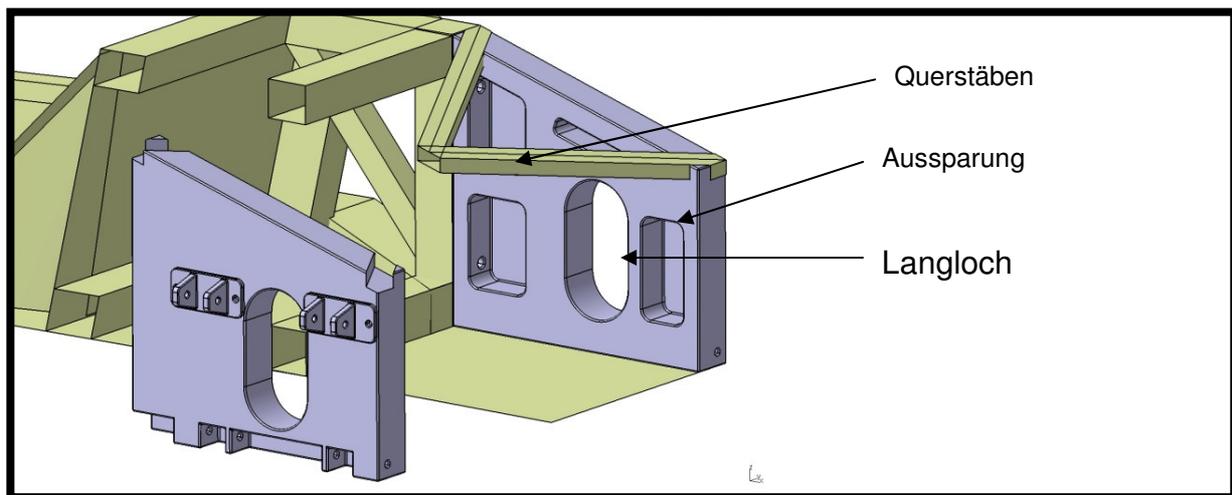


Abbildung 31: Catiarahmen Frästeil hinten

Frästeile, Elektromotor und Getriebe bilden zusammen die Antriebseinheit, die bei Wartungsarbeiten oder einem Austauschen der Akkumulatoren komplett entfernt werden kann. Dadurch erreicht man sehr gute Platzverhältnisse um diese Arbeiten durchzuführen.

7 Package

In diesem Kapitel werden die Positionierung der Bauteile und besondere Abmessungen im Packageplan beschrieben. Der Packageplan ist als Anlage C der Diplomarbeit beigelegt.

7.1 Antriebskonzept

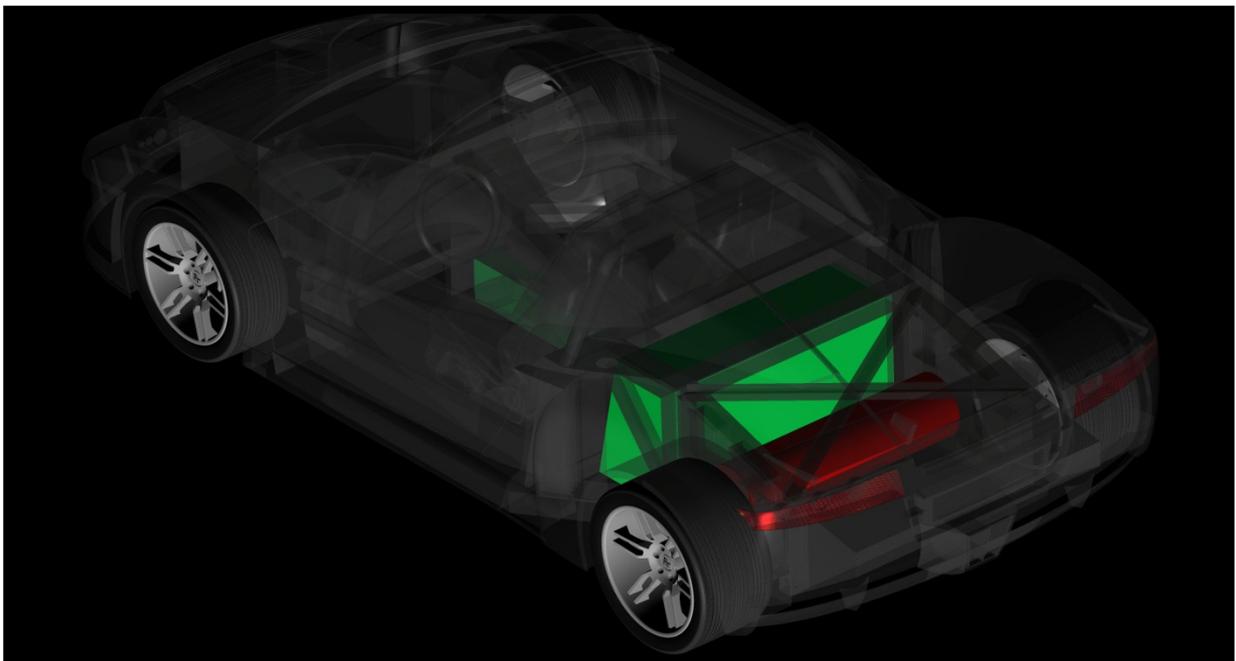


Abbildung 32: Catiarahmen Package

Die beiden Elektromotoren befinden sich direkt vor der Hinterachse bei 2475X. Sie sind in der Abbildung 32 rot dargestellt. Die Energiespeicher werden im Fahrzeugtunnel, sowie hinter der Trennwand zur Fahrgastzelle untergebracht (grün dargestellt).

7.2 Sitzposition

Mit der Sitzposition ist der H-Punkt gemeint. Dieser beschreibt die Lage des Insassen im Fahrzeug. Beim RT09 befindet sich der H-Punkt bei 1248X, -350Y und 49Z. Auf ihm basieren unter anderem die Lage des Sitzes, der Pedalerie, des Lenkrades, der Bedienteile und die Sichtbereiche des Insassen.

7.2.1 Beinfreiheit

Die Untersuchung der Beinfreiheiten wurde aufgrund begrenzter Zeit nicht durchgeführt. Durch das Einfügen des RAMSIS-Perzentils konnte eine grobe Abschätzung durchgeführt werden, die keine Einschränkungen des Insassen vermuten lässt.

7.2.2 Kopffreiheit

Für die Kopffreiheit sind vor allem zwei Werte von Bedeutung, der H61, sowie der H612. Diese Punkte sind wie folgt definiert.

H61: Effektiver Kopfraum-vorn

Maß zwischen dem R-Punkt³⁷ und der Dachverkleidung, gemessen entlang einer um 8° von der Senkrechten nach hinten geneigten Linie, zuzüglich 102mm ³⁸

H612: Effektiver Kopfraum-vorn besondere Lage

Wie H61, jedoch gemessen von dem R-Punkt in hinterster, unterster Sitzverstelllage³⁹

H5: R-Punkt bis Standebene- vorn

Senkrechtes Maß zwischen dem R-Punkt und der Standebene.⁴⁰

7.2.3 Schulter, Hüft und Ellenbogen-Freiheit

Für die Insassenfreiheiten in der YZ-Ebene sind die Werte W3, W5 und W10 von besonderer Bedeutung. Sie sind wie folgt definiert.⁴¹

W3: Schulterraum-vorn

³⁷ konstruktiver H-Punkt

³⁸ Definition SAE und DIN

³⁹ eigene Definition

⁴⁰ Definition SAE und DIN

⁴¹ Definition SAE und DIN

Kleinstes Maß in der X-Ebene durch den R-Punkt zwischen den verkleideten Seitenflächen im Bereich zwischen der Gürtellinie und einer Linie 254mm oberhalb des R-Punktes.

W5: Hüftraum-vorn

Kleinstes Maß in der X-Ebene durch den R-Punkt zwischen den verkleideten Seitenflächen im Bereich von 25mm unter und 76 mm über sowie 76mm vor und hinter dem R-Punkt.⁴²

W10: Ellenbogenbreite-vorn

Größtes Maß in der X-Ebene durch den R-Punkt, gemessen mit der Schablone nach Bild 35 auf den Armlehnen. Falls das nicht möglich ist, muss das Maß so nahe wie möglich an der X-Ebene durch den R-Punkt gemessen werden. Bei Fahrzeugen oben Armlehnen soll das Maß 100mm über dem R-Punkt gemessen werden.⁴³

7.2.4 Sichtbereiche

Für die Zulassung eines Fahrzeuges müssen verschiedene Sichtbereiche erfüllt werden. Zu ihnen gehören zum Beispiel die Sichtbereiche A und B, sowie der Binokulare Verdeckungswinkel. Es wurden aus Zeitgründen nur die Untersuchungen der Sichtbereiche A und B, H124, sowie für den Binokularen Verdeckungswinkel durchgeführt.

7.2.4.1 Bereiche A und B

Die Sichtbereiche A und B beschreiben Sichtfelder der Frontscheibe, bei denen besondere Vorschriften gelten. Der Sichtbereich B ist das Mindestmaß der Frontscheibe und wird wie folgt ermittelt. Die Überprüfungen sind im Packageplan dargestellt.

⁴² Definition SAE und DIN

⁴³ Definition SAE und DIN

An der SAE⁴⁴ 95% Augenellipse wird in der ZX Ebene oberhalb tangierend eine horizontale Linie angelegt, von der aus ein Winkel von 7° nach oben eingehalten werden muss. An der unteren Ellipsentangente wird ein Winkel von 5° vorgegeben. Dieser Bereich wird Sichtbereich B genannt und muss innerhalb von 40 Minuten zu 95% entfrosten, nach 10 Minuten zu 80% entfeuchtet sein und zu 80% von den Scheibenwischern gesäubert werden können.

Für den Sichtbereich A werden ebenfalls Tangenten an die Augenellipse angelegt. Hier gelten nach oben 3° und nach unten 1°. Dieser Bereich muss innerhalb von 20 Minuten zu 80% entfrosten, nach 10 Minuten zu 90% entfeuchtet sein und zu 98% von dem Wischerfeld überdeckt werden.

Die Sichtbereiche werden aus der ZX-Ebene heraus eingehalten, jedoch wurde aus Zeitgründen auf eine Überprüfung aus der XY-Ebene verzichtet. Es sollte jedoch auch in diesem Fall zu keiner Einschränkung kommen. Die vorgegebenen Winkel betragen zur linken Fahrzeugseite 17° und zur rechten 20° für den Sichtbereich B und 13° und 20° für den Sichtbereich A.⁴⁵

Der **H124** ist der **Sichtwinkel Windschutzscheibe - lichte Durchsichtöffnung oben** und ist wie folgt definiert:

Der in der Y-Ebene des Fahrers gemessene Winkel zwischen der waagerechten Linie und einer Ebene tangential zum obersten Punkt der SAE 95% - Augenellipse und der Karosserieverkleidung oben, einschließlich aller, die Sicht versperrenden Elemente (Sonnenblende, Glasaufdruck etc.)⁴⁶. Bei dem RT09 beträgt dieser Winkel 10°, jedoch ist nur eine Abschätzung möglich, da das Interieur nur teilweise und grob angedeutet ist.

⁴⁴ Society of Automotive Engineers, amerikanisches Standardisierungsinstitut der Verkehrstechnologie

⁴⁵ Eigene Erklärung Tjark Miles, Erkenntnisse aus der Karosseriekonstruktion 1 Vorlesung bei Prof. Hempel (HAW HH)

⁴⁶ Definition SAE und DIN

7.2.4.2 Binokularer Verdeckungswinkel

Der Binokulare Verdeckungswinkel beschreibt das Sichtfeld das von der A-Säule verdeckt wird. Dieser Winkel muss einen Wert kleiner 6° Grad erreichen um zugelassen zu werden.

Dieser Winkel wird wie folgt ermittelt. Zunächst werden zwei Ebenen ausgehend vom Augenellipsenmittelpunkt mit einem Winkel zur Horizontalen von 2° nach oben und 5° nach unten aufgespannt. An der Stelle wo diese Ebenen die vordere Kante der A-Säule schneiden wird ein Z-Schnitt durchgeführt. In diesem Fall liegen die Schnitte bei 566Z und 675Z. Nun werden in die Schnitte die Punkte P1 und P2 eingetragen. Diese Punkte werden mit Hilfe von Werten ermittelt, die von der Torso – Neigung, sowie dem maximalen Sitzverstellweg abhängig sind. Um diese Punkte werden Kreise mit einem Durchmesser von 65mm (entspricht dem Augenabstand) gezogen. An diese Kreise wird tangential eine Linie angelegt, die bis zur lichte Durchsichtsöffnung der Seitenscheibe gezogen wird. Parallel zu dieser Linie wird eine zweite Tangente an den Kreis angelegt, von der eine weitere Linie zur lichten Durchsichtsöffnung der Frontscheibe gezogen wird. Der von der Parallelen und der Frontscheibendurchsichtsöffnungslinie eingeschlossene Winkel ist der Binokulare Verdeckungswinkel.⁴⁷

⁴⁷ Eigene Erklärung Tjark Miles, Erkenntnisse aus der Karosseriekonstruktion 1 Vorlesung bei Prof. Hempel (HAW HH)

7.3 Lage der Crashelemente

Die Lage und vor allem die Höhe der Crashelemente ist mit den Crashtestelementen IIHS Bumper/RCAR⁴⁸, sowie dem US Pendel nach FMVSS⁴⁹/ CMVSS⁵⁰ abgeglichen. Diese Tests sind standardisierte Verfahren für die Überprüfung der Crashsicherheit eines Fahrzeuges.

7.4 Allgemeine Fahrzeugabmessungen

Die allgemeinen Fahrzeugabmessungen sind wie die Kopffreiheiten durch die Normen DIN und SAE definiert. In dieser Arbeit wurde sich auf die wichtigsten beschränkt.

L101: Radstand

Geometrischer Abstand zwischen den Radmitten der Vorder- und Hinterräder. Falls ein Fahrzeug links und rechts unterschiedliche Radstände hat, ist nur die linke Seite anzugeben.⁵¹

L104: Überhanglänge- vorn

Abstand des vordersten Punktes des Fahrzeuges von der Radmitte der Vorderachse. Falls ein Fahrzeug links und rechts unterschiedlich Radstände hat, ist nur die linke Seite anzugeben.⁵²

⁴⁸ Testbarriere

⁴⁹ **Federal Motor Vehicle Safety Standard**, in den jeweiligen FMVSS-Vorschriften sind Mindestanforderungen zum Betreiben von Fahrzeugen festgelegt

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/FMVSS>; Abruf: Februar 2009

⁵⁰ Abk. **Canadian Motor Vehicle Safety Standards**

⁵¹ Definition SAE und DIN

⁵² Definition SAE und DIN

L105: Überhanglänge- hinten

Abstand des hintersten Punktes des Fahrzeuges von der Radmitte der letzten Achse. Falls ein Fahrzeug links und rechts unterschiedlich Radstände hat, ist nur die linke Seite anzugeben.⁵³

H 100: Fahrzeughöhe

Senkrechtes Maß zwischen dem höchstem Punkt der Karosserie und der Standebene (einschließlich Verdeck, Dachreling usw.).⁵⁴

H106: Überhangwinkel- vorn

Winkel zwischen der Standebene des Fahrzeuges und einer Ebene, die die statischen Rollradien der Reifen der ersten Achse tangiert und die den äußersten, tiefsten, festen Punkt des Fahrzeuges vor der Achse berührt.⁵⁵

H107: Überhangwinkel- hinten

Winkel zwischen der Standebene des Fahrzeuges und einer Ebene, die die statischen Rollradien der Reifen der letzten Achse tangiert und die den äußersten, tiefsten, festen Punkt des Fahrzeuges hinter der Achse berührt.⁵⁶

⁵³ Definition SAE und DIN

⁵⁴ Definition SAE und DIN

⁵⁵ Definition SAE und DIN

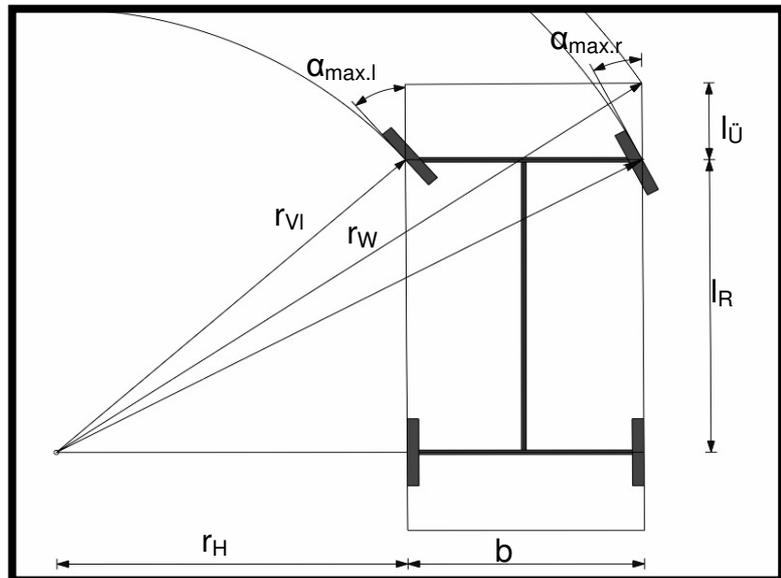
⁵⁶ Definition SAE und DIN

8 Technische Vorgaben

8.1 Radeindrehwinkel

Um den maximal nötigen Radeindrehwinkel für den RT09 bestimmen zu können, ist es nötig einen Wendekreis vorzugeben. Der Wendekreis bzw. Wendekreisdurchmesser

beschreibt die kleinstmögliche Kreisfahrt, die ein Fahrzeug bei maximalem Lenkeinschlag durchführen kann. Um einen Anhaltswert für den Wendekreis eines Sportwagens zu erhalten, dient als Referenz wieder der Audi R8, mit einem



Wendekreis von Links 11,00m und rechts 10,80m. Daraus ergibt sich das Ziel einen Wendekreis von etwa 11 Metern zu erreichen. Da der Wendekreis durch Untergrundbeschaffenheiten, Antriebskonzepte und Gewichtsverteilungen variieren kann, handelt es sich bei der folgenden Rechnung lediglich um eine Überschlagsrechnung die einen Anhaltswert über die benötigten Einschlagwinkel geben soll. Für genauere Werte wären diese durch Versuche zu ermitteln.

Die Berechnung

Bei der Berechnung handelt es sich um eine Überschlagsrechnung ohne Berücksichtigung von Lenkrollhalbmesser, Reifenbreite und unterschiedlicher Spurbreiten zwischen Vorder- und Hinterachse, für eine Kreisfahrt nach links.

Vorgabe ist ein Wendekreis von maximal 11 m.

$$r_H = \sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 - (l_R + l_{\ddot{U}})^2} - b$$

$$r_V = \sqrt{r_H^2 + l_R^2}$$

$$\tan \alpha_r = \frac{l_R}{r_H + b}$$

$$\sin \alpha_l = \frac{r_H}{r_V}$$

Vorgegebene Werte:

W 11000mm

l_R 2600mm

$l_{\ddot{U}}$ 800mm

b 2000mm

Aus der Vorgabe von Wendekreis, Überhang, Radstand und Fahrzeugbreite ergibt sich ein maximaler Eindrehwinkel für die linke Seite von 40,75° und 31,74° für die rechte Seite.

W	Wendekreis
$l_{\ddot{U}}$	Überhang
l_R	Radstand
b	Fahrzeugbreite
r_H	Abstand Hinterrad zum Zentrum
r_V	Abstand Vorderrad zum Zentrum
$\alpha_{r, l}$	Lenkwinkel der Räder
	r=rechts, l=links

8.2 Böschungswinkel/Überhangwinkel

Der Böschungswinkel beschreibt den Winkel zwischen der Standebene des Fahrzeugs und einer Ebene, die die statischen Rollradien der Reifen der ersten Achse tangiert und die den äußersten, tiefsten, festen Punkt des Fahrzeugs vor der Achse berührt. Um das Fahrzeug alltagstauglich im Straßenverkehr bewegen zu können, spielt der Böschungswinkel nicht nur bei Geländewagen, Bussen oder Lastwagen eine entscheidende Rolle. Gerade im Alltagsverkehr ist ein ausreichender Böschungswinkel von Nöten, um in Parkhäusern oder Einfahrten mit der Karosserie nicht aufzusetzen und das Fahrzeug zu beschädigen. Um einen Anhaltswert über die Böschungswinkel aktueller Sportwagen zu erhalten, in der Regel aber keine Böschungswinkel angegeben werden, konnten diese nur durch Vermessen ermittelt werden.

Als Referenzfahrzeuge dienen der Audi R8 und Porsche GT, deren Böschungswinkel nach Messungen ca. 9-10 Grad betragen (vergl. Abbildungen 33 und 34).

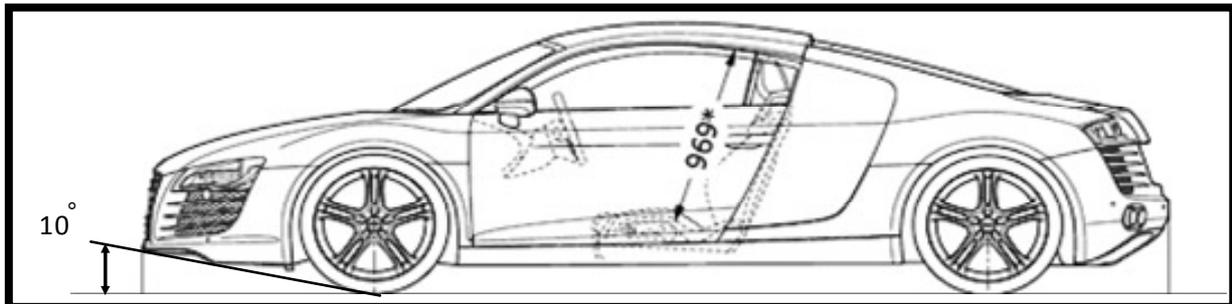


Abbildung 33: Böschungswinkel Audi R8

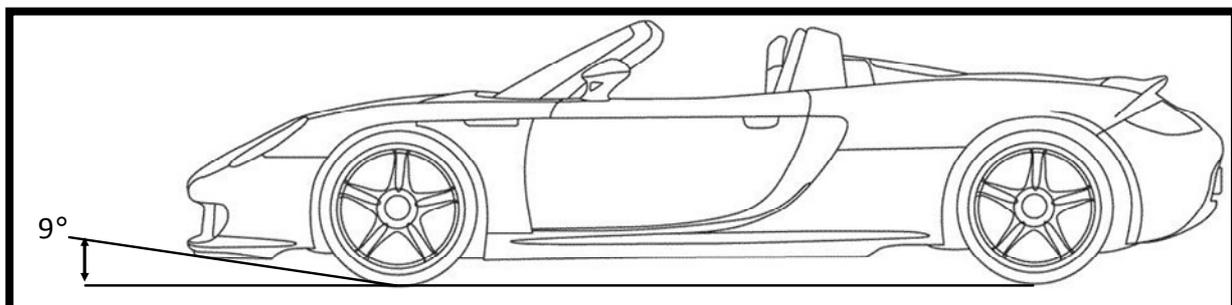


Abbildung 34: Böschungswinkel Porsche GT

Da für einen großen Böschungswinkel hochliegende und kurze Karosserieüberhänge nötig sind, wurde die Front im Vergleich zum Modell eingerückt und im vorderen Bereich angehoben, es ermöglicht sich, wie in Abbildung 35 zu erkennen, ein Böschungswinkel von 8,6 Grad. Eigene Vorgabe ist ein Böschungswinkel von weniger als 9° , um die Aerodynamischen Bedingungen, in Bezug auf den Energieverbrauch, zu geben. Ein minimaler Böschungswinkel von 8° ist wegen der Alltagstauglichkeit sinnvoll.

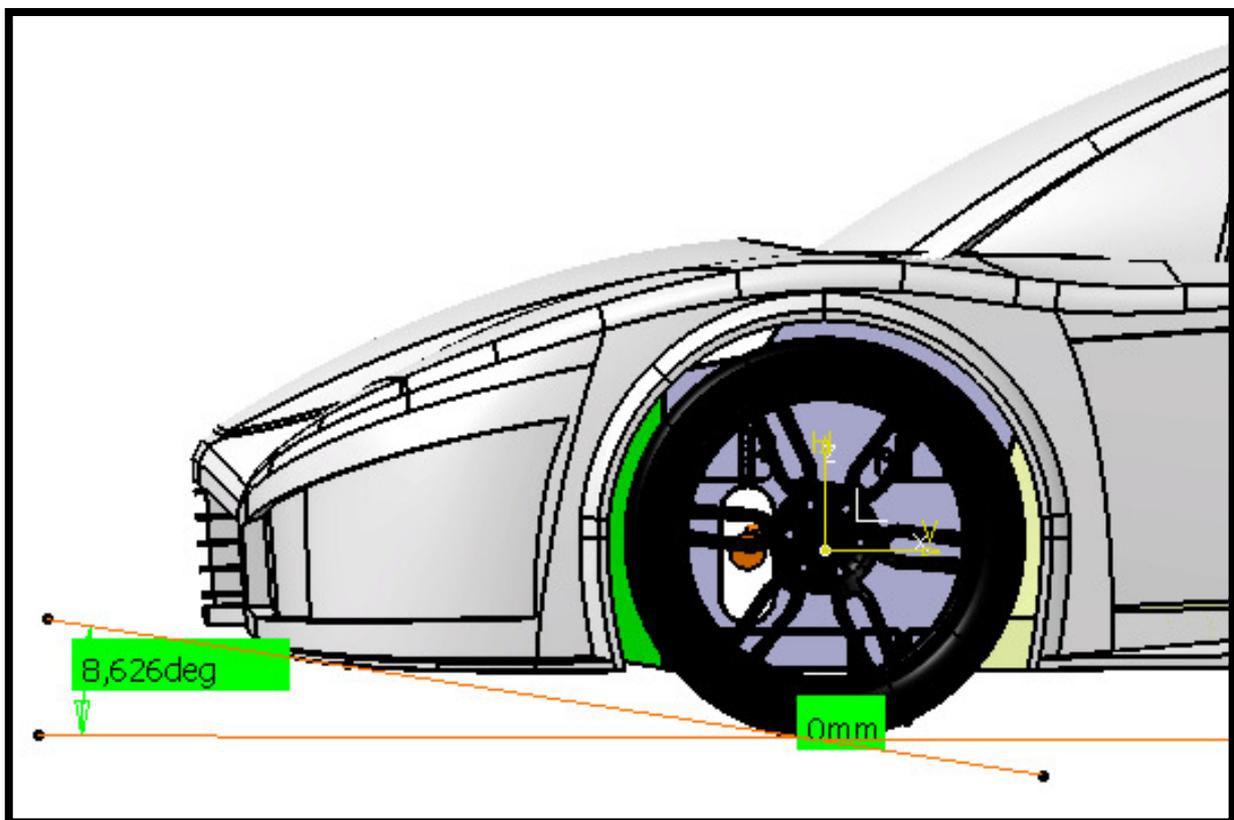


Abbildung 35: Böschungswinkel RT09

Der Böschungswinkel ist von der Standebene ML des Fahrzeugs abhängig. Die Standebene ist wiederum abhängig von unterschiedlichen Belastungsfällen. Weil in dieser Arbeit keine Fahrwerksauslegung stattgefunden hat, wurde ein statischer, unbelasteter Fall (ML0) angenommen. (vergl. Package- und Auslegungsplan).

9 Gesetzesvorgaben

Im Kapitel Gesetzvorgaben werden kurz die Kennzeichenabmessungen/Positionierungen, sowie die Sicherheitsradien für den Passantenschutz aufgeführt.

9.1 Kennzeichenabmessungen und Positionierungen

Das Kennzeichen muss so angebracht sein, dass es die maximale Fahrzeugbreite weder rechts noch links überragt und muss senkrecht zur ZX-Ebene stehen.

Das Kennzeichen darf maximal 30° zur Senkrechten geneigt sein wenn die Zulassungsnummer nach oben zeigt, bzw. maximal 15° , wenn die Zulassungsnummer nach unten zeigt.

Der Abstand zwischen der Oberkante des Kennzeichens und der Fahrbahn darf maximal 1500mm betragen. Der Abstand zwischen der Unterkante des Kennzeichens und der Fahrbahn muss mindestens 2mm betragen.

9.2 Sicherheitsradien

Da für den Fußgängerschutz bestimmte Vorschriften für Sicherheitsradien gelten, müssen zunächst die Prüfbereiche ermittelt werden, in denen diese Vorschriften anzuwenden sind. Zu Beginn, wird eine Gerade mit einem Winkel von 30° zu Y so verschoben, bis sie den Stoßfänger tangiert, siehe Abbildung 36. Vom diesem Berührungspunkt wird 66mm



entlang des Stoßfängers in **Abbildung 36: Tangente 30°**

Richtung der Fahrzeugmitte gemessen. Diese Stelle definiert den Beginn des Prüfbereichs in der Y-Komponente. Im Bereich innerhalb von 20mm (siehe Abbildung

37) des von oben gesehenen Fahrzeugumrisses und innerhalb der zuvor definierten Begrenzung müssen alle Kanten mit einem Mindestradius von 5mm verrundet werden. Für alle weiteren Kanten gilt ein Mindestradius von 2,5mm.

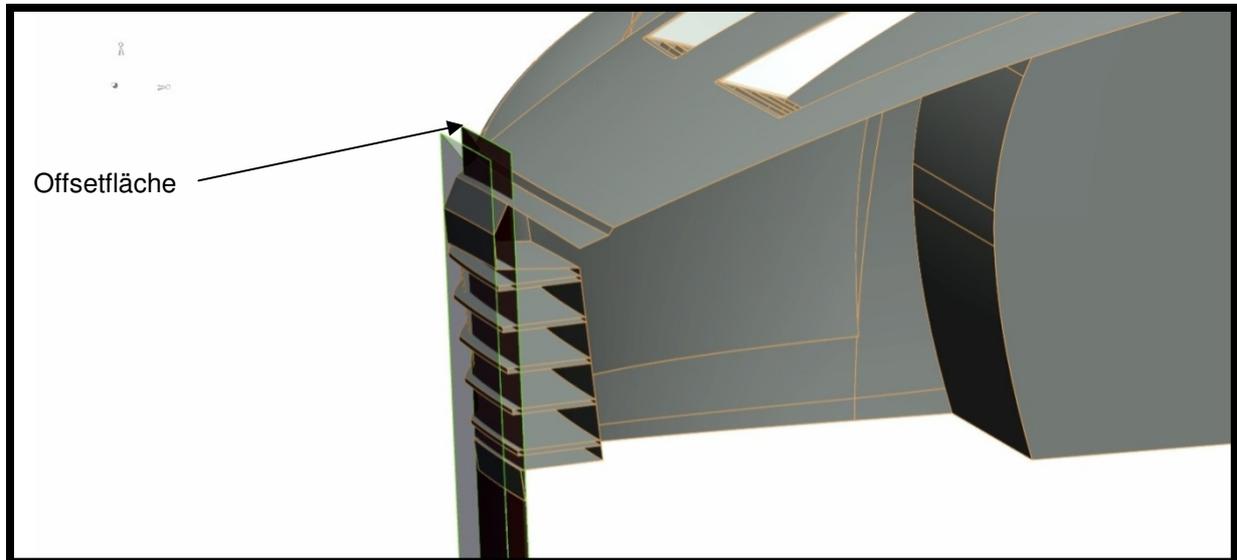


Abbildung 37: Offsetfläche 20mm

Für Lüftungsgitter gelten folgende Vorgaben für Verrundungen:

Abstand Gitterlamellen (Kugelberührungspunkte) >40mm mindestens R2,5

Abstand Gitterlamellen (Kugelberührungspunkte) 25-40mm mindestens R1

Abstand Gitterlamellen (Kugelberührungspunkte) <25mm mindestens R0,5

Um zu prüfen ob nach erfolgter Verrundung die Sicherheitsradien eingehalten werden, gibt es in ICEM Surf eine Funktion, die es ermöglicht Bereiche anzuzeigen, die den Mindestradius nicht einhalten. Das Programm untersucht alle selektierten Bereiche die eine Kugel mit einem vorher definierten Durchmesser erreichen kann. Dieser Durchmesser hat im Exterieur einen Wert von 100mm, im Interieur ein von 82,5mm.

Die Abbildung 38 zeigt ein negatives Ergebnis der teilverrundeten RT09 Front. Hier ist der Mindestradius von 5mm nicht eingehalten worden.

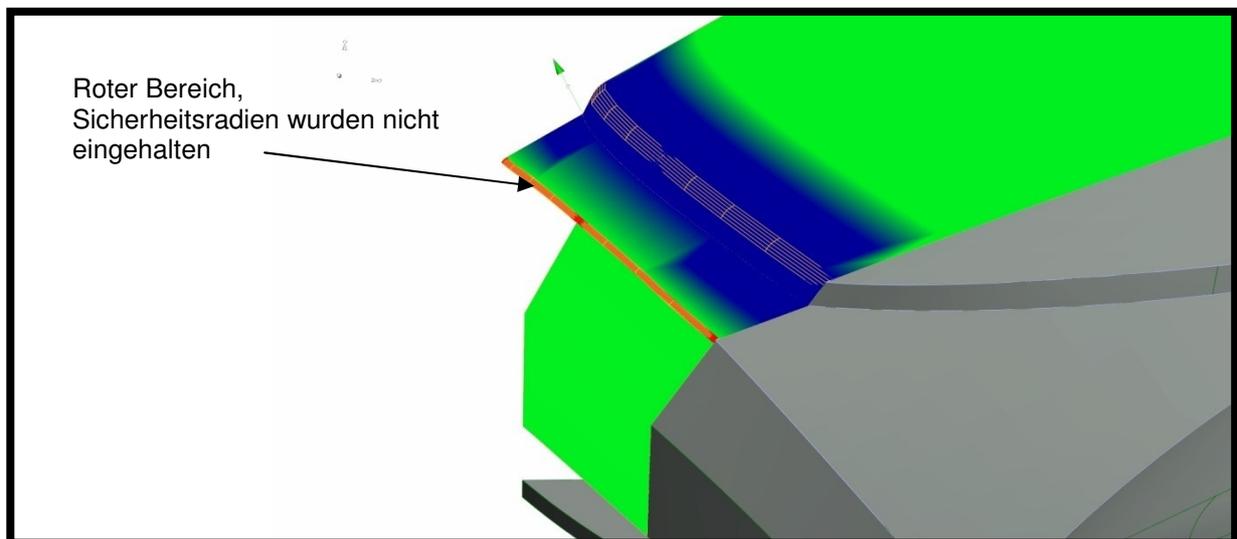


Abbildung 38: Kontrolle der Sicherheitsradien

10 Strak

Als straken bezeichnet man im Fahrzeugbau die Oberflächenerstellung. Man kann den Strak in folgende Bereiche unterteilen.

Grobflächenerzeugung

Hier werden Grobe Flächen zur Visualisierung von Komponenten erstellt, sie besitzen im Allgemeinen keine Class-A Oberflächenqualität

Class-A Oberflächenerstellung

Class-A Oberflächen sind Flächen mit entsprechender Anschlussqualität, die einen optimalen Licht, Schatten und Highlightverlauf⁵⁷ aufweisen. Diese Flächen sind für eine hohe qualitative Anmutung nötig. Das Straken wird im Exterieur, Interieur sowie im Grauzonenbereich durchgeführt. Im Exterieur sind genauere Anschlussqualitäten sinnvoll, da auf lackierten Flächen jede Ungenauigkeit zu sehen ist. Im Interieur werden die Flächen meist mit Stoff oder genarbten Kunststoffen überzogen, auf denen gewisse Ungenauigkeiten nicht auffallen.

Untersuchungen zur Absicherung von Funktion und Gesetz

Dieses Thema beinhaltet besonders die Einhaltung von Mindeststrahlen des Kopfaufschlagsbereiches im Interieur, sowie Exterieur. Die Einhaltung und ständige Überprüfung der Entformrichtung ist ebenfalls eine Aufgabe des Straks, denn die erstellten Teile müssen auch herstellbar sein. Auch Eindrehuntersuchungen von beweglichen Teilen können im Strak durchgeführt werden, wobei es nicht dem eigentlichen Sinn des Strakens entspricht.

10.1 Vorgang des Strakens

Üblicherweise bekommen die Straker Oberflächendaten in Form von Catia-Flächen, Alias-Flächen, bestehender ICEM-Flächen, Schnittmappen oder sogar in Form von einfachen Skizzen. An dieser Stelle wird von den Strakern erwartet, dass sie die

⁵⁷ Vergl. Kapitel 10.2.2

Vorgaben in einer geforderten Qualität umsetzen. Die Qualität hängt stark von den Bereichen des Fahrzeuges ab, denn im Exterieur ist eine höhere Qualität als in der Grauzone gefordert und auch sinnvoll. Die Qualität des Exterieurs ist nicht nur das Aushängeschild des Herstellers, sondern vor Allem der Grund für die Kaufentscheidung.

Sind die Flächen erstmal erstellt, wird mit dem Designer zusammen das Ergebnis diskutiert, denn an dieser Stelle nimmt man oft neue Erscheinungen zur Kenntnis, die vorher nicht wahrgenommen wurden. Es wird besonders auf den Verlauf von Lichtkanten und Schattenwürfen geachtet, denn diese verleihen dem Fahrzeug Leben und Dynamik.

10.2 Theorieflächen

Der Größte Teil dieser Diplomarbeit besteht in der Erstellung der Oberflächendaten des RT09 in ICEM Surf. Aus zeitlichen Gründen wurde auf die Detailausarbeitung in Form der Verrundungen verzichtet und nur die Theorieflächen erzeugt. Als Theorieflächen bezeichnet man im Strak die Grundflächen, aus denen die Geometrie aufgebaut wird. Sie werden auf Stoß oder auf Durchdringung ausgelegt. Das bedeutet, dass die einzelnen Flächenabschnitte an ihren Rändern aufeinanderliegen, oder die Durchdringung zweier Flächen den Verlauf einer Kante ergibt. (Vergl. Abbildung 39)

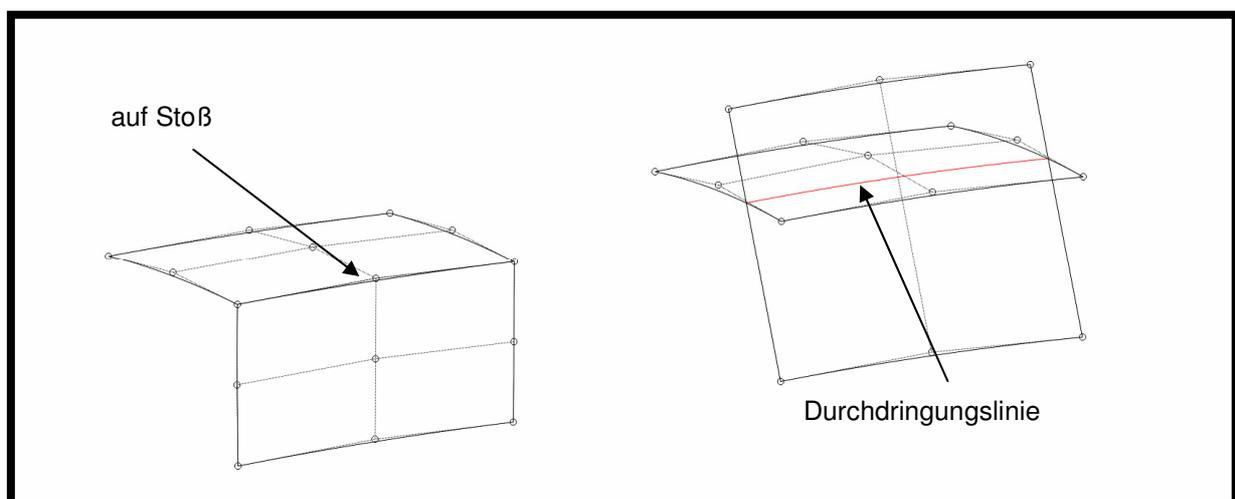


Abbildung 39: Theorieflächen

Der Vorteil eines Theorieflächenaufbaues auf Stoß liegt in der einfacheren Steuerung der Formen. In bestimmten Bereichen ist es nicht möglich die Geometrie auf Stoß zu erzeugen. In diesem Fall gibt die Durchdringung zweier oder mehrerer Flächen den Formverlauf wieder.

10.2.1 Polygone / Polygonpunkte⁵⁸

Die Erzeugung der Theorieflächen ist eine sehr sensible Arbeit, denn die Lage und Qualität dieser Flächen wirkt sich direkt und indirekt auf den kompletten Licht- und Schattenverlauf aus. Um diese Verläufe zu steuern und optimieren ist ein geordnetes Polygonbild notwendig. Über diese Punkte wird die Fläche und deren Krümmung definiert.

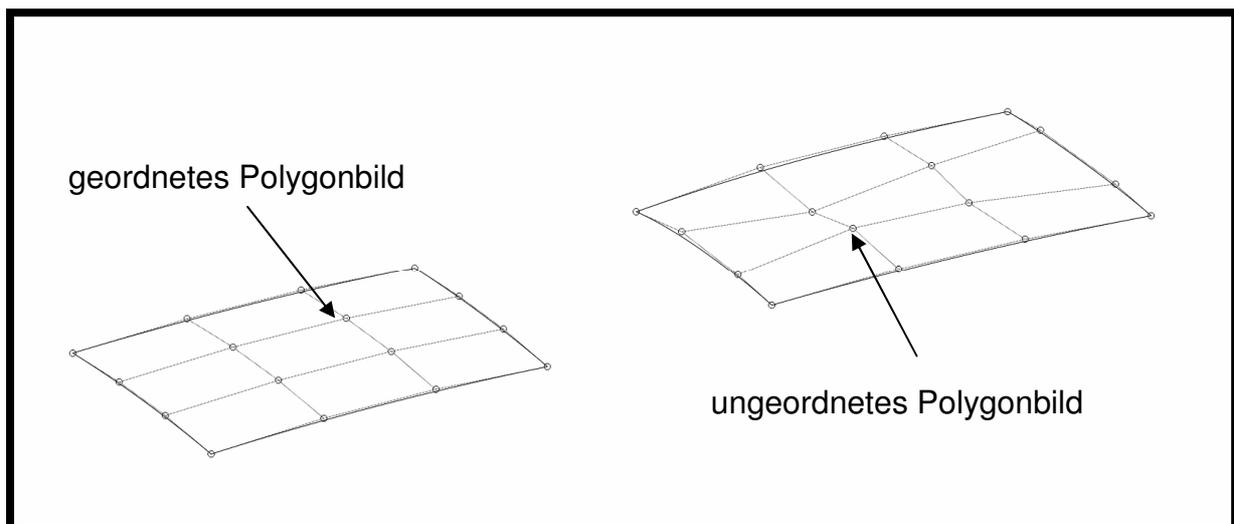


Abbildung 40: Polygonbild

⁵⁸ Stützpunkte für den Kurven oder Flächenaufbau
Quelle: eigene Erklärung

10.2.2 Highlights

Über die sogenannte Highlightdiagnose ist es möglich, Bereiche zu visualisieren, deren Krümmung nicht homogen verläuft. In der Highlight Darstellung werden Linien gleicher Helligkeit auf Flächen dargestellt. Diese Linien verbinden die Flächenpunkte, in denen das Licht im gleichen Winkel einfällt, sie werden "Isophoten" genannt. Die größte Helligkeit wird bei einem Licht-Einfallswinkel von 90° erreicht. Ein Vorteil der Highlight-Diagnose liegt in deren Blickwinkelunabhängigkeit.

Das Ziel bei der Flächenerstellung im Strak ist es einen gleichmäßigen Highlightverlauf zu erreichen. Die folgende Abbildung 41 stellt eine Highlightdiagnose dar. Die linke Fläche mit geordnetem Polygonenbild zeigt einen homogenen Highlightverlauf auf, die rechte Fläche ist in ihren Highlights nicht sehr gelungen.

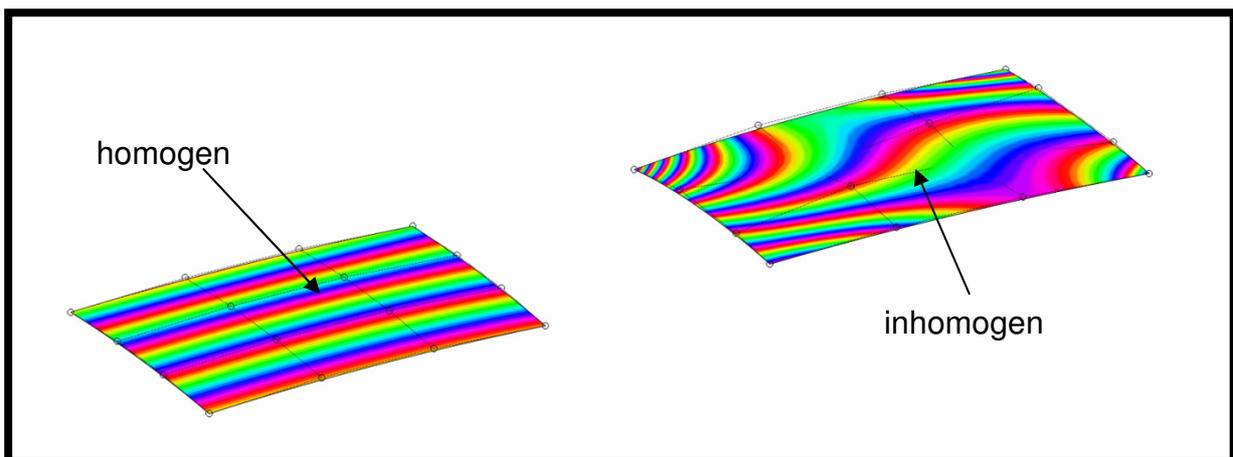


Abbildung 41: Highlights

10.3 Theorieflächen erzeugen

Es gibt verschiedene Methoden um die Designdaten zur Bearbeitung und Erstellung von Theorieflächen an den Strak zu übermitteln. In diesem Kapitel werden drei Möglichkeiten beschrieben.

10.3.1 Theorieflächenerzeugung über technische Begrenzungen

Eine Möglichkeit der Theorieflächenerzeugung besteht über den technischen Ansatz. Dieser basiert darauf, dass die sichtbaren Außenflächen nicht nur vom Design vorgegeben werden, sondern die Flächen auch vom Rohbau abhängig sind. Die technischen Vorgaben werden meist in Form von Schnitten oder Grenzflächen zur Verfügung gestellt. Diese Geometrien definieren den verwendbaren Raum für Oberflächen. Oft müssen Mindestabstände zu beweglichen Teilen eingehalten werden, die das Design nachhaltig verändern.

10.3.2 Theorieflächenerzeugung über Skizzen

Eine weitere Möglichkeit der Vorgabenübermittlung besteht in der Skizzierung der Geometrien. Diese Skizzen können in ICEM Surf geladen werden und als Grundlage für die Erstellung von Geometrien dienen. Auf die Skizze können Kurven gelegt werden, aus denen Flächen generiert werden. Diese Art des Vorgehens ist eine sehr simple und ungenaue Art und findet deshalb in der Praxis nicht sehr häufig Verwendung.

10.3.3 Theorieflächenerzeugung über einen Scan

Die gängigste Methode die in der Automobilindustrie angewendet wird ist die Erstellung eines Modells. Hierbei wird von der Designabteilung eine Designidee auf Papier skizziert und mit den entsprechenden Maßen in den drei Standartansichten, Grundriss, Aufriss und Seitenriss versehen. Nach dieser Vorgabe erstellen die Modellbauer ein Maßstabsmodell (vergl. Abbildung 42), in gängigen Maßstäben, wie 1:5, 1:4 oder sogar 1:1. Während der Modellierung ist eine Designänderung möglich, denn ein reales Modell übermittelt immer einen anderen Eindruck als eine 2D Skizze oder ein elektronischer Datensatz.



Abbildung 42: Claymodell

Dieses Modell, das meistens aus Clay hergestellt wird, kann gescant werden, was bedeutet, dass eine Abtastung der Oberfläche vorgenommen wird. Diese Abtastung kann mechanisch über einen Fühler erfolgen, oder über eine Art Fotoscan, bei der die Oberfläche mit Hilfe eines Lichtstrahles erfasst wird. In beiden Fällen wird eine definierte, je nach Qualität größere oder kleinere, Menge an Messpunkten erfasst und in einer elektronischen Punktwolke dargestellt, die die Oberfläche des gescanten Objektes repräsentiert.

Mit dem Scan als Referenzobjekt hat man nun eine sehr komfortable Möglichkeit Flächen zu erstellen.

10.4 **Scan des RB07**

Das von Rüdiger Böge, als Schwerpunktentwurf, hergestellte Maßstabsmodell (Maßstab 1:5) des RB07 wurde von der Firma IGS Development gescant und in ICEM Surf auf den originalen Maßstab erweitert. Dadurch ist es möglich die Diplomarbeit sehr praxisnah zu gestalten.

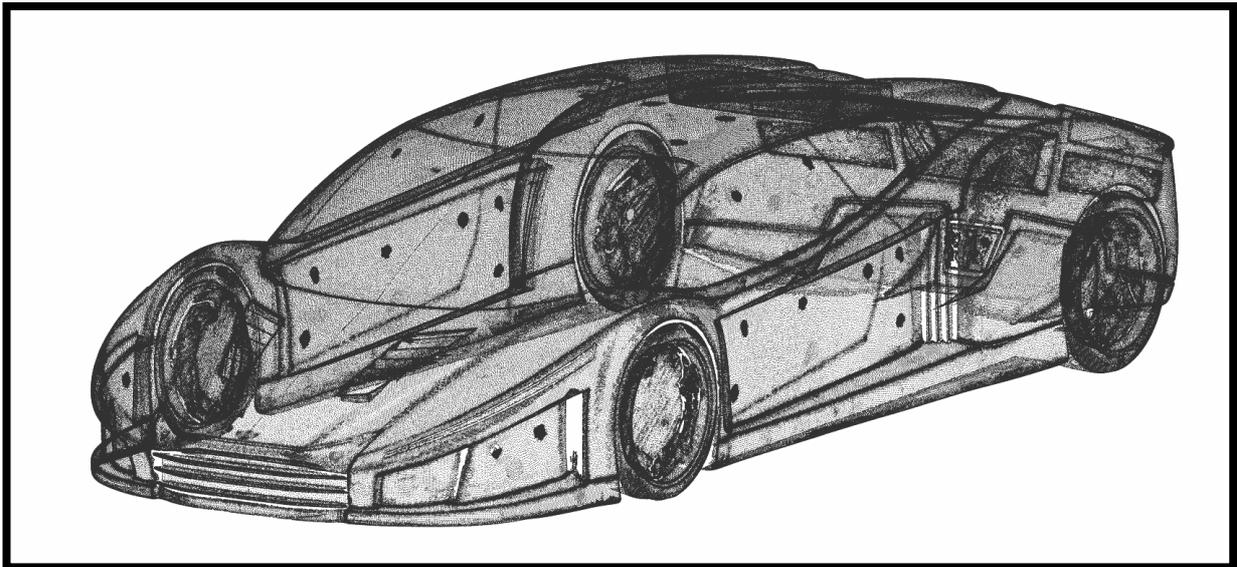


Abbildung 43: Scan RB07

Der obere facettierte Scan in der Abbildung 44 zeigt das unveränderte Original des RB07. Der Designvariante RT09 entsprechend wurde der vordere Teil des Scans um den Überhang zu verkleinern in X-Richtung verschoben (unterer facettierter Scan Abbildung 44). Hierzu wurde der Scan im vorderen Teil aufgetrennt und der entsprechende Bereich verschoben. Zur Vergrößerung des Radstandes wurde der Teil um den vorderen Kotflügel aufgetrennt und in negative X-Richtung verschoben. Dieser überarbeitete Scan wird im weiteren als Grundlage der Flächenerstellung genutzt.

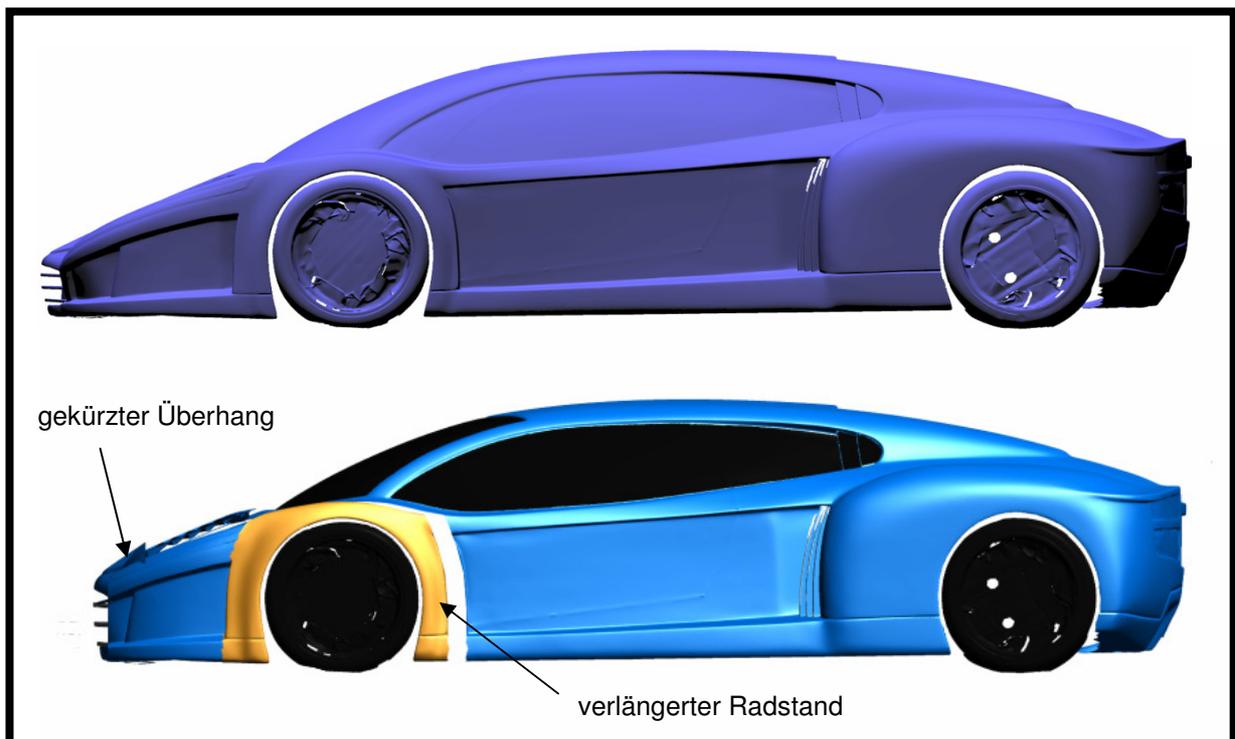


Abbildung 44: Vergleich Scan

10.5 Felge RT09

Die Felgen eines Fahrzeuges sind nicht nur aus technischen Gründen sehr wichtig für ein Fahrzeug, sondern dienen auch als optisches Stilmittel. Eine Felge ist ein sehr geeignetes Element um das komplette Fahrzeugdesign abzurunden. Die Felge sollte keinesfalls von der Fahrzeugoptik ablenken, aber trotzdem präsent sein. Wichtig für das Design einer Felge ist auch der aktuelle Trend. Dazu ist es von Bedeutung, dass das



Fahrzeug in seinen **Abbildung 45: Felge RT09**

Eigenschaften bewertet wird. Der RT09 ist ein sehr sportlicher Targa, der über einen Antrieb per Elektromotoren vorangetrieben wird. Deshalb ist für den RT09 eine sehr filigrane Felge angedacht, die dem Trend folgend einfarbig in schwarz oder zweifarbig in schwarz/titan angeboten wird. Um das Drehmoment sicher auf die Räder zu bringen wird die Felge mit sechs Radbolzen versehen, was eine Sechsspeichenoptik, der Symmetrie förderlich, naheliegen lässt. Mit ihren feinen Speichen wirkt diese Felge leichtfüßig und dezent aggressiv.

10.6 Frontbereich

Der Strak im Frontbereich basiert im wesentlichen auf den bearbeiteten Scandaten, sowie den skizzierten Änderungen. Da der Scan zur Verkleinerung des vorderen Überhangs und zur Verlängerung des Radstandes zerteilt wurde, besteht die Schwierigkeit darin Flächen zu erzeugen, die nicht mehr auf dem Scan basieren und daher frei im Raum liegen. An dieser Stelle findet eine direkte Formgestaltung in ICEM Surf statt, ohne eine direkte Basis als Referenz nutzen zu können.

Zur Erzeugung von Flächen auf einem Scan gibt es die folgende Möglichkeit. Über vier Randpunkte, die direkt auf den Scan gelegt werden, wird ein Patch⁵⁹ erzeugt. Erhöht man die Polygonanzahl des Patches wird ein die Manipulierung der Fläche durch „Zupfen“ der Polygone geboten. Die Bombierung des Patches kann so der Referenzfläche angepasst werden. Auf diese Art entstehen die Grundflächen.

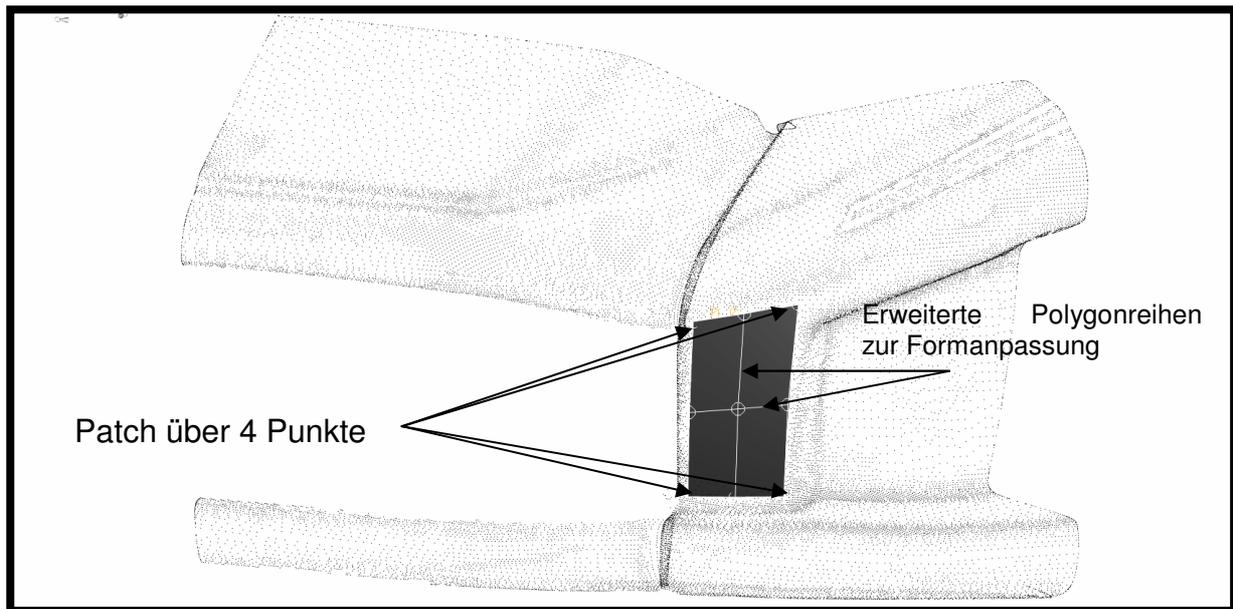


Abbildung 46: 4 Punkte Patch

⁵⁹ Flächenabschnitt

Bei symmetrischen Objekten, wie es bei einem Fahrzeug der Regelfall ist, wird normalerweise nur eine Seite, meistens die linke Fahrzeugseite, in Flächen aufgebaut und dann an der Spiegelebene (hier ZX- Ebene) gespiegelt und dupliziert. Dabei ist besonders wichtig das die Krümmung überprüft wird, denn sonst kann es schnell passieren, dass die Fläche einfällt. In einer Krümmungsanalyse kann dieses Verhalten erkannt werden (vergleiche Abbildung 47).

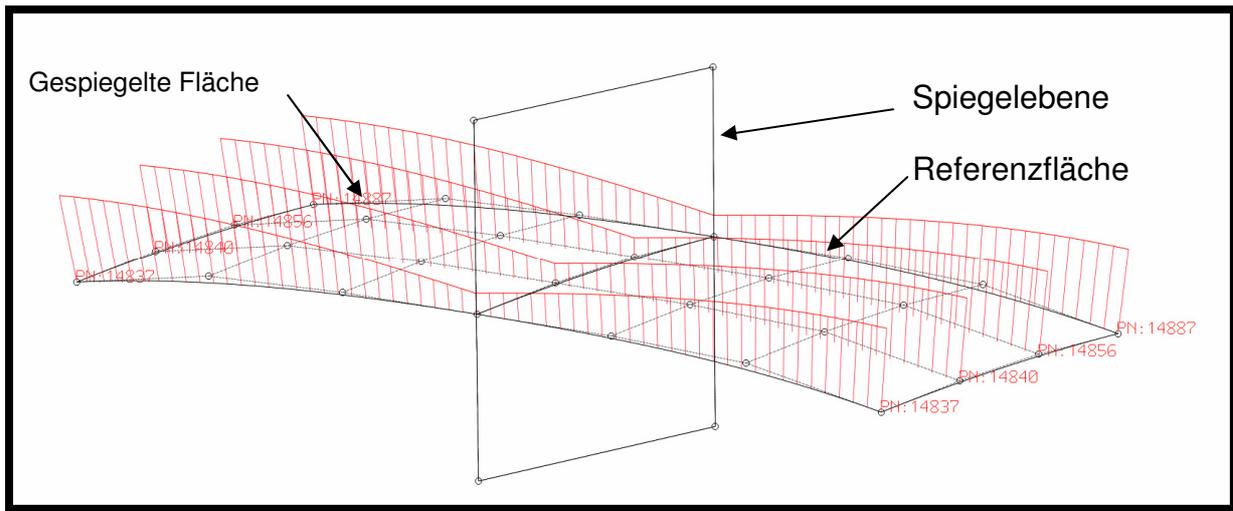


Abbildung 47: Y0-Symmetrie

Die sichere Erstellung dieser Flächen ist in Abbildung 48 dargestellt. Die Flächen, die normalerweise an der Spiegelebene begrenzt wären, werden behandelt, als ob keine Spiegelsymmetrie bestände. Das Formen dieser Flächen wird allerdings mit einer Spiegelsymmetrieeinstellung vorgenommen. Das bedeutet, dass eine Seite modelliert und die andere Seite automatisch und symmetrisch nachgezogen wird.

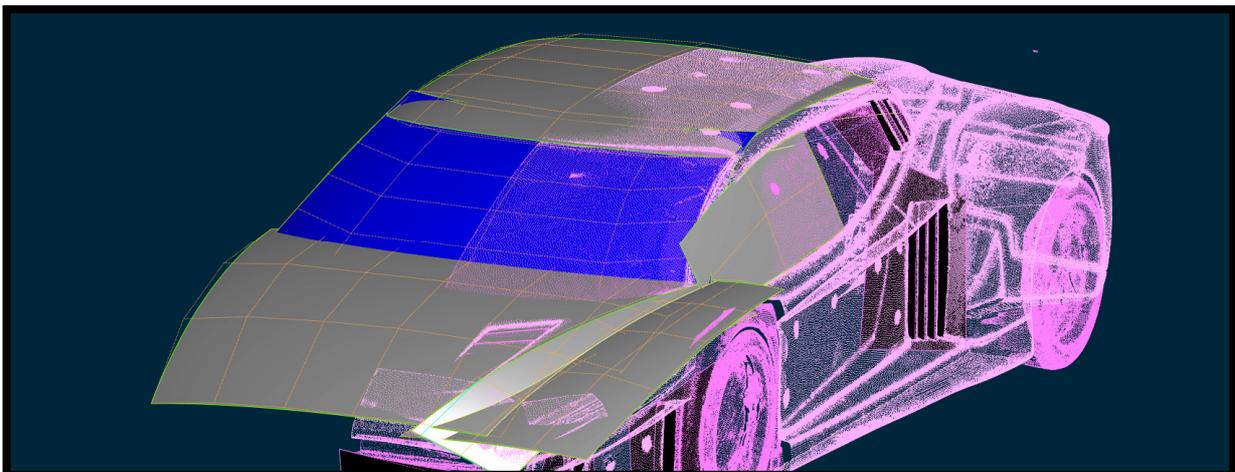


Abbildung 48: Symmetrie

10.6.1 Kotflügelbereich

In der Abbildung 49 ist zu erkennen, dass der vordere Kotflügel aus der Draufsicht im Verhältnis zum sehr weit ausgestellten hinteren Kotflügel sehr klein wirkt.

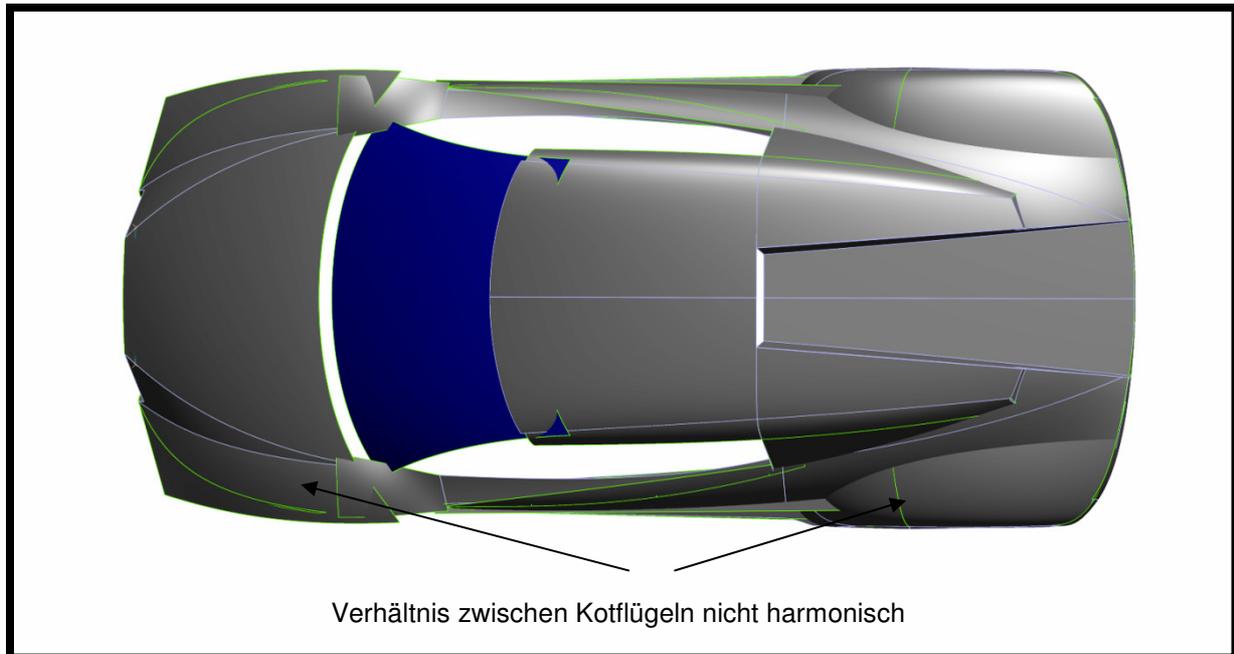


Abbildung 49: Kotflügel vorne zu klein

Durch die Veränderung der äußeren Kotflügelflächen wurde der Kotflügel vorne optisch der Größe des hinteren Kotflügels angepasst (vergl. Abbildung 50).

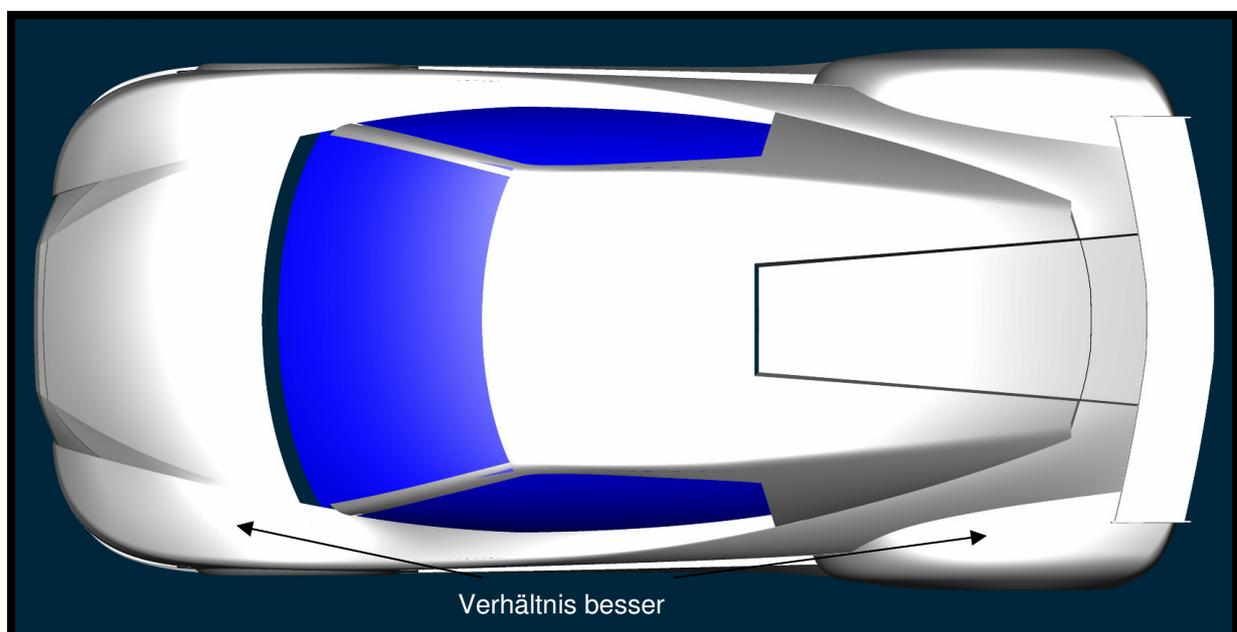


Abbildung 50: Kotflügel vorne angepasst

10.6.2 Frontscheinwerfer

Um die klare Optik des RT09 zu erhalten ist als erste Idee für die vordere Beleuchtung ein aufklappbarer Scheinwerfer entstanden. Zwei Varianten sind hierbei denkbar. Die erste Variante lässt den Scheinwerfer als Tagfahrlicht zu einem Drittel aufklappen und bei Bedarf auf seine komplette Größe. Als zweite Variante ist ein zusätzliches Tagfahrlicht in Form einer LED-Leiste möglich, wobei der aufklappbare Hauptscheinwerfer flacher aufgebaut werden könnte (vergl. Abbildung 51). Um eine ausreichende Ausleuchtung zu gewähren, müsste der aufgeklappte Scheinwerfer eine Höhe von ca.100mm aufweisen. Die Klarheit des Designs, sowie der Cw-Wert wären dadurch gestört.

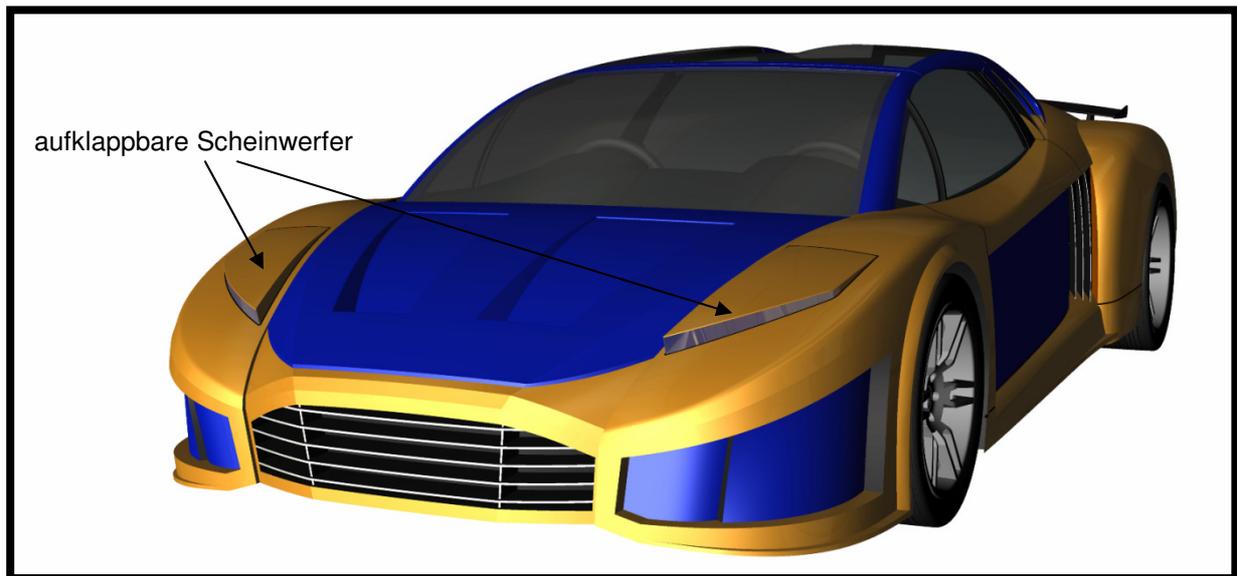


Abbildung 51: Schlafaugen

Aus diesem Grund wurden Skizzen angefertigt, um eine neue Lösung zu erarbeiten. Die gewählte Variante stellt einen Klarglasscheinwerfer dar, der sehr schön in die Form integriert ist und gut zum Design des Fahrzeuges passt (vergl. Abbildung 52).

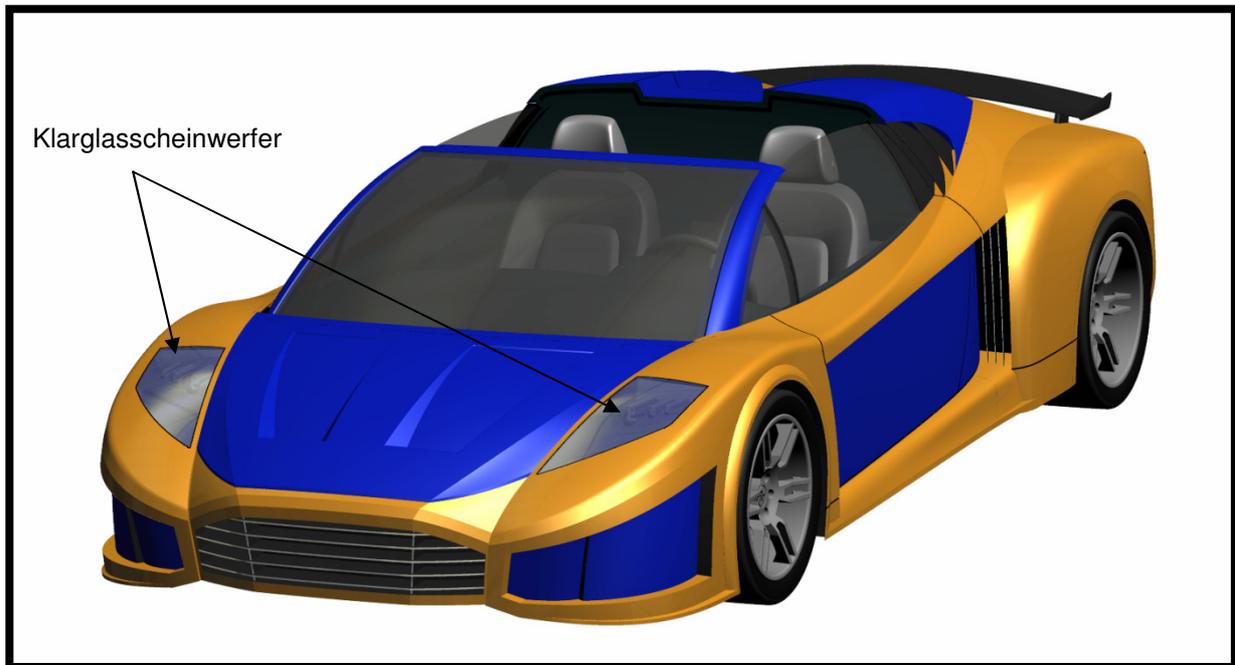


Abbildung 52: Klarglasscheinwerfer

10.6.3 Anordnung der Außenspiegel

Aus Zeitmangel ist es nicht möglich genauer auf die Anordnung, oder das Erscheinungsbild der Außenspiegel einzugehen. Angedacht ist eine Version in Form von Kameras, die im Bereich der A-Säule positioniert werden. Die Entscheidung für Kameras kam aus dem Hintergrund heraus, die Führung der Brüstungslinie, die einen wichtigen Bestandteil zum Design des RT09 liefert nicht zu unterbrechen.

10.6.4 Fronthaube

Um die Charakteristik des Frontbereiches nicht durch übermäßig viele Fugen zu zerstören, wurde eine Lösung zum Öffnen der Haube erarbeitet, die ein Aufschwenken der gesamten Haube realisiert. Hierzu wird die Haube erst in negative X-Richtung verschoben, damit beim Aufschwenken keine Kollision im vorderen Kotflügelbereich stattfindet. Dadurch, dass die komplette Verkleidung im Vorderwagen weggeklappt wird ist ein sehr komfortables Erreichen der darunterliegenden Teile gewährleistet (vergl. Abbildung 53).

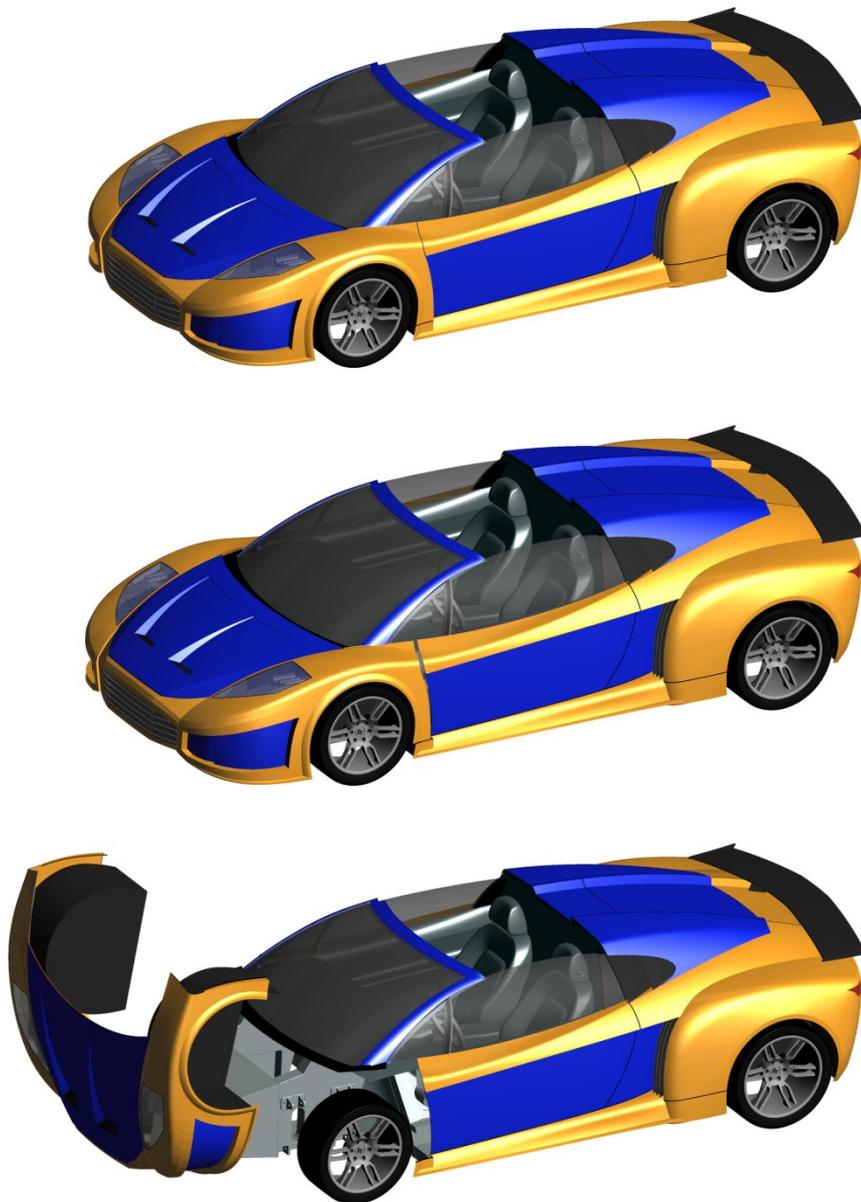


Abbildung 53: Öffnen der Fronthaube

10.7 Heckbereich

Das Heck basiert ebenso wie der Frontbereich im Wesentlichen auf dem Scan des RB07. Auch am Heck wurden formästhetischen Änderungen vorgenommen.

10.7.1 Kotflügel

Ein besonders markanter Bereich am Designmodell RB07 ist der hintere Kotflügel, der im Verhältnis zum gesamten Fahrzeug sehr massig ist. Durch die im Verhältnis zum vorderen Kotflügel extrem große Fläche ergibt sich ein Phänomen, welches das

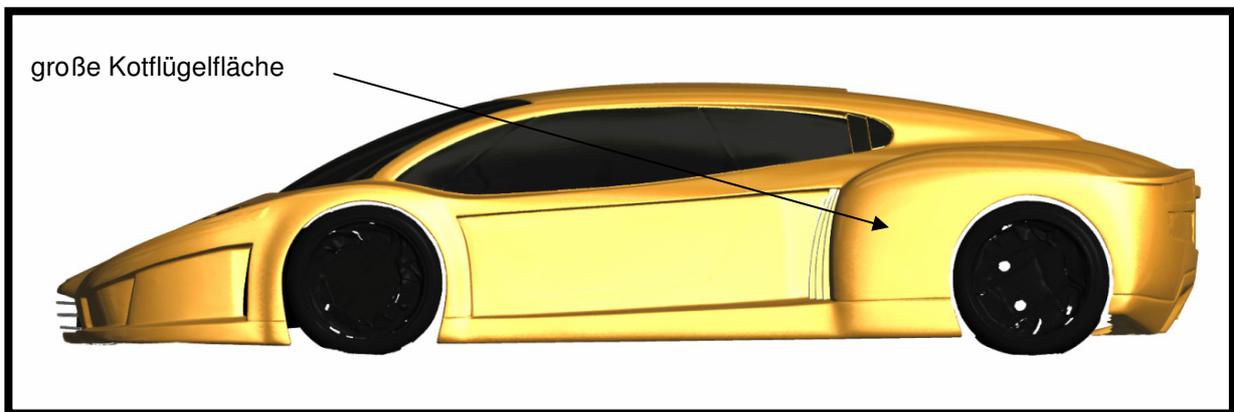


Abbildung 54: RB07 Kotflügel hinten

Hinterrad kleiner als das Vorderrad wirken lässt. Siehe Abbildung 55. Diese Erscheinung ist aber nicht nur beim RB07 zu sehen, sondern auch an anderen Sportwagen, wie z.B. dem Ferrari 575 von Zagato wie auf Abbildung 54 zu erkennen.



Abbildung 55: Ferrari Zagato

Um diesem Phänomen entgegen zu wirken, wurde der Bereich vor der Hinterachse verkleinert. Hierzu wurde die Fläche in X-Richtung verschoben. Da die Bodenfreiheit des Designmodells RB07 zu gering war, musste die Karosserie angehoben werden, was dazu führte dass die Fläche oberhalb des Hinterrades noch größer erschien. Um die Fläche oberhalb des Hinterrades zu verringern, musste der Kotflügel abgesenkt werden.

Um ein ausgewogeneres Verhältnis zwischen dem vorderen und hinteren Kotflügelausschnitt zu erzeugen, wurde hinten eine 1 Zoll größere Felge verbaut, die einen größeren Radausschnitt zur Folge hat. Des Weiteren wurde eine Trennfuge in Höhe des Schwellers angebracht, die eine optische Verkleinerung des hinteren Kotflügels bewirkt (vergl. Abbildung 56).

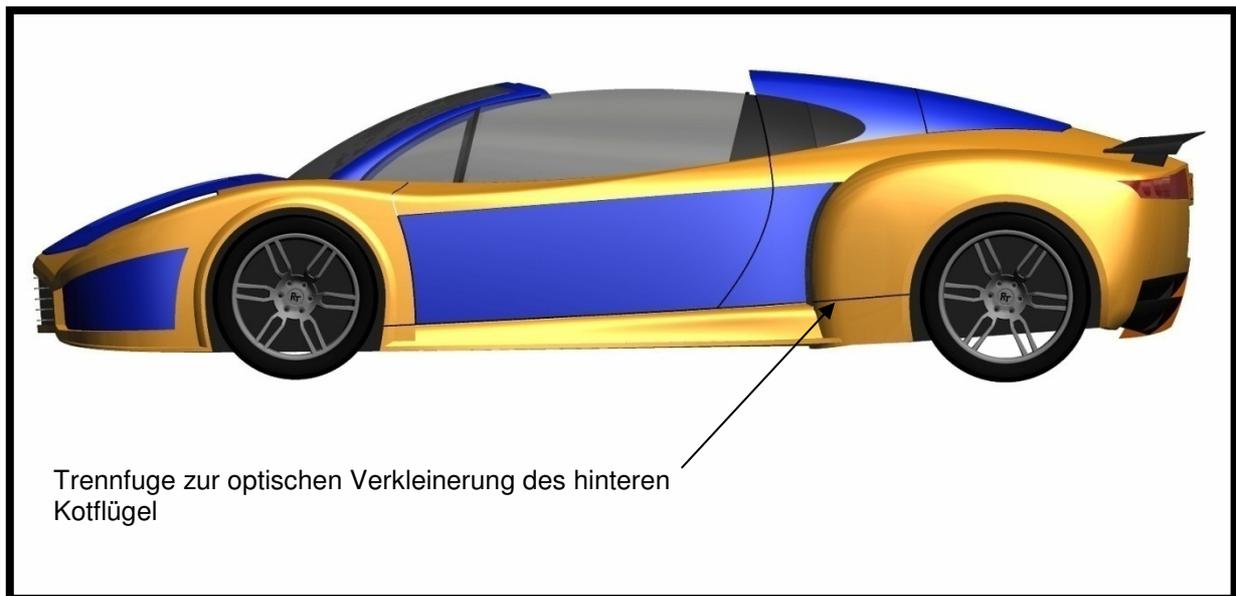


Abbildung 56: Trennfuge zur optischen Verkleinerung

10.7.2 Entlüftung

Der Luftauslass im Heckbereich, dient dazu die Luft die durch die Lufteinlässe im vorderen Bereich des hinteren Kotflügels eintritt wieder nach außen zu leiten. Diese

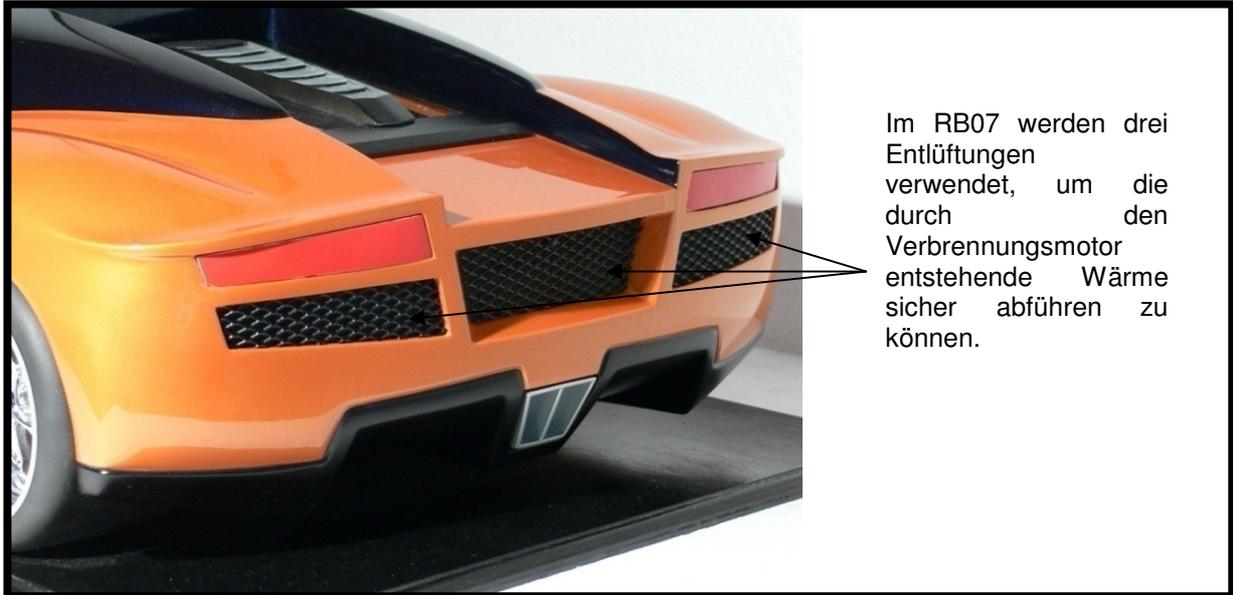


Abbildung 57: RB07 Entlüftung

Maßnahme ist nötig, damit kein Hitzestau auftritt und eine gleichmäßige Kühlung aller Antriebskomponenten gewährleistet ist. Das Design wurde dem RB07 nachempfunden. Da es sich bei dem Designmodell RT09 im Gegensatz zum RB07 um einen mit Elektromotoren betriebenen Sportwagen handelt, kann auf die links und rechts verbauten Entlüftungen verzichtet werden. (Vergl. Abbildung 58)

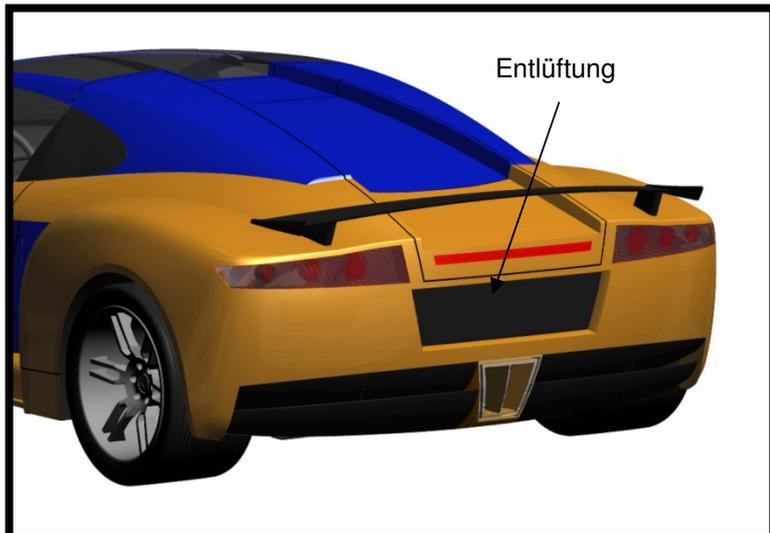


Abbildung 58: RT09 Entlüftungen hinten

10.7.3 Kennzeichentafel

Im Designmodell RB07 ist kein Kennzeichen vorgesehen, weshalb beim RT09 eine Position gefunden werden musste, die den gesetzlichen Auflagen entspricht. Unter Berücksichtigung der geltenden Richtlinien für europäische Kraftfahrzeuge die eine Ausrichtung der Kennzeichen, sowie deren Abstand zur Fahrbahn vorgeben (vergl. Abbildung 59), wurde die hintere Kennzeichentafel in der Mitte des hinteren Luftauslasses positioniert. Zur Aufnahme des Kennzeichens wurde eine Blende in das Erscheinungsbild des Hecks eingearbeitet.

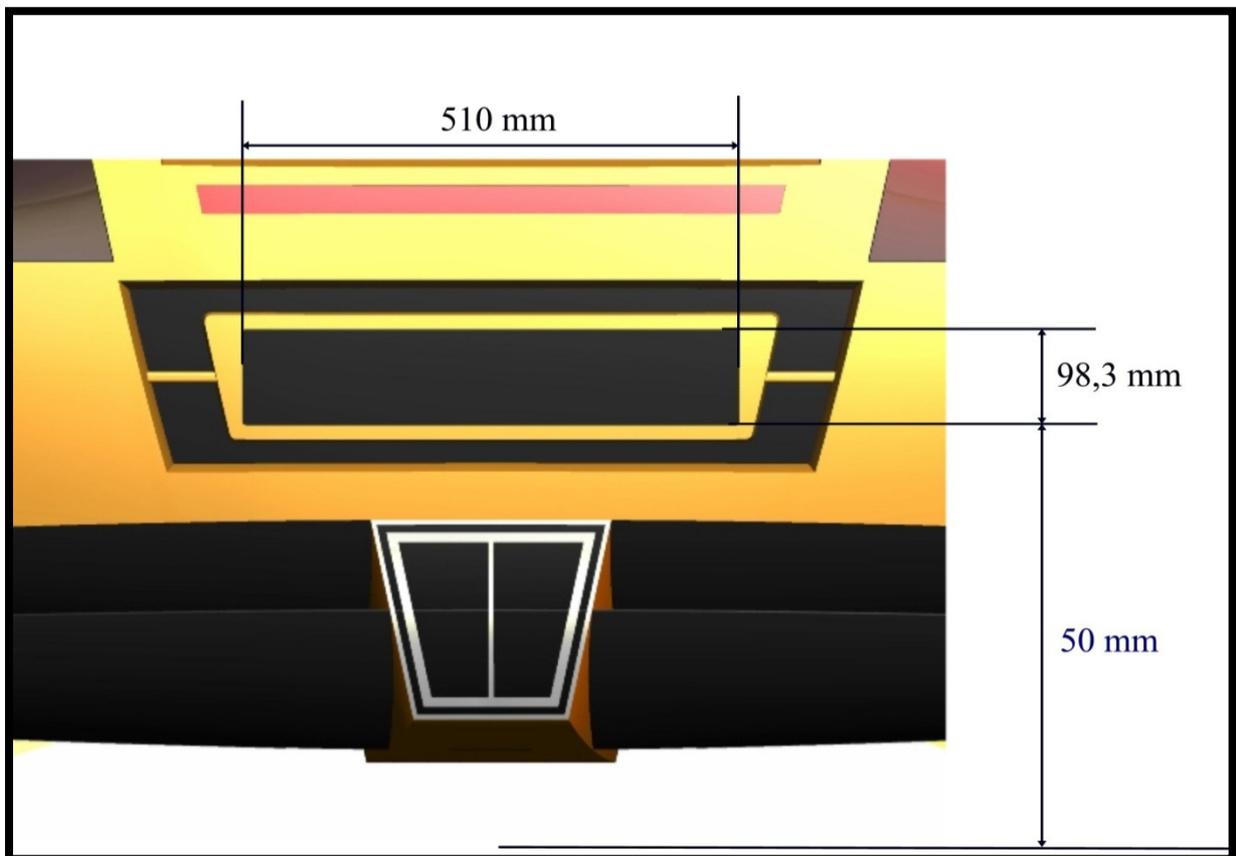


Abbildung 59: Positionierung Kennzeichentafel

Das Nummernschild wird bei geöffneter Heckklappe von innen hinter der Blende befestigt, was einen Diebstahl des Nummernschildes unmöglich macht. Zur Positionierung der Kennzeichenblende wurden sich an die in Kapitel 8.3 erläuterten Bestimmungen orientiert.

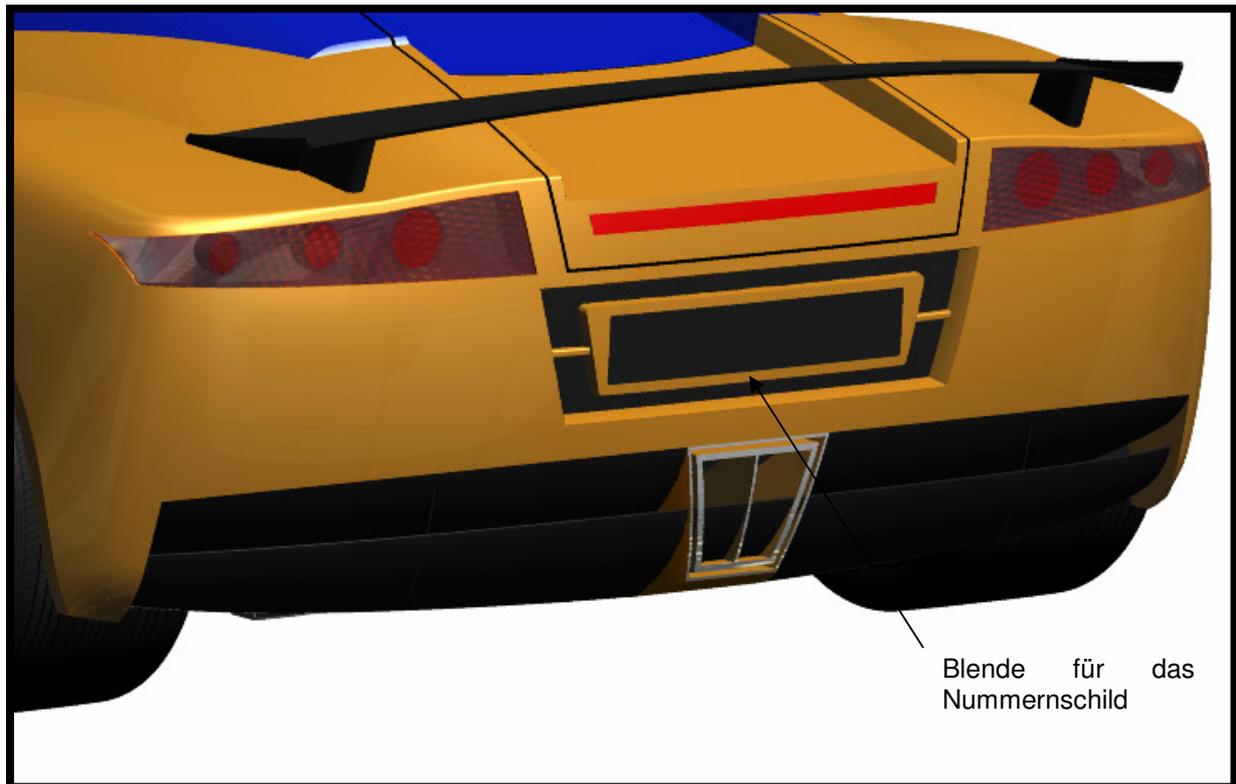


Abbildung 60: Kennzeichenblende

10.7.4 Rückleuchten

Im Vergleich zum RB07 hat sich das Design der Rückleuchten kaum verändert, lediglich im äußeren Bereich wurden sie verlängert (vergl. Abbildung 61).



Abbildung 61: RB07 Rückleuchten

Die Oberfläche der Rückleuchten bestehen aus rot eingefärbten, durchsichtigen Kunststoff mit integrierten Reflektoren. Unter der Oberfläche befinden sich drei Leuchtelemente, aufgeteilt in Brems- und Standlicht, Blinker und Rückfahrlicht. Zwischen den Rückleuchten wurde eine dritte Bremsleuchte integriert.



Abbildung 62: RT09 Rückleuchten

Anordnung der Beleuchtung

Bei der Anordnung der Beleuchtung wurde sich an die Vorgaben der StVZO gehalten (vergl. Anhang B).

10.7.5 Auspuff

Trotz eines Elektroantriebes wurde die Auspuffblende übernommen. Diese Entscheidung hat überwiegend optische Gründe, da die Blende den unteren Bereich des Hecks aufteilt. Diese Teilung ist zur optischen Dynamiksteigerung des Hecks vorgenommen worden. Zusätzlich kann die Auspuffblende genutzt werden, um die Anschlüsse zum Laden der Akkus dahinter zu verstecken (vergl. Abbildung 63).



Abbildung 63: Auspuffblende

10.7.6 Diffusor

Der Diffusor im unteren Bereich des Hecks hat die Aufgabe das Fahrzeug bei hoher Geschwindigkeit zu stabilisieren, indem er für einen Unterdruck im kompletten



Abbildung 64: RB07 Diffusor

Unterbodenbereich des Fahrzeuges sorgt und somit den Anpressdruck des Fahrzeuges auf den Boden erhöht. Zudem ist er auch ein Designelement, welches das sportliche Erscheinungsbild des Fahrzeugs unterstreicht. Im Vergleich zum RB07 (Abbildung 65) wurde der Diffusor beim RT09 (Abbildung 64) breiter gestaltet und mit einer Leitschaukel versehen. Die Wahl einer breiteren Ausführung wird mit der Erscheinung begründet, dass durch diese Ausführung das Fahrzeug weniger hoch und somit breiter wirkt.



Abbildung 65: RT09 Diffusor

10.7.7 Obere Heckkontur

Durch die Umgestaltung des RB07 in einen Targa, wurden im oberen Bereich, beginnend mit der Kopfstütze des Sitzes bis hin zur Heckklappenkante, Änderungen nötig, die das Design stark verändert haben. (Vergl. Abbildungen 66 und 67)

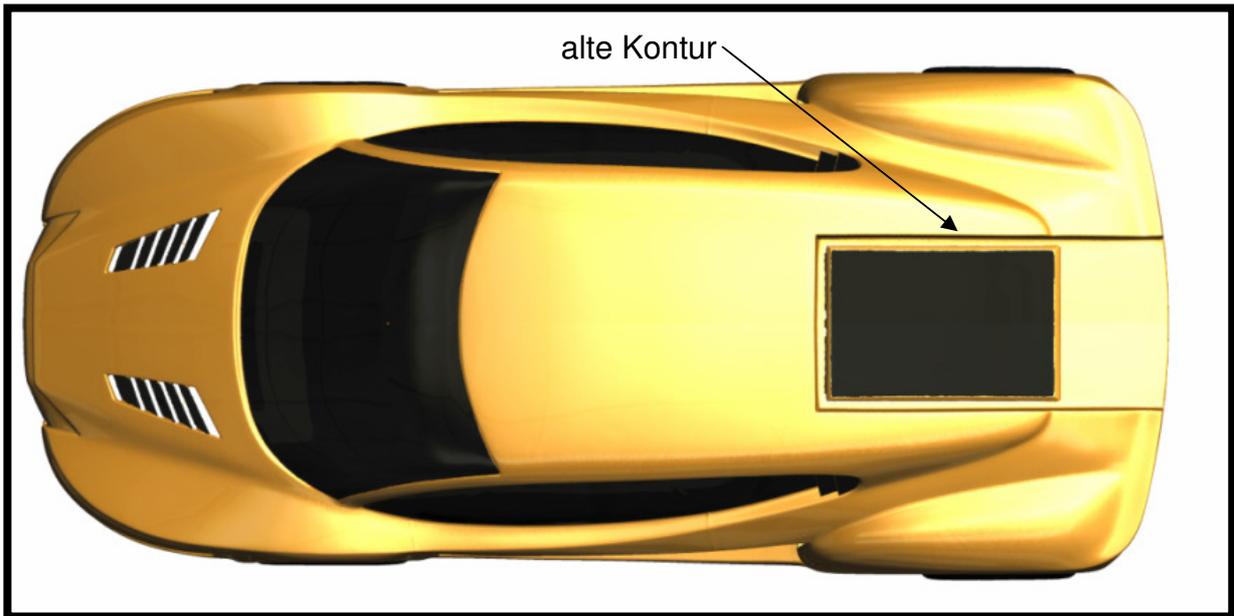


Abbildung 66: Draufsicht RB07 Konturverlauf

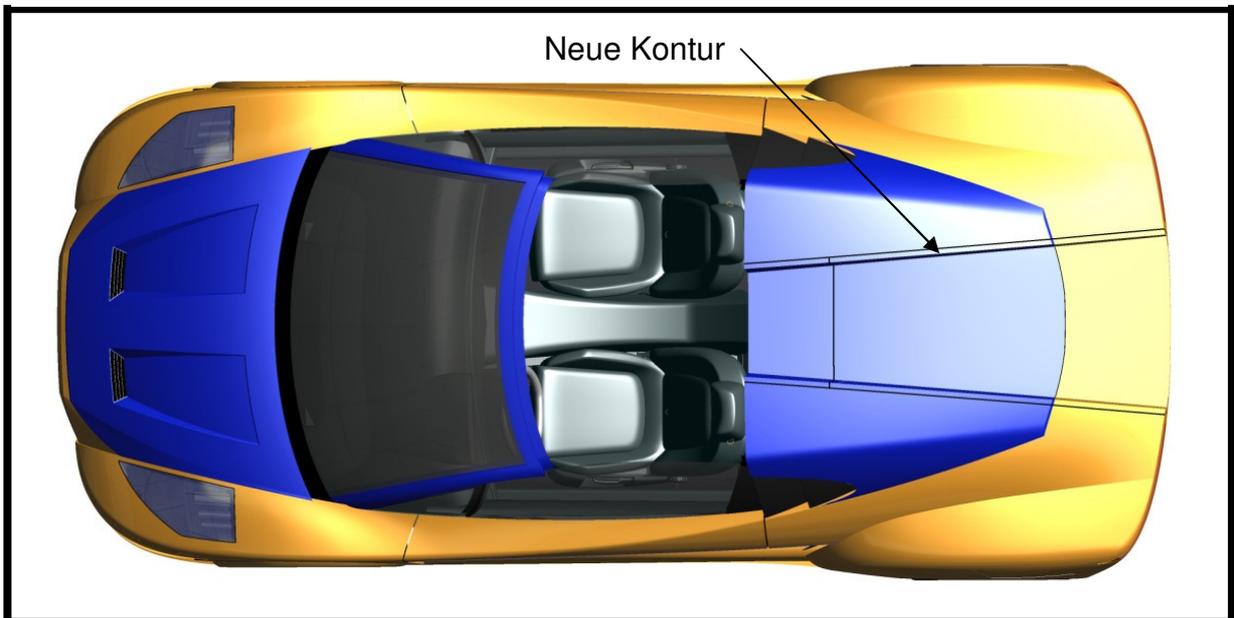


Abbildung 67: Draufsicht RT09 Konturverlauf

Um die Insassen bei einem Überschlag vor Kopfverletzungen zu schützen und ein stimmiges Erscheinungsbild beizubehalten, musste die Kontur hinter den Sitzen stark zusammengezogen werden



Abbildung 68: Höckerkontur Frontansicht

In Abbildung 68 ist zu sehen wie nun die Kontur der Karosserie den Kopf des Fahrers umschließt um ihn bei einem Unfall zu schützen

Der Überrollbügel, der sich unter der Karosserie befindet ist in Abbildung 69 dargestellt. Der Bügel wird mit den oberen Bereichen der Karosserie über geeignete Elemente verbunden, um dort den optimalen Freiraum für den Kopf bei einem Überschlag zu gewährleisten. In dieser Ausführung ist der Überrollbügel noch nicht optimal positioniert. Durch eine leichte Veränderung kann mehr Platz zum Insassenkopf geschaffen werden. Hierzu müsste der Überrollbügel dem genauen Verlauf des Exterieurs folgen.

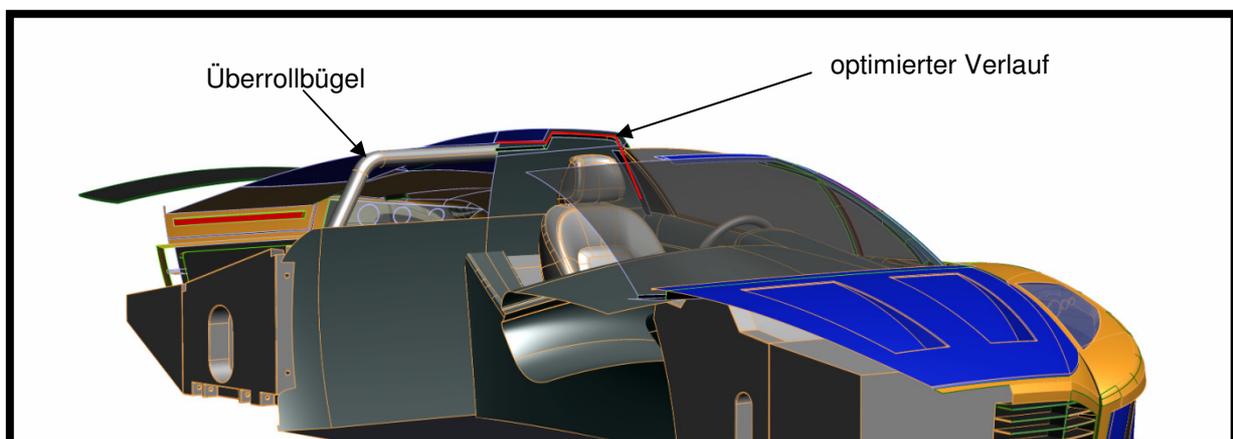


Abbildung 69: Überrollbügel

10.7.8 Spoiler

In den folgenden Abbildungen ist erkennbar, dass die markierte Kontur sehr langgezogen und dadurch nicht sehr dynamisch wirkt. Es entsteht ein Eindruck, als ob Etwas fehlte (vergl. Abbildung 70). Als Verbesserung wurde ein Spoiler hinzugefügt (vergl. Abbildung 71).

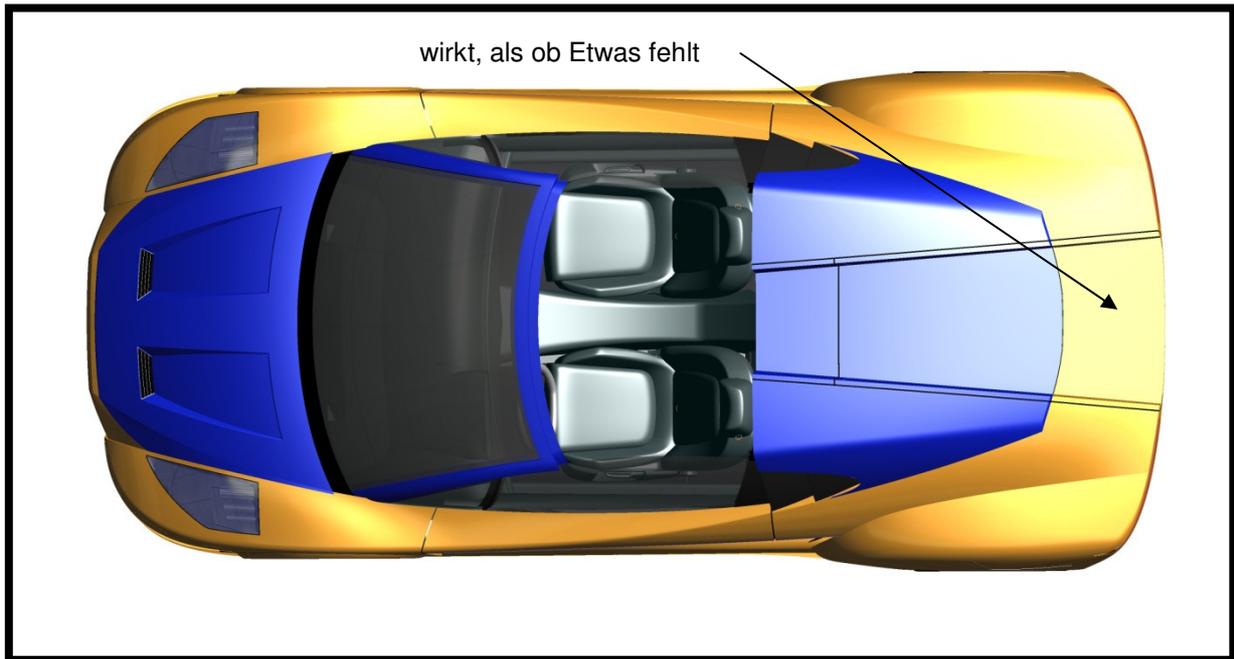


Abbildung 70: Draufsicht RT09 ohne Spoiler

Da es sich bei dem RT09 um einen Sportwagen handelt hat der Heckflügel nicht nur Auswirkungen auf das Design des Fahrzeugs, sondern unterstützt die Fahreigenschaften bei hoher Geschwindigkeit durch einen höheren Anpressdruck im Heckbereich. Die Fahrstabilität und die Sicherheit verbessern sich wesentlich.

Die erste Variante des Spoilers ist durch seine sehr Runde Form nicht optimal an das Fahrzeug angepasst und wirkt dadurch wie ein Fremdkörper (vergl. Abbildung).

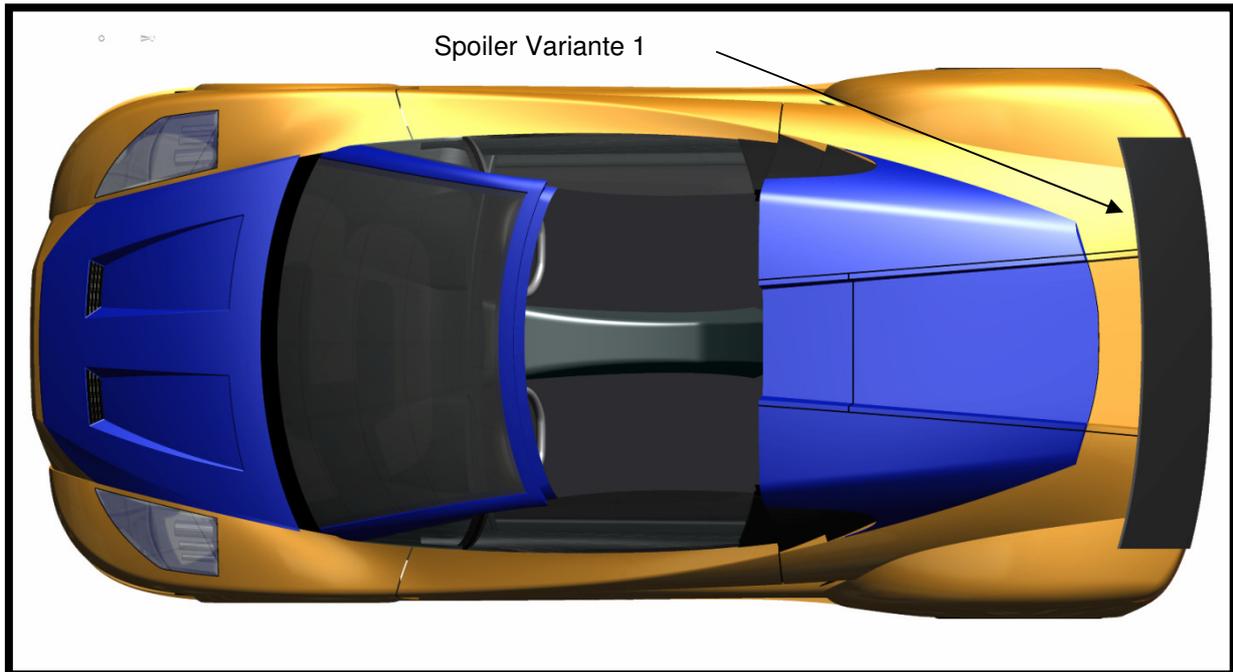


Abbildung 71: RT09 Draufsicht mit Spoiler Variante 1

In einer zweiten Spoilervariante ist der Spoiler, durch seine Querverwandschaft zum auslaufenden Höcker, besser in das Gesamterscheinungsbild des Fahrzeuges integriert.

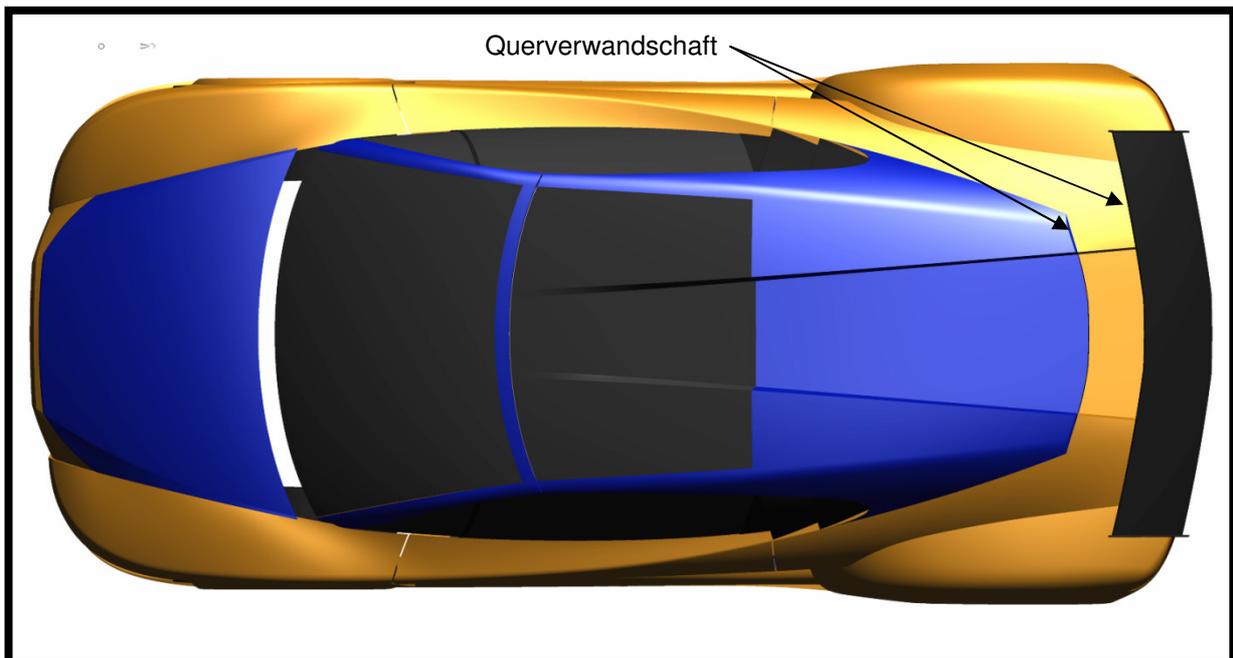


Abbildung 72: RT09 Draufsicht mit Spoiler Variante 2

10.7.9 Heckklappe

Die Heckklappe ermöglicht das Be- und Entladen des Kofferraumes. Eine Öffnungssimulation ist auf den folgenden Bildern dokumentiert.

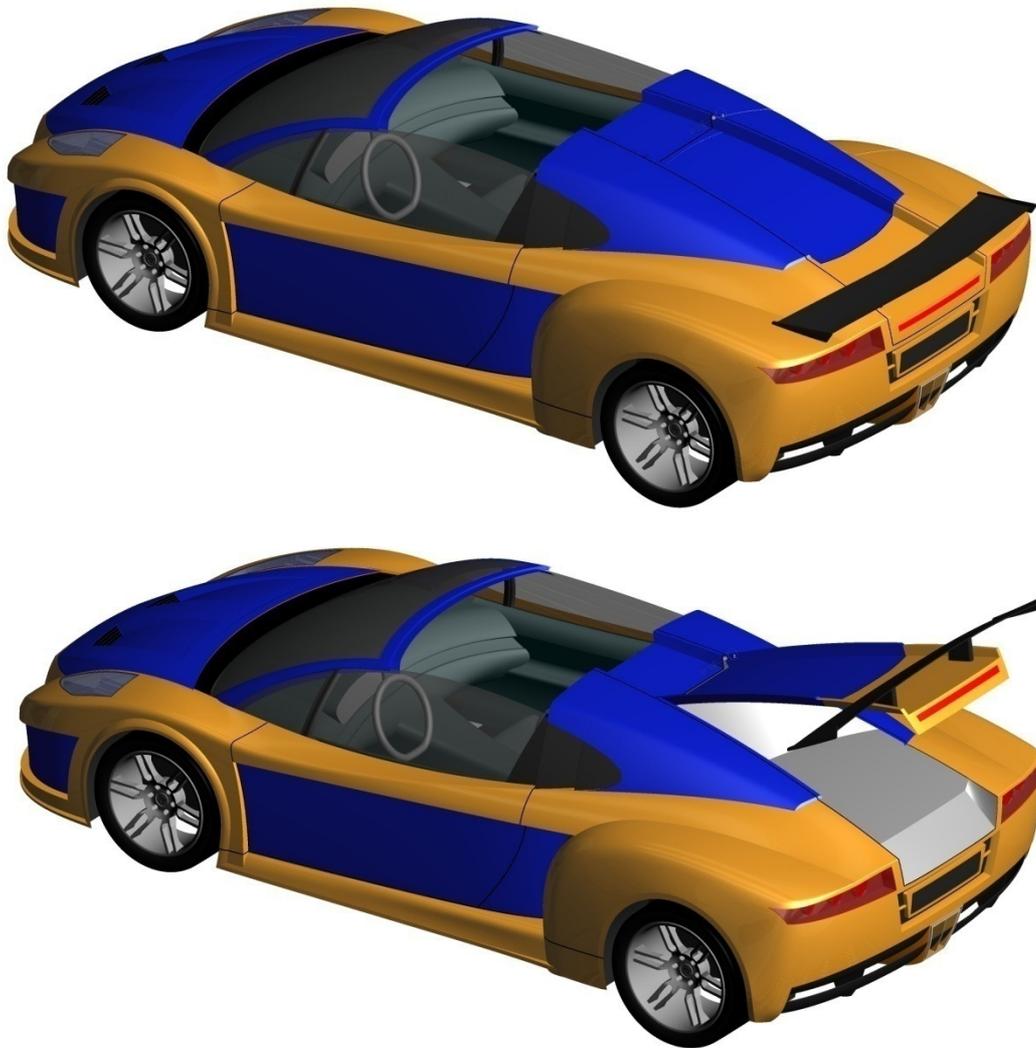
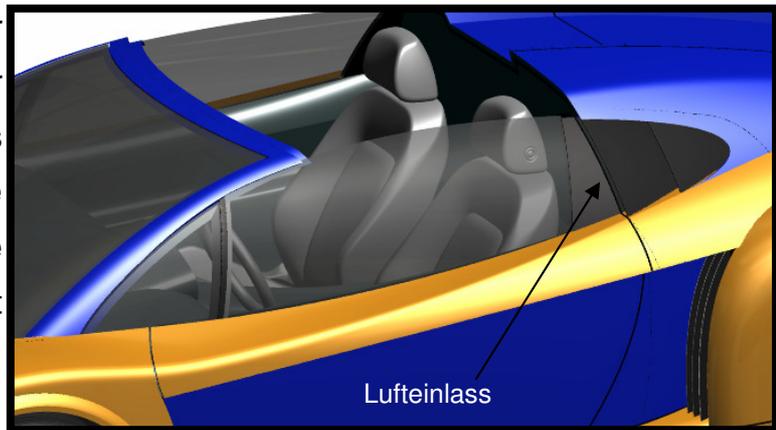


Abbildung 73: Öffnen der Heckklappe

10.7.10 Lufteinlass Heckscheibe

Der Lufteinlass am hinteren Ende der Scheibe, ist ein wichtiges Element zur Kühlung der Akkus die sich hinter der Trennwand zum Motorraum befinden. Der Lufteinlass ist in die Seitenscheibenkontur integriert und dient nicht nur der Kühlung, sondern auch als Designelement. Durch die nach innen einfallende Seitenscheibe kann die Luft optimal durch die zwei



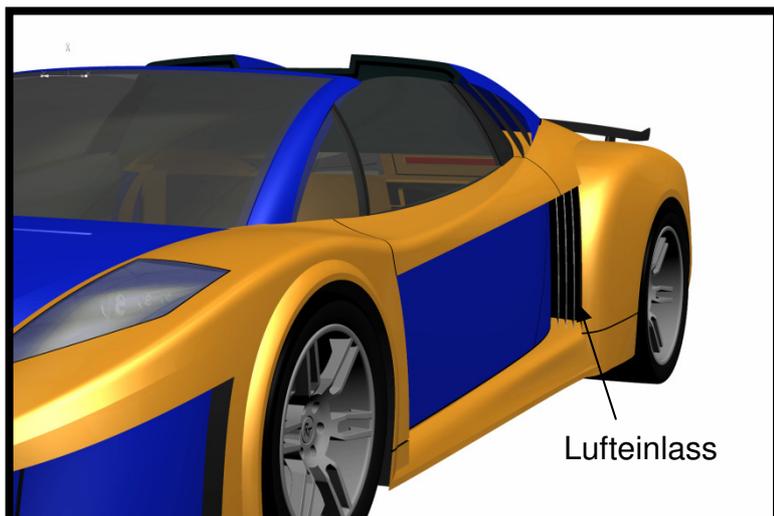
Leitschaufeln in den **Abbildung 74: Lufteinlass Heckscheibe**

Innenraum zu den Akkus geführt werden. Zusätzliche Tests in der Praxis müssen nachweisen, ob eine derartige Kühlung der Akkus bei hoher Belastung erforderlich ist.

10.7.11 Lufteinlass Kotflügel

Der Lufteinlass vor dem hinteren Kotflügel wurde ebenfalls aus dem Designmodell RB07 übernommen, da eine Kühlung der Antriebsaggregate bei hoher Belastung vorgenommen werden sollte.

Die Luft wird durch senkrecht angeordnete Lamellen in den Motorraum zu den Antriebsmotoren und dem Getriebe geleitet. Abgesehen von der Technik ist der Lufteinlass ein geeignetes Designelement, um den sehr wichtig



ausgefallenen Kotflügel **Abbildung 75: Lufteinlass Kotflügel hinten** optisch zu verkleinern.

10.8 Türöffnungskonzept

Für die Problemlösung der Türöffnung wurde ein Benchmark durchgeführt. Einige Systeme haben sich angeboten, letztendlich wurde das System des Koenigsegg CCX gewählt, da es sich für den RT09 eignet.



Abbildung 76: Koenigsegg CCX Rahmen, Türöffnung

Dieses System ist eine Art Flügeltür, bei der die Tür durch einen Zylinder komplett neben das Fahrzeug in Y-Richtung gebracht wird und in Richtung des Vorderwagens um die Zylinderachse gedreht wird (vergl. Abbildung 76). Dadurch, dass die Tür beim schließen gleichmäßig plan auf die Türdichtung gedrückt wird ist ein dichtungsschonendes und optimales Schließen der Tür gewährleistet. In der Ausführung für den RT09 ist die Zylinderachse gegenüber dem Koenigsegg um einige Zentimeter nach oben verlagert. Diese Verlagerung hat den Sinn, dass die Tür beim öffnen nicht mit dem Randstein kollidiert, was zu Lackschäden führen würde.

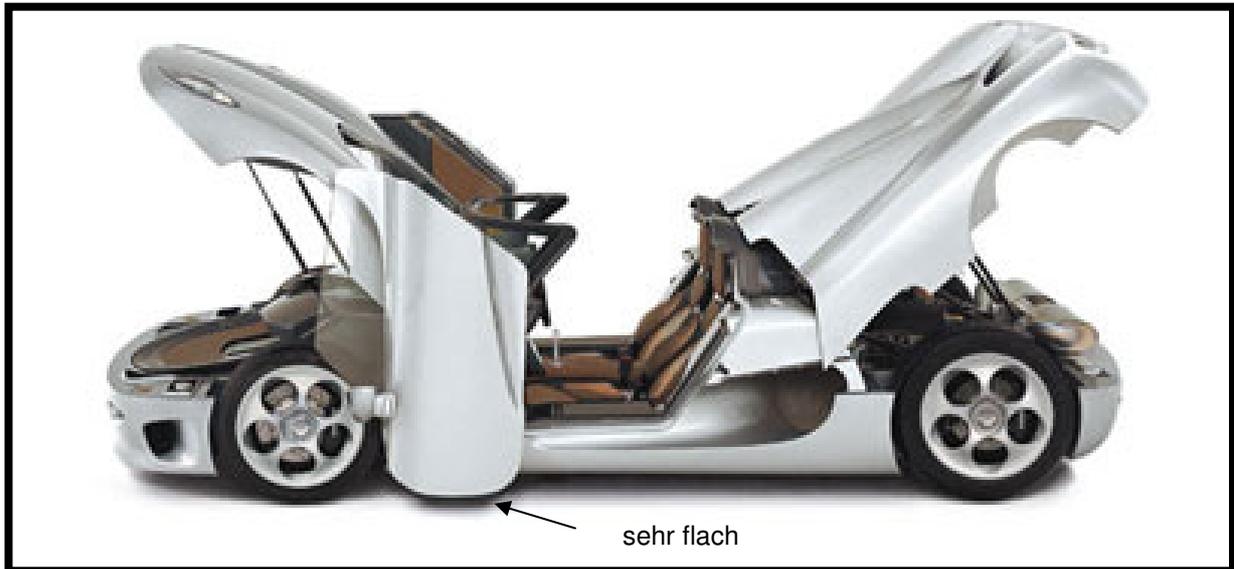


Abbildung 77: Koenigsegg CCX geöffnete Türen

Im Vergleich mit dem Koenigsegg CCX (Abbildung 77) ist zu erkennen, dass die Drehachse wesentlich höher angebracht ist, wodurch die Tür beim Öffnen ausreichend Platz nach unten bietet, um nicht durch eine Kollision mit dem Bordstein beschädigt zu werden. Mit geöffneter Tür erreicht der RT09 eine Höhe von ca. 1800mm, wodurch auch das Öffnen in einem Parkhaus gewährleistet sein sollte. (Vergl. Abbildung 78)

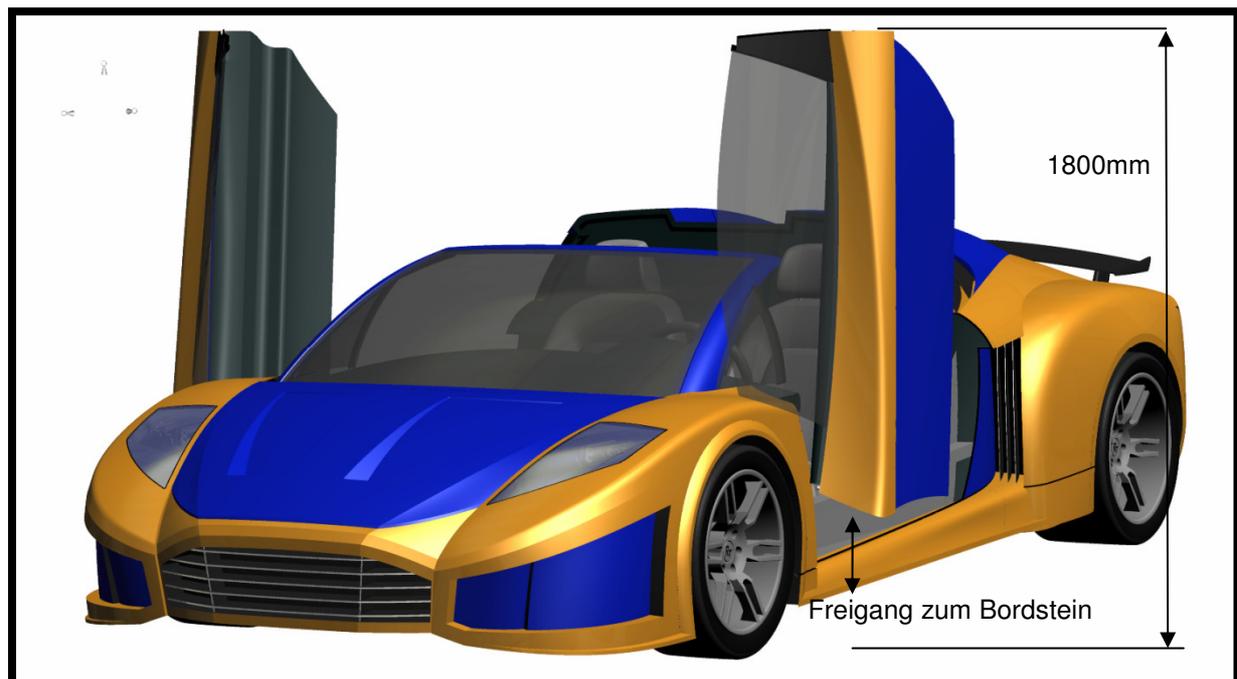


Abbildung 78: RT09 geöffnete Türen

Der Zylinder, an dem die Tür aufgehängt wird, ist in den Fahrzeugrahmen integriert und versteift weiter die Rahmenstruktur des Monocoques. Zusätzlich kann der Zylinder als Befestigungselement der Interieurbauteile, wie Instrumententafel und Mittelkonsole genutzt werden.

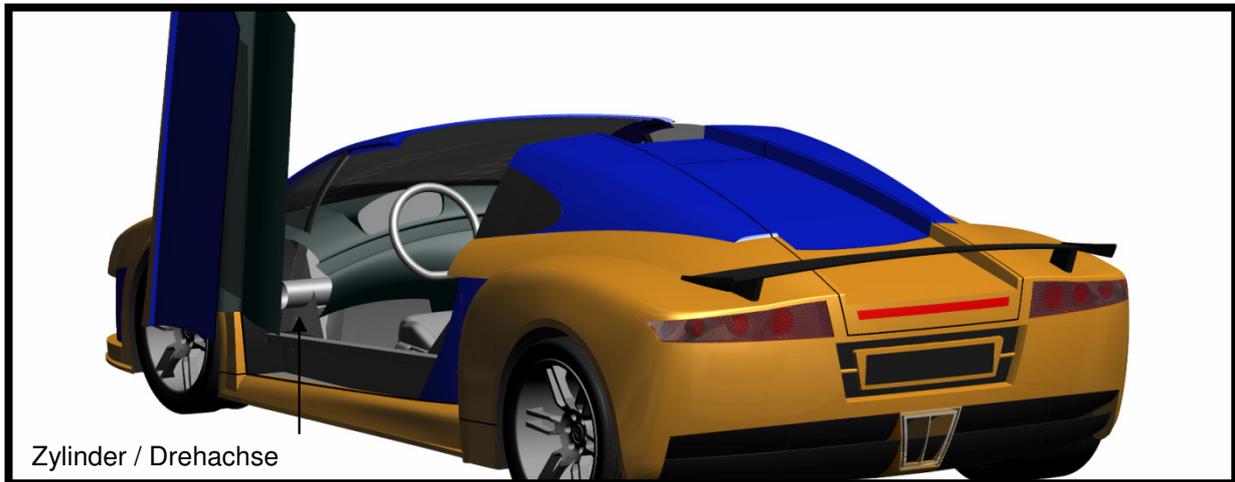


Abbildung 79: RT09 Drehachse Tür

Um das Öffnen der Tür zu ermöglichen, ist es nötig, dass die Seitenscheibe, wie es bei vielen Cabrios oder Fahrzeugen mit Rahmenlosen Türen der Fall ist, vor dem Öffnen ca. 10mm versenkt wird. Durch das Versenken wird die Scheibe an ihrer oberen Kante aus dem Dichtungskanal herausgebracht.

Die Führung der Seitenscheibe ist im hinteren Bereich und im A-Säulenbereich komplett umschließend und im Bereich des Spiegeldreiecks aufliegend ausgelegt. Der Grund für diese Konstruktion ist die angedachte, hohe Geschwindigkeit des Fahrzeuges, die dazu führt, dass enorme Kräfte auf die Scheibe gebracht werden. Bei einer Geschwindigkeit von ungefähr 170 km/h soll die Scheibe automatisch schließen, um ihre Stabilität zu erhöhen.

10.9 Scheibentonne

Die versenkbare Seitenscheibe eines Fahrzeuges wird im Automobilbau als Ausschnitt einer sogenannten Scheibentonne, in Abbildung 80 dargestellt, erstellt.

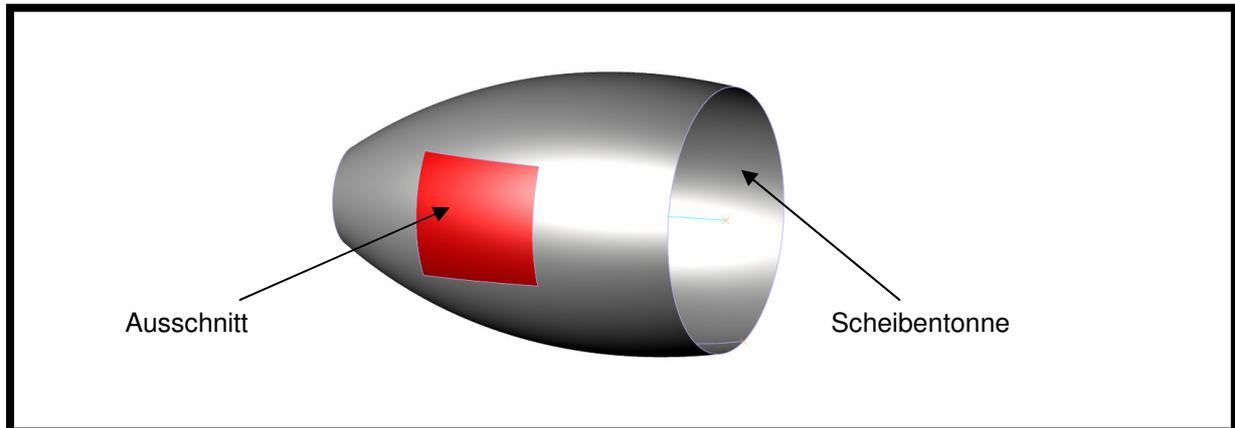


Abbildung 80: Scheibentonne

Die Scheibentonne ist ein sehr sensibles Bauteil, da von ihr das Design des Fahrzeuges, vor allem im seitlichen Bereich stark abhängig ist, denn sie gibt Konturen wie die Brüstungslinie direkt vor. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Scheibentonne in einer sehr frühen Phase der Konstruktion zu erzeugen. Um die Scheibentonne erstellen zu können muss die Abzugsrichtung der Seitenscheibe feststehen, da diese Richtung den Winkel der Scheibentonnenachse zur horizontalen aus der Seitenansicht vorgibt. (vergl. Abbildung 81)

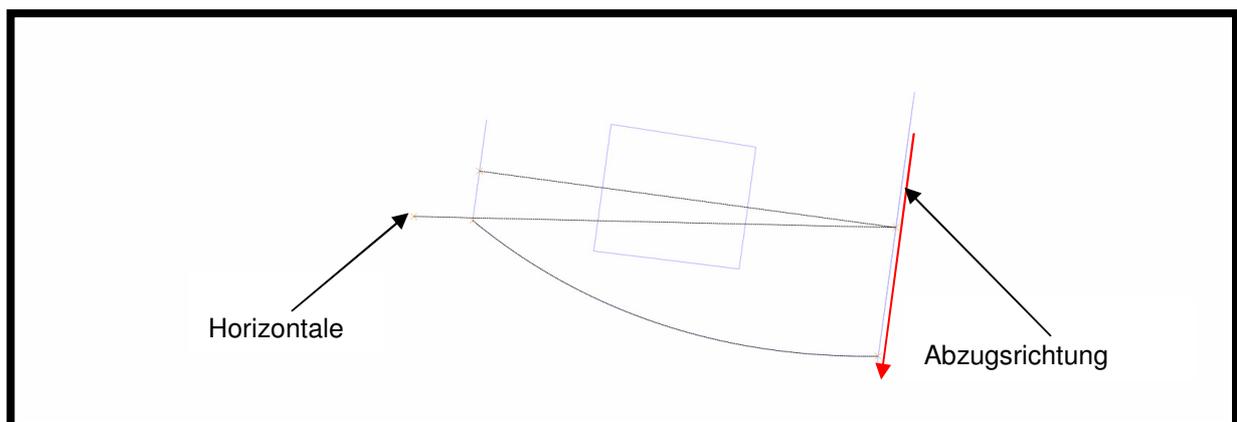


Abbildung 81: Scheibentonne Abzugsrichtung

Während der Erstellung der Scheibentonne muss ständig kontrolliert werden, ob Kollisionen mit anderen Bauteilen stattfinden, wie zum Beispiel mit der Außenfläche der Tür. Hierzu gibt man ein Offset der Scheibentonne an, welches die Materialstärke der Scheibe und Sicherheitsabstände (z.B. von Beweglichen Teilen) beinhaltet. Man führt eine Durchdringungsanalyse zwischen Offset und der Außenfläche-Tür durch.

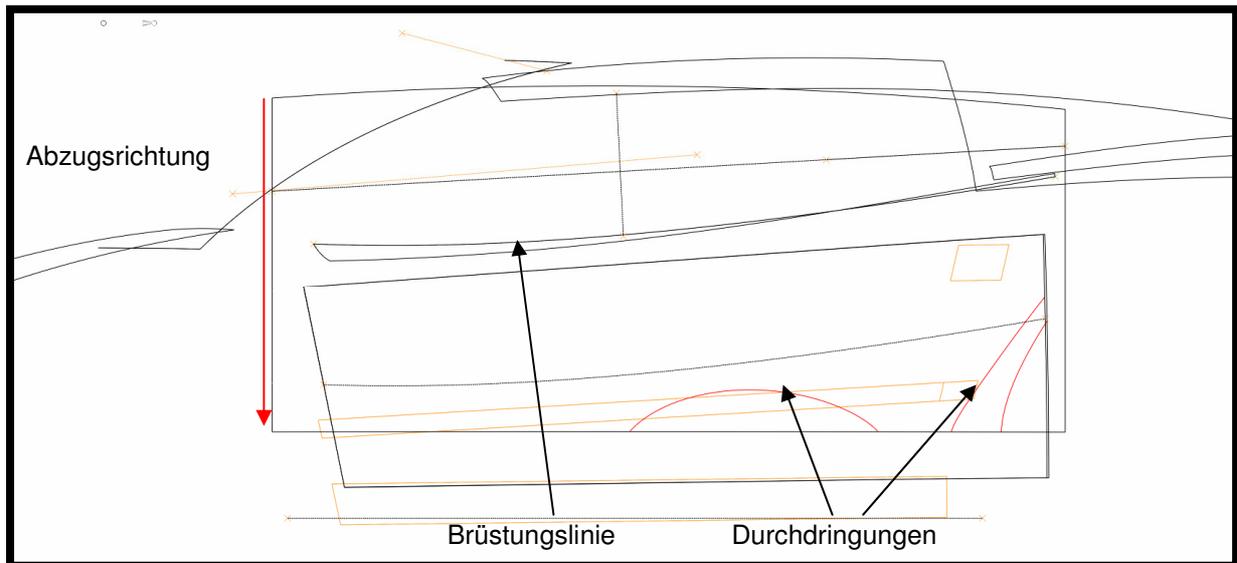


Abbildung 82: Durchdringungsanalyse

Während der Scheibentonnenerstellung sind Kollisionen mit der Außenfläche der Tür aufgetreten, weshalb diese weiter nach außen verlagert werden musste. An diesem Umstand wird die Bedeutung der Scheibentonne für das Design deutlich.

10.10 Dachkonzept

Das Dachkonzept besteht aus einem abnehmbaren Panoramadach. Zur Befestigung wird das Dach hinter den Kopfstützen in den dafür vorgesehenen Dichtkanal eingeführt, im Bereich der A-Säule auf den Dichtungsflansch gedrückt und über geeignete Elemente gesichert. Um das Dach während der Fahrt nicht öffnen zu können, ist ein elektrischer Sicherungsmechanismus vorgesehen, der die Öffnung des Fahrzeugs nur bei Stillstand des Fahrzeugs ermöglicht.

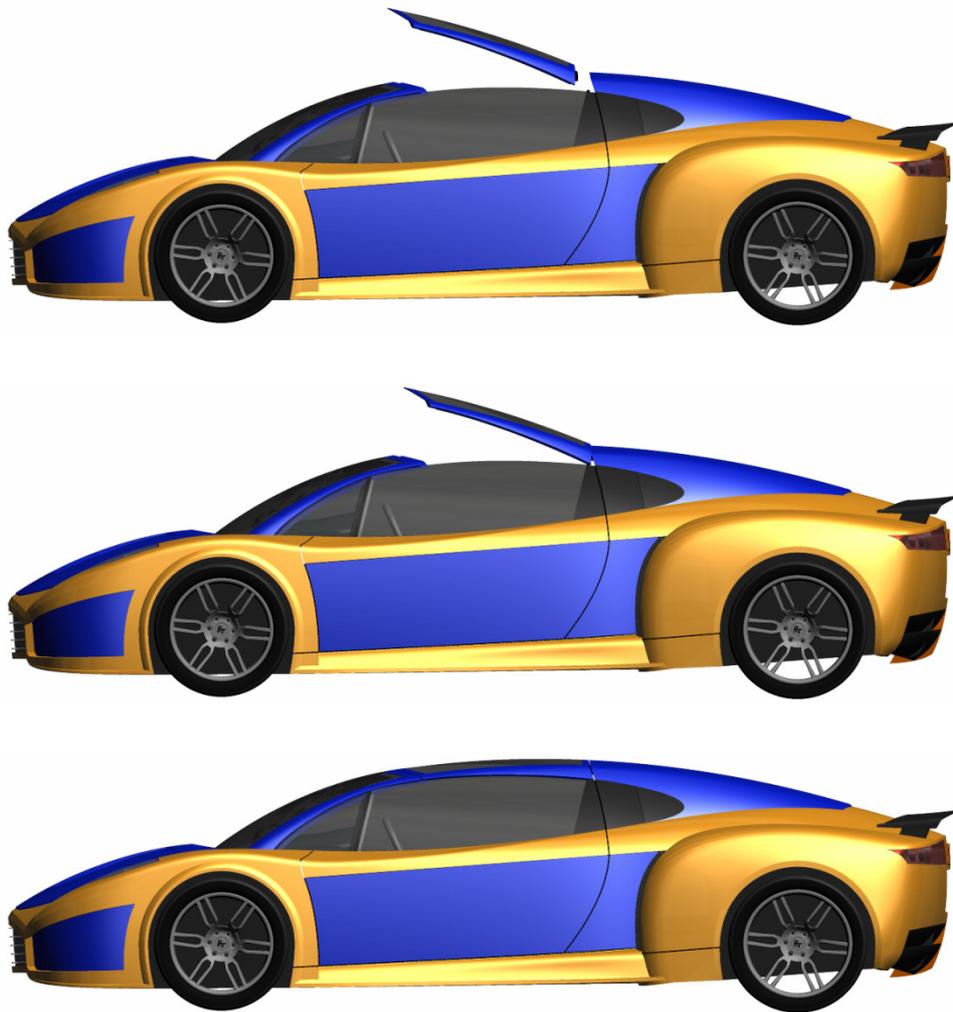


Abbildung 83: Dachverschluss

11 Ergebnis

11.1 RT09

Er zeichnet sich durch eine sehr agile, harmonische und trotzdem elegante Linienführung aus. Dieses Fahrzeug wird sich in seiner Fahrzeugklasse fest etablieren, als mögliche Folgemodelle wären ein viersitziges Coupé oder ein kleiner Stadtfliker denkbar.

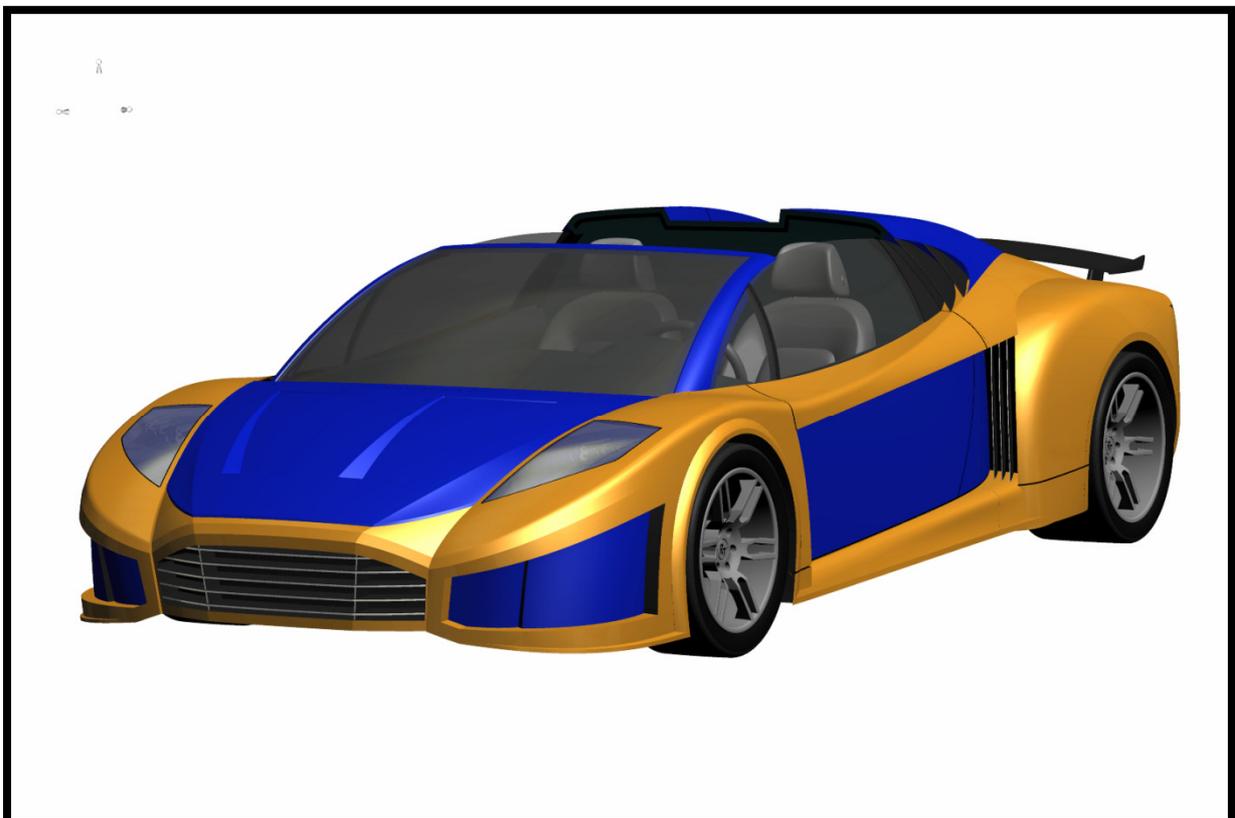


Abbildung 84: RT09

11.2 **Ausblick**

Saubere Energiegewinnung

„Elektroautos sind nur dann umweltfreundlich, wenn sie mit grünem Strom fahren und im Idealfall über die notwendige Technologie verfügen, den Strom auch wieder ans Netz ab zu geben. Diese Technologie könnte die Antriebe unter der Haube tatsächlich revolutionieren.“⁶⁰

Ein Fahrzeug mit Elektromotor der über einen Akku versorgt wird emittiert genauso viel Treibhausgas CO₂ wie ein sparsamer Diesel, da die Abgase bei der Stromgewinnung in den Kraftwerken entstehen. Möchte man mit sauberer Energie fahren muss man sich Gedanken darüber machen, wie der Strom umweltschonender erzeugt wird. An dieser Stelle bieten vor allem Windkraftanlagen, Solaranlagen, sowie Gezeitenkraftwerke eine gute Alternative. Bei dem Betrieb dieser Energiegewinnungsanlagen werden keine Schadstoffe emittiert, allerdings müssen auch diese Anlagen erst einmal erbaut werden, was viel Energie und Rohstoffe kostet. Also kann man auch hier nicht 100%ig von einer klimaneutralen Energiegewinnung sprechen. Wenn man jedoch die Energiegewinnung auf einen längeren Zeitraum rechnet, werden die Emissionen im Verhältnis sehr gering.

Im Jahr 2020 soll jede Dritte Kilowattstunde durch Wind-, Solar, oder Biogasanlagen hergestellt werden, wodurch im Idealfall ein Drittel der Fahrzeuge völlig Abgasfrei fahren könnten.

Allerdings ist es durch konventionelle Kraftwerke nicht möglich so schnell die komplette Versorgung zu gewährleisten sobald kein Wind weht, oder die Sonne nicht scheint. Aus diesem Grund könnte die in den Fahrzeugbatterien gespeicherte Energie dafür sorgen, diese Zeiten zu überbrücken, indem nichtgenutzte Fahrzeuge die Energie zurück ins Versorgungsnetz speisen.

Diese Idee ist auch durchaus umsetzbar, da ein Fahrzeug zu 90% vor der Haustür oder dem Büro steht. Wenn an diesen Stellen Stationen zum Laden bzw. zum

⁶⁰ Zitat www.3sat.de/hitec

Fazit

Unterstützen des Stromnetzes aufgebaut würden könnte die in den Autos gespeicherte Energie genutzt werden, um den Energiebedarf an kritischen Tageszeiten (z.B. Mittags) zu decken. Wenn das Netz wieder auf einem normalen Pegel belastet wird, werden dann die Fahrzeuge geladen. Mit dieser Technologie könnte es möglich sein, beim Aufbau umweltfreundlicher Kraftwerke zu helfen, da die Batterien in den Autos kritische Zeiten überbrücken.

Soll dieser Energietransfer praktisch umsetzbar sein, wird es notwendig, das Strom- und Informationsnetz miteinander zu verbinden, um den Energieaustausch ideal zu koordinieren, sonst stände man bei Nutzung des Fahrzeuges unverhofft mit leerer Batterie da.

Anhang

Anhang A: Theoretische Grundlagen

Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt.

Der Elastizitätsmodul wird mit E-Modul oder als Formelzeichen mit E abgekürzt und hat die Einheit einer mechanischen Spannung.

Der Betrag des Elastizitätsmoduls ist umso größer, je mehr Widerstand ein Material seiner Verformung entgegensetzt. Ein Bauteil aus einem Material mit hohem Elastizitätsmodul (z. B. Stahl) ist also steif, ein Bauteil aus einem Material mit niedrigem Elastizitätsmodul (z. B. Gummi) ist nachgiebig.

Der Elastizitätsmodul ist die Proportionalitätskonstante im Hookeschen Gesetz. Bei kristallinen Materialien ist der Elastizitätsmodul grundsätzlich richtungsabhängig. Sobald ein Werkstoff eine kristallographische Textur hat, ist der Elastizitätsmodul also anisotrop. Bei Materialien mit Orientierungen oder anisotropen Füllstoffen wie Fasern wird meist auch ein richtungsabhängiger Elastizitätsmodul gefunden.

Flächenträgheitsmomente

Das Flächenträgheitsmoment, auch als Flächenmoment 2. Grades bezeichnet, ist ein Maß für die Steifigkeit eines ebenen Querschnitts gegen Biegung.

Das Flächenträgheitsmoment ist nur abhängig von der Geometrie des Querschnittes. Im Gegensatz hierzu gibt der Elastizitätsmodul Aufschluss über Materialeigenschaften.

Außerdem liefert das Flächenträgheitsmoment Aufschluss über die Neigung von Stäben zu knicken oder die Gefahr von Schalen zu beulen. Mit dem Flächenträgheitsmoment ist eine Spannungsverteilung infolge Biegung über einen

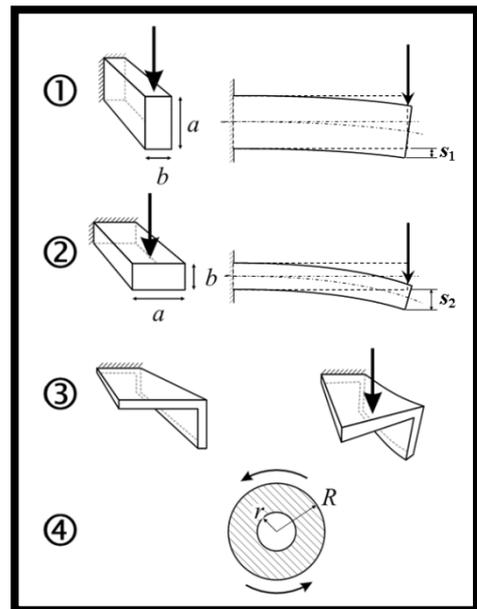
Querschnitt errechenbar. Flächenträgheitsmoment und Elastizitätsmodul sind Konstanten in der Differentialgleichung der Biegelinie, welche das Verformungsverhalten von Balken unter Last beschreibt (bei konstantem Querschnitt).

Arten der Flächenträgheitsmomente

Grundsätzlich gibt es drei Arten Flächenträgheitsmomente:

- Das **axiale** Flächenträgheitsmoment ist ein Maß für den Widerstand eines Querschnitts gegen Biegung - siehe Balken (1) und (2) im Bild.
- Das **biaxiale** Flächenträgheitsmoment, auch als Flächendeviationsmoment, Deviationsmoment, Flächenzentrifugalmoment oder Zentrifugalmoment bezeichnet, ist von Bedeutung bei der Bestimmung der Deformation von unsymmetrischen Profilen und/oder bei unsymmetrischer Belastung beliebiger Profile - siehe Balken (3) im Bild.

Das **polare** Flächenträgheitsmoment ist die Summe aus den axialen Flächenträgheitsmomenten in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen. Oft wird irrtümlicherweise behauptet, das polare Flächenträgheitsmoment sei allgemein ein Maß für



den Widerstand eines Querschnitts gegen Torsion - siehe Balken (4) im Bild. Das gilt aber in Wirklichkeit ausschließlich für Kreisquerschnitte und geschlossene Kreisringquerschnitte. Für alle anderen Fälle ist ein Torsionsträgheitsmoment definiert, für das sich nur in besonderen Fällen eine geschlossene Formel angeben lässt.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Flächenträgheitsmoment> Abruf: Februar 2009

Anhang B: Gesetze

Stvzo Beleuchtung

§ 50 Scheinwerfer für Fern- und Abblendlicht.

(1) Für die Beleuchtung der Fahrbahn darf nur weißes Licht verwendet werden.

(2) Kraftfahrzeuge müssen mit 2 nach vorn wirkenden Scheinwerfern ausgerüstet sein, Krafträder - auch mit Beiwagen - mit einem Scheinwerfer. An mehrspurigen Kraftfahrzeugen, deren Breite 1000 mm nicht übersteigt, sowie an Krankenfahrstühlen und an Fahrzeugen, die die Baumerkmale von Krankenfahrstühlen haben, deren Geschwindigkeit aber 30 km/h übersteigt, genügt ein Scheinwerfer. Bei Kraftfahrzeugen mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 8 km/h genügen Leuchten ohne Scheinwerferwirkung. Für einachsige Zug- oder Arbeitsmaschinen, die von Fußgängern an Holmen geführt werden, gilt § 17 Abs. 5 der Straßenverkehrs-Ordnung. Bei einachsigen Zugmaschinen, hinter denen ein einachsiger Anhänger mitgeführt wird, dürfen die Scheinwerfer statt an der Zugmaschine am Anhänger angebracht sein. Kraftfahrzeuge des Straßendienstes, die von den öffentlichen Verwaltungen oder in deren Auftrag verwendet werden und deren zeitweise vorgebaute Arbeitsgeräte die vorschriftsmäßig angebrachten Scheinwerfer verdecken, dürfen mit 2 zusätzlichen Scheinwerfern für Fern- und Abblendlicht oder zusätzlich mit Scheinwerfern nach Absatz 4 ausgerüstet sein, die höher als 1000 mm (Absatz 3) über der Fahrbahn angebracht sein dürfen; es darf jeweils nur ein Scheinwerferpaar einschaltbar sein. Die höher angebrachten Scheinwerfer dürfen nur dann eingeschaltet werden, wenn die unteren Scheinwerfer verdeckt sind.

(3) Scheinwerfer müssen einstellbar und so befestigt sein, dass sie sich nicht unbeabsichtigt verstellen können. Bei Scheinwerfern für Abblendlicht darf der niedrigste Punkt der Spiegelkante nicht unter 500 mm und der höchste Punkt der leuchtenden Fläche nicht höher als 1200 mm über der Fahrbahn liegen. Satz 2 gilt nicht für

(4) Für das Fernlicht und für das Abblendlicht dürfen besondere Scheinwerfer vorhanden sein; sie dürfen so geschaltet sein, dass bei Fernlicht die Abblendscheinwerfer mitbrennen.

(5) Die Scheinwerfer müssen bei Dunkelheit die Fahrbahn so beleuchten (Fernlicht), dass die Beleuchtungsstärke in einer Entfernung von 100 m in der Längsachse des Fahrzeugs in Höhe der Scheinwerfermitten mindestens beträgt

§ 52a Rückfahrscheinwerfer.

(1) Der Rückfahrscheinwerfer ist eine Leuchte, die die Fahrbahn hinter und gegebenenfalls neben dem Fahrzeug ausleuchtet und anderen Verkehrsteilnehmern anzeigt, dass das Fahrzeug rückwärts fährt oder zu fahren beginnt.

(2) Kraftfahrzeuge müssen hinten mit einem oder zwei Rückfahrscheinwerfern für weißes Licht ausgerüstet sein. An Anhängern sind hinten ein oder zwei Rückfahrscheinwerfer zulässig. Der niedrigste Punkt der leuchtenden Fläche darf nicht weniger als 250 mm und der höchste Punkt der leuchtenden Fläche nicht mehr als 1200 mm über der Fahrbahn liegen.

(5) Rückfahrscheinwerfer müssen, soweit nicht über eine Bauartgenehmigung eine andere Ausrichtung vorgeschrieben ist, so geneigt sein, dass sie die Fahrbahn auf nicht mehr als 10 m hinter der Leuchte beleuchten.

§ 53 Schlussleuchten, Bremsleuchten, Rückstrahler.

(1) Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger müssen hinten mit zwei ausreichend wirkenden Schlussleuchten für rotes Licht ausgerüstet sein. Kraffräder ohne Beiwagen brauchen nur eine Schlussleuchte zu haben. Der niedrigste Punkt der leuchtenden Fläche der Schlussleuchten darf nicht tiefer als 350 mm, bei Kraffrädern nicht tiefer als 250 mm, und der höchste Punkt der leuchtenden Fläche nicht höher als 1500 mm, bei Arbeitsmaschinen und Staplern und land- oder forstwirtschaftlichen Zugmaschinen nicht höher als 1900 mm über der Fahrbahn liegen. Wenn die Form des Aufbaus die Einhaltung dieser Maße nicht zulässt, darf der höchste Punkt der leuchtenden Fläche nicht höher als 2100 mm über der Fahrbahn liegen. Die Schlussleuchten müssen möglichst weit voneinander angebracht, der äußerste Punkt der leuchtenden Fläche darf nicht mehr als 400 mm von der breitesten Stelle des Fahrzeugumrisses entfernt sein. Mehrspurige Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger dürfen mit zwei zusätzlichen Schlussleuchten ausgerüstet sein. Vorgeschriebene Schlussleuchten dürfen an einer gemeinsamen Sicherung nicht angeschlossen sein.

§ 54 Fahrtrichtungsanzeiger.

(1) Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger müssen mit Fahrtrichtungsanzeigern ausgerüstet sein. Die Fahrtrichtungsanzeiger müssen nach dem Einschalten mit einer Frequenz von $1,5 \text{ Hz} \pm 0,5 \text{ Hz}$ (90 Impulse \pm 30 Impulse in der Minute) zwischen hell und dunkel sowie auf derselben Fahrzeugseite - ausgenommen an Kraffrädern mit Wechselstromlichtanlage - in gleicher Phase blinken. Sie müssen so angebracht und beschaffen sein, dass die Anzeige der beabsichtigten Richtungsänderung unter allen Beleuchtungs- und Betriebsverhältnissen von anderen Verkehrsteilnehmern, für die ihre Erkennbarkeit von Bedeutung ist, deutlich wahrgenommen werden kann. Fahrtrichtungsanzeiger brauchen ihre Funktion nicht zu erfüllen, solange sie Warnblinklicht abstrahlen.

(1 a) Die nach hinten wirkenden Fahrtrichtungsanzeiger dürfen nicht an beweglichen Fahrzeugteilen angebracht werden. Die nach vorn wirkenden Fahrtrichtungsanzeiger und die zusätzlichen seitlichen Fahrtrichtungsanzeiger dürfen an beweglichen Fahrzeugteilen angebaut sein, wenn diese Teile nur eine Normallage (Betriebsstellung) haben. Die Sätze 1 und 2 gelten nicht für Fahrtrichtungsanzeiger, die nach § 49 a Abs. 9 und 10 abnehmbar sein dürfen.

(2) Sind Fahrtrichtungsanzeiger nicht im Blickfeld des Führers angebracht, so muss ihre Wirksamkeit dem Führer sinnfällig angezeigt werden; dies gilt nicht für Fahrtrichtungsanzeiger an Kraffrädern und für seitliche Zusatzblinkleuchten. Fahrtrichtungsanzeiger dürfen die Sicht des Fahrzeugführers nicht behindern.

(3) Als Fahrtrichtungsanzeiger sind nur Blinkleuchten für gelbes Licht zulässig.

(4) Erforderlich als Fahrtrichtungsanzeiger sind

§ 56 Spiegel und andere Einrichtungen für indirekte Sicht.

(1) Kraftfahrzeuge müssen nach Maßgabe der Absätze 2 bis 3 Spiegel oder andere Einrichtungen für indirekte Sicht haben, die so beschaffen und angebracht sind, dass der Fahrzeugführer nach rückwärts, zur Seite und unmittelbar vor dem Fahrzeug – auch beim Mitführen von Anhängern – alle für ihn wesentlichen Verkehrsvorgänge beobachten kann.



Anhang C

Der Anhang C ist ein Package- und Auslegungsplan im A0+ Format, er ist der Diplomarbeit in loser Form beigelegt

Literaturverzeichnis

Verzeichnis der Bilder

Abbildung	Bildtitel	Quelle	Seite
Abbildung 1	Designmodell RB07 Frontansicht	Eigenes Foto, Rüdiger Böge	5
Abbildung 2	Designmodell RB07 Heckansicht	Eigenes Foto, Rüdiger Böge	5
Abbildung 3	Variante RB07 Targa Frontansicht	Eigene Skizze, Tjark Miles	6
Abbildung 4	Variante RB07 Targa Frontansicht, Ausschnitt	Eigene Skizze, Tjark Miles	7
Abbildung 5	Variante RB07 Targa Heckansicht	Eigene Skizze, Tjark Miles	8
Abbildung 6	Variante RB07 SUV Frontansicht	Eigene Skizze, Tjark Miles	9
Abbildung 7	Variante RB07 SUV Frontansicht, Ausschnitt	Eigene Skizze, Tjark Miles	10

Abbildung 8	Audi R8 Diesel	http://upload.tuner-area.at/in909847.jpg Abruf: Februar 2009	12
Abbildung 9	Tesla Roadster	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:TeslaRoadster-front.jpg Abruf: Februar 2009	12
Abbildung 10	Lightning GT	http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Lightning_GT_side.jpg Abruf: Februar 2009	14
Abbildung 12	Honda FC Sport	http://bilder.autobild.de/ir_img/60957854_ff71c64eee.jpg Abruf: Februar 2009	15
Abbildung 12	Fisker Karma	http://www.theautochannel.com/news/2008/12/02/275505.1-lg.jpg Abruf: Februar 2009	16
Abbildung 13	Elektromotor Tesla Roadster	http://www.autotrader.co.uk/EDITORIAL/CARS/FEATURES/WHEELSONTHAT/33845.html Abruf: Februar 2009	18
Abbildung 14	Radnabenmotor	http://www.hybrid-autos.info/Bilder/Honda/Radnabenantrieb-Honda-FCX-Concept-2005-gross.jpg Abruf: Februar 2009	19
Abbildung 15	Radnabenmotor von Michelin	http://www.dasautoblog.com/2008/10/heuliez-baut-au.html Abruf: Februar 2009	20
Abbildung 16	Selbsttragende Karosserie	http://www.autobild.de/ir_img/59206283_dee90d706e.jpg Abruf: Februar 2009	32
Abbildung 17	Gitterrohr- rahmen	http://www.gumpert.de/index_html.html Abruf: Februar 2009	33

Abbildung 18	Audi Zero Rahmen	http://www.diseno-art.com/images/audi-r-zero-cutaway.jpg Abruf: Februar 2009	34
Abbildung 19	Wiesmann GT Rahmen	http://www.pistonheads.com Abruf: Januar 2009	34
Abbildung 20	Lotus Elise Rahmen	http://www.carpassion.com/de/forum/autovergleiche/21204-carbon-monocoque-vs-alu-spaceframe-vs-stahl-gitterrohrrahmen.html Abruf: Februar 2009	35
Abbildung 21	Kenigsegg CCX Rahmen	http://img339.imageshack.us/img339/3416/ccxtechchassiszw7.jpg Abruf: Februar 2009	35
Abbildung 22	Catiarahmen	Eigener Screenshot	36
Abbildung 23	Catiarahmen mit Rohdatengitter	Eigener Screenshot	37
Abbildung 24	Catiarahmen einfache Radeindrehung	Eigener Screenshot	38
Abbildung 25	Catiarahmen Radeindrehung	Eigener Screenshot	39
Abbildung 26	Aluminiumsandwich	http://www.architonic.com/imgAbt/THERMOPAL/thermopal_platte.jpg Abruf: Februar 2009	40
Abbildung 27	Schwellerschnitt	http://www.typ3-konny.de/Bilder/Jpg-Bilder/schwellerschnitt_farbe.jpg Abruf: Februar 2009	40
Abbildung 28	Catiarahmen Querträger	Eigener Screenshot	41

Abbildung 29	Catiarahmen Tunnel	Eigener Screenshot	42
Abbildung 30	Catiarahmen Frästeil vorn	Eigener Screenshot	43
Abbildung 31	Catiarahmen Frästeil hinten	Eigener Screenshot	44
Abbildung 32	Catiarahmen Package	Eigener Screenshot	45
Abbildung 33	Böschungswinkel Audi R8	www.audi.de	54
Abbildung 34	Böschungswinkel Porsche GT	http://car-blueprints.narod.ru/images/porsche/porsche-carrera-gt.gif Abruf: Januar 2009	54
Abbildung 35	Böschungswinkel RT09	Eigener Screenshot	55
Abbildung 36	Tangente 30°	Eigener Screenshot	56
Abbildung 37	Offsetfläche 20mm	Eigener Screenshot	57
Abbildung 38	Kontrolle der Sicherheitsradien	Eigener Screenshot	58
Abbildung 39	Theorieflächen	Eigener Screenshot	60
Abbildung 40	Polygonbild	Eigener Screenshot	61
Abbildung 41	Highlights	Eigener Screenshot	62
Abbildung 42	Claymodell	http://www.beuttenmueller.com/modellbau.html Abruf: Februar 2009	64

Abbildung 43	Scan RB07	Eigener Screenshot	65
Abbildung 44	Vergleich Scan	Eigener Screenshot	66
Abbildung 45	Felge RT09	Eigene Skizze, Tjark Miles	67
Abbildung 46	4 Punkte Patch	Eigener Screenshot	68
Abbildung 47	Y0-Symmetrie	Eigener Screenshot	69
Abbildung 48	Symmetrie	Eigener Screenshot	69
Abbildung 49	Kotflügel vorne zu klein	Eigener Screenshot	70
Abbildung 50	Kotflügel vorne angepasst	Eigener Screenshot	70
Abbildung 51	Schlafaugen	Eigener Screenshot	71
Abbildung 52	Klarglas- scheinwerfer	Eigener Screenshot	72
Abbildung 53	Öffnen der Fronthaube	Eigener Screenshot	73
Abbildung 54	Ferrari Zagato	http://www.design-cars.comcomponentscom_productbooking_picturesmed_2006-Zagato-Ferrari-575-GTZ-S.jpg Abruf: Februar 2009	74
Abbildung 55	RB07 Kotflügel hinten	Eigener Screenshot	74

Abbildung 56	Trennfuge zur optischen Verkleinerung	Eigener Screenshot	75
Abbildung 57	RT09 Entlüftung	Eigener Screenshot	76
Abbildung 58	RB07 Entlüftungen hinten	Eigenes Foto, Rüdiger Böge	76
Abbildung 59	Positionierung Kennzeichen-tafel	Eigener Screenshot	77
Abbildung 60	Kennzeichenblende	Eigener Screenshot	78
Abbildung 61	RB07 Rückleuchten	Eigenes Foto, Rüdiger Böge	79
Abbildung 62	RT09 Rückleuchten	Eigener Screenshot	79
Abbildung 63	Auspuffblende	Eigener Screenshot	80
Abbildung 64	RT09 Diffusor	Eigenes Foto, Rüdiger Böge	81
Abbildung 65	RB07 Diffusor	Eigener Screenshot	81
Abbildung 66	Draufsicht RB07 Konturverlauf	Eigener Screenshot	82
Abbildung 67	Draufsicht RT09 Konturverlauf	Eigener Screenshot	83
Abbildung 68	Höckerkontur Frontansicht	Eigener Screenshot	83

Abbildung 69	Überrollbügel	Eigener Screenshot	83
Abbildung 70	Draufsicht RT09 ohne Spoiler	Eigener Screenshot	84
Abbildung 71	RT09 Draufsicht mit Spoiler Variante 2	Eigener Screenshot	85
Abbildung 72	RT09 Draufsicht mit Spoiler Variante 1	Eigener Screenshot	85
Abbildung 73	Öffnen der Heckklappe	Eigener Screenshot	86
Abbildung 74	Lufteinlass Heckscheibe	Eigener Screenshot	87
Abbildung 75	Lufteinlass Kotflügel hinten	Eigener Screenshot	87
Abbildung 76	Koenigsegg CCX Rahmen, Türöffnung	http://www.0-60mag.com/online/wp-content/uploads/2008/08/koenigsegg-shell.jpg Abruf: Februar 2009	88
Abbildung 77	Koenigsegg CCX geöffnete Türen	http://www.gamereplays.org/community/index.php?act=Print&client=printer&f=1937&t=276197 Abruf: 2009	89
Abbildung 78	RT09 geöffnete Türen	Eigener Screenshot	89

Abbildung 79	RT09 Drehachse Tür	Eigener Screenshot	90
Abbildung 80	Scheibentonne	Eigener Screenshot	91
Abbildung 81	Scheibentonne Abzugsrichtung	Eigener Screenshot	91
Abbildung 82	Durchdringung- analyse	Eigener Screenshot	92
Abbildung 83	Dachverschluss	Eigener Screenshot	93
Abbildung 84	RT09	Eigener Screenshot	94

Internetseiten

1 Audi AG:

www.audi.de/de/brand/de/erlebniswelt/design___technologie/design-studien/audi_r8_v12_tdi_concept.html

2 Tesla Motors

<http://www.teslamotors.com/>

3 Lightning Car Company

<http://www.lightningcarcompany.co.uk/>

4 Autobild

http://bilder.autobild.de/ir_img/60957854_ff71c64eee.jpg

5 Fisker Automotive

<http://karma.fiskerautomotive.com/>

6 3sat

<http://www.3sat.de/hitec/>

7 Induktionsmotor

http://de.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster

8 Radnabenmotor

<http://193.196.117.25/Studien-WS07/E-Kart/standdertechnik.html>

Wikipedia

9 Energiedichte

<http://de.wikipedia.org/wiki/Energiedichte>

10 Lithium- Ionen- Akku

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akku>

11 Lithium- Polymer- Akku

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Polymer-Akku>

12 Lithium- Titanat- Akku

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Titanat-Akku>

13 Aluminium: Oxidschicht

<http://de.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

14 selbsttragende Karosserie

<http://de.wikipedia.org/wiki/Karosserie>