



ONYX composites GmbH

**Konzeptstudie „Phase 1“ der Entwicklung eines  
ultraleichten E-Mobils für den urbanen Einsatz**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem Az 30693 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing.(FH) Nicolas Meyer & Dipl.-Ing.(FH) Oliver Preuß

Osnabrück der 15.05.2014

## 1 Projektkennblatt

der

## Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az 30693

Referat **14**

Fördersumme

**54.500€****Antragstitel** Entwicklung eines ultraleichten E-Mobils für den urbanen Einsatz**Stichworte** E-Mobil, Leichtbau, Faserverbund, Nachwachsende Rohstoffe, Akku to go

Laufzeit

**12 Monate**

Projektbeginn

**06.12.2012**

Projektende

**06.12.2013**

Projektphase(n)

**1**

Zwischenberichte

Verwendungsnachweis  
vom 22.05.2013**Bewilligungsempfänger** ONYX composites GmbH  
Sedanstr. 61  
49076 Osnabrück

Tel 0541-58051528

Fax 0321-21290923

Projektleitung

Nicolas Meyer

Bearbeiter

Nicolas Meyer &amp; Oliver Preuß

**Kooperationspartner****Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

Über den Leichtbau mittels Faserverbundwerkstoffen in Kombination mit Bauteilen aus dem s.g. Pedelec-Umfeld soll ein Ultraleichtmobil für den urbanen Lebensraum entwickelt werden.

Folgende übergeordnete Projektziele werden hierbei verfolgt:

- Ressourcen- und Energieeffizienz in der Herstellung sowie im Betrieb des Elektrofahrzeuges durch konsequenten Leichtbau mit Faserverbundwerkstoffen (speziell nachwachsenden Rohstoffen).
- Deutliche Emissionseinsparungen (CO<sub>2</sub>, Stickoxide, Rußpartikel & Lärm) im urbanen Lebensraum.
- Gesundheitsförderung durch die flexible Einbindung körperlicher Aktivität im mobilen Alltag auch bei längeren Strecken und schlechtem Wetter durch die Integration eines Hybridantriebes
- Aufzeigen von Möglichkeiten zur Etablierung der geforderten 1 Million E-Fahrzeuge in Deutschland bis 2020 durch die Entwicklung eines Mobilitätsbindegliedes.

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

- Die Arbeitsschritte zur Ausarbeitung des neuen Mobilitätskonzeptes für urbane Lebensräume umfassen: Recherchen sowie Markt- & Wettbewerbsstudie, SWOT-Analyse,
- die Zieldefinition auf Basis der übergeordneten Kriterien: Umweltrelevanz, Marktrelevanz, Wirtschaftliches Potential,
- der Konzeptentwurf, der konstruktive Entwurf,
- sowie die Umsetzung des Konzeptes in einen fahrbaren Prototypens für Testfahrten.

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Die im Projektplan kommunizierten Vorhabensziele wurden größtenteils erreicht und anschaulich sowie nachvollziehbar durch die Formulierung und Überprüfung von bewertbaren Zielparametern dokumentiert.

Der übergeordnete Zielparameter hinsichtlich der Umweltentlastung ist der formulierte „Nutzlastfaktor von 1,5 (Verhältnis Nutzlast zu Eigengewicht eines Fahrzeuges), welcher durch das Potential des Leichtbaus mit Faserverbundwerkstoffen nahezu auf den Punkt erreicht und anhand der Fahrttests nachgewiesen werden konnte.

In vielen Diskussionen zum Fahrzeugkonzept ist klar geworden, dass eine Marktdurchdringung nur durch das Verändern oder Anpassen von heutigen Mobilitätsgewohnheiten erreicht werden kann.

Somit ist es notwendig dem zukünftigen Kunden und jetzigen Klein-PKW-Nutzer das hier entwickelte Fahrzeugkonzept „ONYX E-Mobil“ in seinem Lebensraum, oder anhand von Leuchtturmprojekten z.B. mit sozialen Vorbildern (Sportler, Schauspieler und evtl. Politikern), in Funktion zu demonstrieren.

### ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

In der Außenkommunikation durch z.B. Zeitungsartikel, Vorträge, elektronische Kommunikation auf unserer Homepage, Youtube etc. und speziell bei der Vorstellung des Projektes auf der Hannover Messe 2014 konnte ein Bedarf sowie eine Akzeptanz der Produktidee nachgewiesen werden.

### ***Fazit***

Um die ersten positiven Signale aus der Öffentlichkeitsarbeit nun nutzen zu können und mit der Idee an den Markt zu gehen, gilt es zeitnah die offenen technischen und wirtschaftlichen Themen) weiter auszuarbeiten und einige zulassungsfähige Prototypen für eine Feldstudie und die vorgeschlagenen Leuchtturmprojekte herzustellen.

Kann auf Basis der zulassungsfähigen Prototypen die Marktakzeptanz nachgewiesen werden, wird ONYX ab 2016 mit dem Aufbau einer Kleinserie von 200 Einheiten/Jahr beginnen und versuchen parallel einen Partner für die Großserie zu suchen, um die Vorteile für Ressourcen – und Energieeffizienz über den dann deutlich sinkenden Einstiegspreis für Jedermann verfügbar zu machen.

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	4
Abbildungsverzeichnis .....	6
Tabellenverzeichnis .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abkürzungsverzeichnis .....	8
1 Zusammenfassung „Phase1“ .....	9
2 Einleitung .....	10
2.1 Zahlen und Fakten .....	11
2.1.1 Verkehrsaufkommen .....	11
2.1.2 Verkehrsleistung .....	11
2.1.3 Fahrleistung .....	12
2.1.4 Fahrzeugbestand BRD .....	12
2.1.5 Entwicklungsstand der in Deutschland produzierten und aktuell meist verkauften Importmodelle Serien E-Mobile (vollelektrisch; auch Kleinserie) .....	12
2.1.6 Allgemeine Mobilitätskosten .....	12
2.1.7 Emissionen .....	12
2.1.8 Nationale Mobilitätsstrategie .....	12
2.2 Zieldefinition .....	13
2.2.1 Umweltrelevanz .....	13
2.2.2 Marktrelevanz: .....	13
2.2.3 Wirtschaftliches Potential und Tragfähigkeit des Konzeptes .....	13
3 Hauptteil .....	14
3.1 Designstudie .....	14
3.1.1 Detaillierte Designstudie .....	14
3.1.2 Schnittstellendefinition .....	16
3.1.3 Varianten Design .....	18
3.1.4 Rückkopplung zu Marketing- und Businessplan .....	19
3.2 Ergonomiestudie .....	20
3.2.1 Erstellen eines Drahtmodells für die Bauraumanalyse .....	20
3.2.2 Innenraumanalyse und Abstimmung der Lenkung .....	20
3.2.3 Sitzentwicklung und Optimierung, Sicherstellen der Barrierefreiheit .....	21
3.3 Markt- und Wettbewerbsanalyse (Competitive-Intelligence-Analyse, „CI“) .....	25
3.3.1 Monitoring .....	25

3.4	SWOT-Analyse .....	29
3.5	Patentrecherche .....	30
3.6	Öko- und Sachbilanz .....	31
3.7	Auslegung und Konstruktion Aggregateträger (AGT oder auch Sitzkiste) .....	34
3.7.1	Antriebskonzept .....	34
3.7.2	Notwendige Motorleistung .....	36
3.7.3	Reichweitenberechnung .....	36
3.7.4	Darstellung Umweltrelevanz .....	37
3.7.5	Kostenrechnung .....	38
3.7.6	Fahrwerkskonzept .....	39
3.7.7	CAD Modell in CATIA V5 .....	44
3.7.8	Absicherung Europäischer Zulassung .....	45
3.8	Fertigung und Erprobung des Aggregateträgers .....	46
3.8.1	Herstellung des AGT .....	47
3.8.2	Erprobung und iterative Optimierung .....	47
3.9	Konstruktion Monocoque .....	48
3.10	Erstellung Business- und Marketingplan .....	51
3.10.1	Zielpreisdefinition .....	51
3.10.2	Erfassung der Kostenpakete für Zukaufteile .....	52
3.10.3	Ressourcenplanung für die Kleinserienfertigung .....	53
3.10.1	Aufbau des 3 Jahres Businessplans auf Basis von 200 Einheiten pro Jahr .....	53
3.10.1	Investitionsbedarf und wirtschaftliches Potential .....	56
4	Fazit .....	57
5	Literaturverzeichnis .....	58
6	Anhänge .....	59
6.1	Projektplan detailliert .....	59
6.2	Darstellung Benchmarkanalyse Kosten vs. Reichweite .....	59
6.3	Darstellung Benchmarkanalyse Gewicht vs. Reichweite .....	60
6.4	Darstellung Benchmarkanalyse Gewicht zu Zuladung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergonomiestudie in Kooperation mit Fa. Mobitecture	14
Abbildung 2: Ursprüngliches Designkonzept zum Projektstart Januar 2013	15
Abbildung 3: Handskizzenbeispiel und Übertragung dieser Linien in ein CAD-kompatibles Linienmodell	15
Abbildung 4: Virtuelle Weiterentwicklung der Fahrzeuggestalt vom Entwurf bis zur Realansicht	16
Abbildung 5: Darstellung der Designrelevanten "hard points"	17
Abbildung 6: Darstellung der Designvariante "Einstiegsmodell"	19
Abbildung 7: Darstellung der Designvariante "Topmodell"	19
Abbildung 8: Darstellung "Linienmodell "	20
Abbildung 9 Test Einstieg "normal" und Ausstieg aus dem Rollstuhl, Sichtfeldanalyse und Lenken	21
Abbildung 10 Sitzschale Windexplorer und CAD Ansicht zur Anwendung im ONYX E-Mobil AGT	22
Abbildung 11: Skizzen Eigenentwicklung	23
Abbildung 12: Bilder Zukaufteil "Thermoplast Sitz Korea"	23
Abbildung 13: Competitive-Intelligence-Struktur ONYX composites GmbH	26
Abbildung 14: Offenlegung Ultraleichtes Vierradfahwerk	30
Abbildung 15: Carbike Leichtfahrzeuge GmbH	31
Abbildung 16: CO <sub>2</sub> . Emissionen der einzelnen Prozessmodule	32
Abbildung 17: kumulierte CO <sub>2</sub> -Emission im Vergleich der beiden Produktsysteme	32
Abbildung 18: Positionen Tretkurbel- und Elektroantrieb ohne Monocoque	35
Abbildung 19: Geschwindigkeit- über Zeitdarstellung	36
Abbildung 20: Kostenvergleich ONYX E-Mobil, VW up & VW E up	39
Abbildung 21: Kinematische Modelle links Vorderachse, rechts Hinterachse	40
Abbildung 22: CAD Modelle links Aufnahme Federbein vorne links, rechts Starrachse hinten	40
Abbildung 23: links Samagaga "hard core whel", Mitte Schalbe "Big Ben", rechts Tektro Auriga Twin	44
Abbildung 24: Starre Bodengruppe - Konzept und CAD Zusammenbau	45
Abbildung 25: Bodengruppe AGT, links Vorderteil, rechts Zusammenbau Vorder-und Hinterteil	47
Abbildung 26: AGT, links: fahrbereiter AGT, rechts: AGT mit einseitiger Aussenhülle	47
Abbildung 27 links: Darstellung der ANbauteile inkl. Ladegut, rechts: Benennung der Bauteile	49
Abbildung 28 links: Zwei Trennungsverläufe, rechts: Monocoquezelle zusammengebaut	49
Abbildung 29: Abblidung links: Composite Design, rechts FEM Darstellung Verformen „Seitencrash“	50
Abbildung 30: Materialvarinanten Monocoque des ONYX E-Mobils	50
Abbildung 31: Baugruppenspezifische Kostenpakete	52
Abbildung 32: Kostenverteilung über das Gesamtfahrzeug	52

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Ergebnismatrix – strukturierte Informationsbereitstellung</i>	27
<i>Tabelle 2: Ergebnismatrix – Wettbewerbsfahrzeuge für ONYX E-Mobil –allgemein-</i>	27
<i>Tabelle 3: SWOT-Analyse für ONYX composites GmbH</i>	29
<i>Tabelle 4: Vergleich drei mögliche Elektromotoren</i>	34
<i>Tabelle 5: Getriebevergleich</i>	35
<i>Tabelle 6: Vorderradantrieb vs. Hinterradantrieb</i>	35
<i>Tabelle 7: Notwendige Akkukapazität in Bezug auf die Spannung 24V und resultierender Reichweite</i>	37
<i>Tabelle 8: CO2 Emissionsvergleich E-Mobil vs. Smart Fortwo</i>	38
<i>Tabelle 9: Eckdaten &amp; Hardpoints Vorderachse</i>	43
<i>Tabelle 10: Eckdaten &amp; Hardpoints Hinterachse</i>	43
<i>Tabelle 11: „Übersicht Kostenrechnung ONYX E-Mobil Standardvariante“</i>	51
<i>Tabelle 12: Baugruppenspezifische Kostenpakete</i>	52
<i>Tabelle 13: Arbeitgeberlohnkosten „Fertigung ONYX E-Mobil“</i>	53
<i>Tabelle 14: laufende betriebliche Fixkosten</i>	53
<i>Tabelle 15: Gründungskosten</i>	54
<i>Tabelle 16: Investitionsplanung</i>	54
<i>Tabelle 17: Umsatzplanung 1. Jahr</i>	55
<i>Tabelle 18: Umsatzplanung 2. Jahr</i>	55
<i>Tabelle 19: Umsatzplanung 2. Jahr</i>	56
<i>Tabelle 20: Ertragsvorschau</i>	56

## **Abkürzungsverzeichnis**

AGT	Aggregateträger
BRD	Bundesrepublik Deutschland
bzgl.	bezüglich
CAE	Computer-Aided Engineering
CAD	Computer-Aided Design
CI	Competitive-Intelligence
CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
E-Mobil	Elektronisches Mobil
F&E	Forschung und Entwicklung
FEM	Finite Elemente Methode
ggf.	gegebenenfalls
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GHV	Geheimhaltungsvereinbarung
inkl.	inklusive
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KMU	kleine mittelständische Unternehmen
Pedelec	Pedal Electric Cycle
Pkw	Personenkraftwagen
PU	Polyurethan
Mio.	Millionen
s. g.	so genannte
Stk.	Stück
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
u.a.	unter anderem
URL	Uniform Resource Locator
USP	Unique Selling Proposition
VK	Verkaufspreis
Vgl.	Vergleiche
z. B.	zum Beispiel

## 2 Zusammenfassung „Phase1“

Im DBU Förderprojekt „Konzeptstudie -Phase 1- der Entwicklung eines ultraleichten E-Mobils für den urbanen Einsatz“ mit dem Az. 30693 wurde von der Firma ONYX composites GmbH (ONYX) ein E-Mobilitäts-Konzeptfahrzeug als Bindeglied zwischen der aktuellen fossilen PKW Dominanz im urbanen *Lebensraum und der zukünftigen überregionalen E-Mobilität ausgearbeitet.*

Im Rahmen eines konstruktiven Entwurfes wurden die Geometrie und das Fertigungskonzept einer hochintegrativen, selbsttragenden Monocoque-Einheit auf Basis von Faserverbundwerkstoffen (u.a. auch Hanffaser) dargestellt. Hierbei wurden die gesetzlichen Vorgaben für die Zulassungsklasse „L6E“ sowie die Ergonomie- und Vermarktungsrelevanten Entwicklungsziele eingehalten.

Parallel zur technischen Studie wurde die aktuelle Marktsituation im Rahmen einer Wettbewerbsanalyse im Bereich der heute vorhandenen Elektrofahrzeuge durchgeführt und ein darauf basierender Businessplan zur Herstellung einer Kleinserie von 200 Einheiten/Jahr ab 2016 ausgearbeitet.

Anhand von Fahrtests mittels eines Metall-Aggregateträgers (AGT) konnte die Funktionstauglichkeit unter den gesetzten Rahmenbedingungen und den umweltrelevanten Projektzielen nachgewiesen werden.

Die Erfolgsbewertung der Entwicklungsergebnisse wurde anschaulich und nachvollziehbar durch die Formulierung von bewertbaren Zielparametern mit dem Fokus der Umweltentlastung und dem gesellschaftlichen Gesamtnutzen „ Deutliche Einsparung von Investitionskosten für die innerstädtische Ladeinfrastruktur für E-Mobile“ gestaltet.

Der übergeordnete Zielparameter hinsichtlich der Umweltentlastung ist der formulierte „Nutzlastfaktor von 1,5 (Verhältnis Nutzlast zu Eigengewicht eines Fahrzeuges), welcher durch das Potential des Leichtbaus mit Faserverbundwerkstoffen nahezu auf den Punkt erreicht und anhand der Fahrtes nachgewiesen werden konnte. Mittels der konsequenten, leichtbauspezifischen Entwicklungsstrategie konnten neue Wege für die ressourcen- und energieeffiziente Fertigung und den Betrieb eines E-Mobils für den urbanen Lebensraum aufgezeigt werden.

Durch den Ultraleichtbauansatz und der parallelen Reichweitenbegrenzung auf 50 km innerhalb eines Aktionsradius von 10-25 km konnte das Hauptziel für den gesellschaftlichen Nutzen über das „Akku to go Prinzip“ erreicht werden. Durch dieses Prinzip, ähnlich dem bekannten Pedelec-Prinzip ist es möglich, dass es für einen Großteil von zukünftigen urbanen Wegstrecken keine Notwendigkeit einer statischen Ladeinfrastruktur gibt. Das Fahrzeug kann auf jedem beliebigen Parkplatz geparkt werden, der Akku einfach und komfortabel vom Nutzer entnommen und zur nächsten 230 Volt Steckdose im Trolley-Prinzip gezogen werden. Neben der enormen Investitions-Einsparung entfällt somit auch gleichzeitig die E-Mobil-Einstiegsbarriere „Angst vor der Ladesäulensuche“. Mittels des integrierten Pedalantriebes zur Reichweitenvergrößerung kann einer weiteren Barriere „Angst vor dem Stehenbleiben mit leerem Akku“ begegnet werden.

Die technische und wirtschaftliche Umsetzung und das Potential für Umwelt und Gesellschaft sind somit grundlegend nachgewiesen. Um alle technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Details für die Serie abzusichern, ist es nun notwendig mehrere seriennahe Prototypen aufzubauen und im Rahmen einer Feldstudie durchgängig zu testen und zu optimieren.

### 3 Einleitung

Durch die stark ansteigenden Preise der fossilen Energiequellen, dem stetigen Anstieg von PKW-Kurzstreckenfahrten und die Forderung nach emissionsfreiem Verkehr, ist eine Veränderung der Mobilität speziell in den Stadtgebieten hinsichtlich des Antriebs unvermeidbar. Dies führt schon heute zu einem Umdenken der Gesellschaft, welches durch politische Bemühungen (Energiewende, E-Mobil Zulassungsziele) weiter forciert wird. Fortbewegungsmittel, die allein durch Muskelkraft angetrieben werden, gewinnen zunehmend an Bedeutung und werden als Folge dieser Entwicklung immer häufiger für alltägliche Strecken genutzt. Jedoch beim Transport von Lasten und bei schlechtem Wetter setzen sich die Stadtbewohner oft und gerne in ihren PKW.

Die Hälfte aller mit dem Auto zurückgelegten Wege ist kürzer als sechs Kilometer, fünf Prozent sogar kürzer als ein Kilometer. Das hat Folgen für die Umwelt. Ein Auto mit kaltem Motor verbraucht auf den ersten drei Kilometern überproportional viel Kraftstoff. Insgesamt ist der Straßenverkehr mit gut 18% für einen Großteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland verantwortlich, der Anteil des Pkw-Verkehrs allein beträgt 13%.

Leichte muskelkraftunterstützte Hybridfahrzeuge bieten dazu eine urbane Mobilitätsalternative und sind geeignet, den Stadtverkehr wesentlich umwelt- und menschenfreundlicher zu gestalten. Mit Verbreitung der Hybridtechnik (Kombination von Muskelkraft und Elektromotor in den sogenannten Pedelec- und E-Bikemodellen) im Zweiradbereich wurde eine demografiefeste und emissionsfreie Möglichkeit der urbanen Reichweitenmaximierung geschaffen. Mittels dieser technischen Unterstützung, wird es auch schwächeren und älteren Menschen ermöglicht, größere Strecken leichter, kostengünstig, unabhängig von öffentlichen Verkehrsmitteln und emissionsfrei zurückzulegen.

Die ONYX composites GmbH hat zur Ergänzung der aktuell erhältlichen rein „automobilen“ Elektrofahrzeuge, die auf Geschwindigkeit, Komfort und Reichweite, aber nicht auf nachhaltige Effizienz ausgelegt sind und den beschriebenen hybriden Zweiradmodellen das fehlende „Mobilitäts-Bindeglied“ für urbane Lebensräume konzeptioniert. Dieses neuartige und innovative Fahrzeugkonzept verbindet die Vorteile der bestehenden Technik im Zweiradsektor (leicht, günstig, hohe Variantenvielfalt) und überträgt diese auf die herkömmlichen Leichtkraft- und Elektroautomobile (z.B. e-up, Twizzy, Twike & CityEL). Die Vorzüge eines herkömmlichen PKWs im urbanen Aktionsradius von 10-25 km und die des Humanhybrid-Antriebs sollen auf diese Weise miteinander kombiniert sowie der kostengünstige Einstieg in ein leichtes und somit effizientes, nachhaltiges und alltagstaugliches Elektromobil ermöglicht werden.

Die innovativen Kernpunkte des ultraleichten E-Mobils stellen sich in Kürze wie folgt dar:

Ziel ist es, auf Basis des enormen Leichtbaupotentials von Faserverbundwerkstoffen (im Speziellen auch Naturfasern wie Hanf und Flachs) ein hybrides Elektromobil für den urbanen Einsatz zu entwickeln, welches mit einem Fahrzeuggewicht unter 100 kg (ohne Akku), Platz für 2 nebeneinandersitzende Personen, einer zusätzlichen Ladung von 50 kg und einer Maximalgeschwindigkeit von 45-50 km/h alle Zielkundenbedürfnisse im Stadtverkehr erfüllt.

Die Zielreichweite von 20-50 km in einem Aktionsradius von ca. 10-25 km kann durch die angestrebte und priorisierte Leichtbauweise problemlos mit den leichten und günstigen Akkus aus dem Pedelec-Bereich oder vergleichbar günstigen Alternativen realisiert werden.

Die aktuelle Problematik der noch im Aufbau befindlichen Ladeinfrastruktur wird durch das aus dem Pedelec etablierten „Akku to go“-Prinzip umgangen. Das ONYX Konzept basiert auf einem herausnehmbaren „Akkutrolley“ und ermöglicht somit eine Aufladung an jedem Ort mit einer 230 Volt-Steckdose.

Die wirtschaftliche Marktfähigkeit wird so über geringe Kosten der Einzelkomponenten (Fahrwerk, Lenkung, Antriebstechnologie, Akku und Beleuchtung) realisiert. Durch den Einsatz dieser Standardteile kann somit ein Elektromobilitäts- Einstiegspreis für den Endverbraucher von unter 9.000 € als Kleinserien-Startpreis (200 Einheiten/Jahr) angeboten werden.

Weiterhin soll es gehbehinderten Menschen ermöglicht werden, sich durch eine modifizierte Variante rein elektrisch zu bewegen und somit ihren Mobilitätsgrad zu erhöhen.

Das ONYX E-Mobilkonzept stellt eine s.g. „offene Konstruktion“ da und kann durch diese in Zukunft mit optimierter Akku- und Antriebstechnologie auf dem Stand der Technologie gehalten werden. Im Rahmen von GHV wird Partnern die offene Konstruktion zur Verfügung gestellt, um Modellvariationen für gezielte Anwendungen (z.B. Bring-und Botendienste, Touristische-und Taxi-Dienstleistungen) zu entwickeln und zu vertreiben.

### 3.1 Zahlen und Fakten

„Mit der Entscheidung für den Kauf eines eigenen Fahrzeugs legen Verbraucherinnen und Verbraucher ihr Mobilitätsverhalten langfristig weitgehend fest. Dadurch sind die Umweltwirkungen ebenfalls für längere Zeit vorbestimmt, denn durch den Besitz eines Kfz ist die Wahl des Verkehrsträgers für künftige Fahrten weitgehend vorentschieden“. [3] Das bedeutet, dass für die erfolgreiche Einführung eines nachhaltigen Fahrzeugkonzeptes fest eingefahrene Verhaltensweisen aufzubrechen sind und die Handlungsrelevanz transparent und verständlich kommuniziert werden muss.

Im Folgenden werden ausschlaggebende Zahlen und Fakten genannt, die den aktuellen Handlungsbedarf aufzeigen sowie die Projekteinzeltziele und speziell das Potential des Ultraleichtbaus in der E-Mobilität als eine wichtige Lösungsstrategie für die zukünftige urbane Mobilität demonstrieren.

#### 3.1.1 Verkehrsaufkommen

- 2010 wurden im Personenverkehr 102 Milliarden Wege zurückgelegt [4]
- Ca. 70% aller Arbeitswege werden mit dem Pkw im motorisierten Individualverkehr bestritten [4]
- Ca. 88% aller dienstlichen Wege werden mit dem Pkw im motorisierten Individualverkehr bestritten [4]

#### 3.1.2 Verkehrsleistung

- Ca. 74% aller Berufspendler legen maximal 25 km für den einfachen Weg zur Arbeit zurück [1]
- Ca. 80% aller Fahrten im motorisierten Individualverkehr sind deutlich kürzer als 50 km [2]
- Die durchschnittliche Wegstrecke im motorisierten Individualverkehr beträgt etwa 11,7 km pro Weg [4]

### 3.1.3 Fahrleistung

- Bei einem einfachen Arbeitsweg von 25 km und 220 Arbeitstagen beträgt die Fahrzeug-Laufleistung für den Zweck des Berufspendelns 11.000 km pro Jahr [1]
- Die durchschnittliche Geschwindigkeit im motorisierten Individualverkehr beträgt im urbanen Straßenverkehr zwischen 23-35 km/h in der Zeit von 6:00-21:00 (Eigene Beobachtungen von Nicolas Meyer in der Stadt Osnabrück über einen Zeitraum von ca. 10 Monaten).

### 3.1.4 Fahrzeugbestand BRD

- Der Pkw-Bestand ist seit der Jahrtausendwende um 12% gestiegen [4]
- Das Kleinwagensegment wuchs zwischen 2008 und 2012 um 9% auf 8,8 Millionen Fahrzeuge [4]
- Im Jahre 2012 betrug die Anzahl der bereits zugelassenen Elektrofahrzeuge 4.541, dass entspricht etwa 0,01% aller in 2012 in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge → aktuell sind es ca. 16.000 Stück [4]

### 3.1.5 Entwicklungsstand der in Deutschland produzierten und aktuell meist verkauften Importmodelle Serie E-Mobile (vollelektrisch; auch Kleinserie)

- Nutzlastfaktor (zeigt das Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht) liegt bei 0,2-0,7 [eigene Untersuchung, ONYX, siehe Präsentation Hannover Messe 2014, VDI Bühne]
- Reichweite bei 70-160 km [eigene Untersuchung, ONYX; siehe Wettbewerbsanalyse]
- Keine vom Nutzer austauschbaren Akkuzellen und somit die Abhängigkeit von der lückenhaften und investitionsintensiven Ladeinfrastruktur [eigene Untersuchung, ONYX, siehe Wettbewerbsanalyse]

### 3.1.6 Allgemeine Mobilitätskosten

- Die privaten Konsumausgaben für Verkehr waren in den laufenden Wirtschaftsrechnungen 2010 mit 305 € im Monat je Haushalt im Durchschnitt genauso hoch wie die Ausgaben für Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren [4]
- Zusätzlich bezahlte jeder Haushalt im Schnitt monatlich 11 € für die Kraftfahrzeugsteuer und 30 € für Kfz-Versicherungen [4]

### 3.1.7 Emissionen

- Nach wie vor ist Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) das Treibhausgas, von dem die größten Mengen ausgestoßen werden [4]
- Im Personenverkehr verursachte der motorisierte Individualverkehr 79% der CO<sub>2</sub>-Abgasemissionen [4]
- Lärmemissionen sind in Europa ein Hauptverursacher von Nerven-, Herz- und Kreislauferkrankungen. Straßenverkehrslärm stört mehr als 50% der Bevölkerung. [4]

### 3.1.8 Nationale Mobilitätsstrategie

- Die Bundesregierung hat das Ziel ausgegeben von 2008 bis 2020 den Verkehrslärm im Straßenverkehr um 30% zu reduzieren [4]
- Die Bundesregierung hat das Ziel ausgegeben bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die deutschen Straßen zu bringen [1]
- Nach dem Willen der Bundesregierung soll Deutschland in der Elektromobilität eine Führungsrolle einnehmen [1]

## Zieldefinition

Die Projektziele leiten sich aus den Voruntersuchungen (siehe Antrag Phase 1) von ONYX und aus den „Zahlen und Fakten“ ab. Die Ziele werden auf Basis der 3 Hauptgruppen „Umweltrelevanz“, „Markrelevanz“ und „Wirtschaftliches Potential“ definiert und sollen im Fazit für die Überprüfung der Projektergebnisse herangezogen werden.

Neben der Chance des enormen Emissions-Einsparungspotentials durch ein günstiges Verhältnis von Gewicht und Reichweite zu bestehenden Fahrzeugkonzepten, wurde auch ein Marktbedarf im Bezug zwischen Fahrzeugkosten, Reichweite und Anzahl der zu befördernden Personen bzw. Ladung für das neuartige Fahrzeugkonzept aufgedeckt. Siehe hierzu die Darstellungen der entsprechenden Benchmarkanalysen im Anhang.

### 3.1.9 Umweltrelevanz

Ressourcen- und Energieeffizienz in der Herstellung sowie im Betrieb des Elektrofahrzeuges durch konsequenten Leichtbau mit Faserverbundwerkstoffen.

Überprüfbare Bewertungsparameter sollen für dieses Entwicklungsprojekt sein:

- Der Mobilitäts-Effizienzparameter „Nutzlastfaktor“
- Die ganzheitlichen CO<sub>2</sub> Emissionen ONYX E-mobil vs. Smart fortwo (1,0 l Benziner)
- Die Verbrauchskennwerte im Vergleich ONYX E-mobil vs. Smart fortwo (1,0 l Benziner)
- Die Maximalmasse für die zulassungsfähige Einstiegsvariante von 120 kg inkl. Akku

### 3.1.10 Marktrelevanz:

Um die ONYX E-Mobil Idee in einer Innovation für die zukünftige Mobilität zu überführen, ist neben der technischen auch die wirtschaftliche Umsetzung notwendig. Diese ist hinreichend erfüllt, wenn eine langfristige Marktdurchdringung erreicht wird.

Um das Marktpotential aufzuzeigen, werden folgende Benchmarkauswertungen zur Beurteilung ausgearbeitet:

- Benchmark „Fahrzeuganschaffungskosten E-Mobile Deutscher Markt“
- Benchmark „Reichweite E-Mobile Deutscher Markt“
- Benchmark Kosten pro 100 km „ONYX E-mobil vs. Smart fortwo (1,0l Benziner) & VW e up“
- Benchmark „Fahrzeuganschaffungskosten/Reichweite“
- Benchmark „Fahrzeuggewicht/Kosten“

### 3.1.11 Wirtschaftliches Potential und Tragfähigkeit des Konzeptes

Das wirtschaftliche Potential basiert auf dem Marktpotential und den darauf hin ausgelegten Businessplan. Dieser wird auf Basis einer vorläufigen Markteinführung von 200 Einheiten/Jahr und dem Einstiegsmodell erstellt.

## 4 Hauptteil

Im Hauptteil dieses Berichtes werden auf Basis der Arbeitspakete des Gesamtprojektplans, siehe Anhang 6.1, die durchgeführten Entwicklungsschritte dargestellt. Die erzielten Ergebnisse werden mit Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung verglichen und kritisch bewertet. Das Gesamtergebnis wird in dem anschließenden Fazit zusammengefasst und eine Empfehlung für das weitere Vorgehen ausgesprochen.

### 4.1 Designstudie

Ziel der Designstudie ist es in Bezug auf die Gesamtfahrzeugspezifischen Randbedingungen die technische, rechtliche und wirtschaftliche Umsetzbarkeit darzustellen und generationsübergreifend ansprechend und zielgruppenspezifisch nutzbar einen „Designentwurf“ zu entwickeln. Der Designentwurf wird dann als Basis für die selbsttragende und integrative Monocoque-Struktur verwendet. Die Monocoque-Struktur bildet somit die Schnittstelle vom äußeren Design zu allen Funktionsbaugruppen wie Fahrwerk, Antrieb und Interieur. Folgend werden die einzelnen Arbeitspakete der Designstudie beschrieben.

#### 4.1.1 Detaillierte Designstudie

Auf Basis der ersten geometrischen Informationen aus der Ergonomiestudie (Abb.1) und der Fahrwerksauslegung wurde mittels der Konstruktionssoftware CATIA V5 ein 3-dimensionales Linienmodell erzeugt. Dieses Modell wurde mit der Konstruktion des AGTs kombiniert und diente anschließend als Grundlage für die Designstudie.

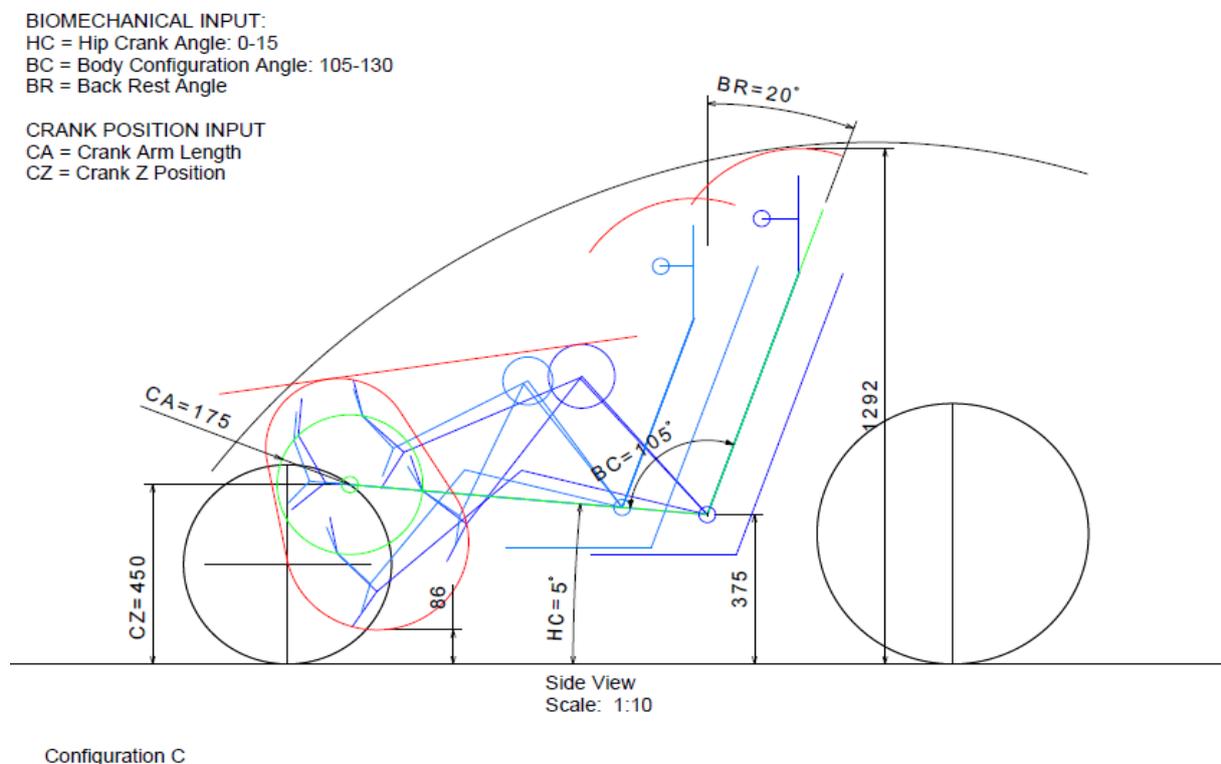


Abbildung 1: Ergonomiestudie in Kooperation mit Fa. Mobitecture

Zusätzlich wurden mit Hinblick auf die Composite-Herstellungsverfahren (Vakuuminfusion und Faserspritzen) der Monocoque-Komponenten folgende Anforderungen an die Designentwicklung gesetzt:

- Minimalradien von  $R=5\text{ mm}$  um Fehlstellen durch Lufteinschlüsse zu vermeiden
- Entformungsschrägen von min.  $2^\circ$
- Max. 3-teilige Werkzeuge pro Monocoque-Komponente (siehe Abschnitt Monocoque)
- Einbindung von Klebeflächen für die Verbindung der Monocoque-Komponenten

Parallel zu den Vorarbeiten im konstruktiven Bereich wurden auf Basis der Markt- und Zielgruppenanalyse Designleitlinien definiert und in Form von Handskizzen grafisch umgesetzt (Abb.4).

Folgende Kriterien wurden als Designleitlinie gesetzt:

- Ausdruck von Sportlichkeit
- sichtbare und „greifbare“ Leichtigkeit
- technische Anmutung
- durchscheinen des Fahrradcharakters
- zeitloses und altersgruppenübergreifende Gestalt durch „weiche“ Linien (Beispiel Design des „VW Käfers“ oder des „Mini Coopers“)

Diese rein grafischen Darstellungen auf dem Papier wurden dann im nächsten Schritt in Form einer maßstäblichen Zeichnung als Linienmodell mittel der Software CINEMA 4D in die virtuelle Welt überführt.

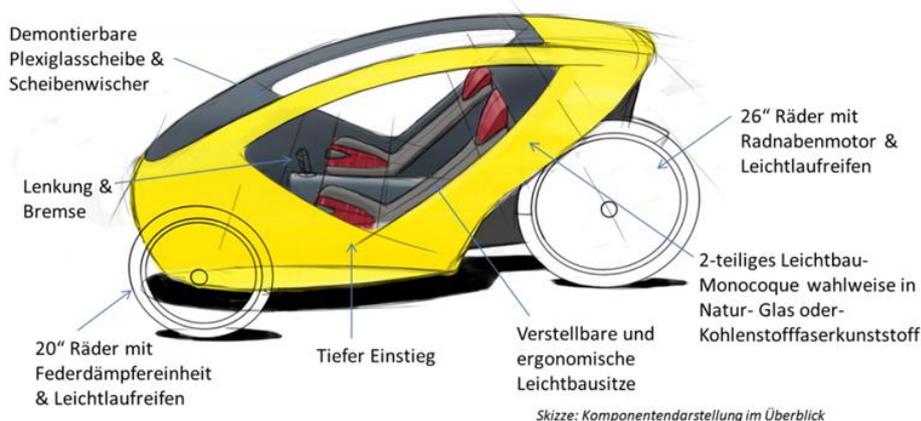


Abbildung 2: Ursprüngliches Designkonzept zum Projektstart Januar 2013

Quelle: Fa. Mobitecture, Richard Klijen

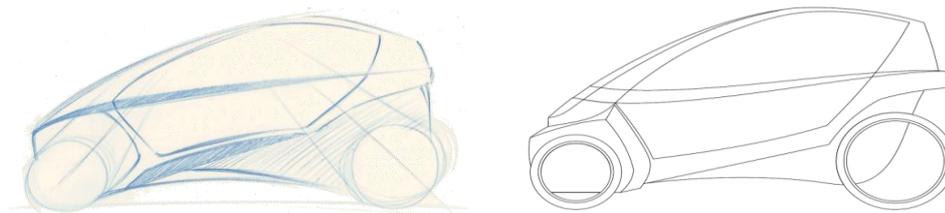
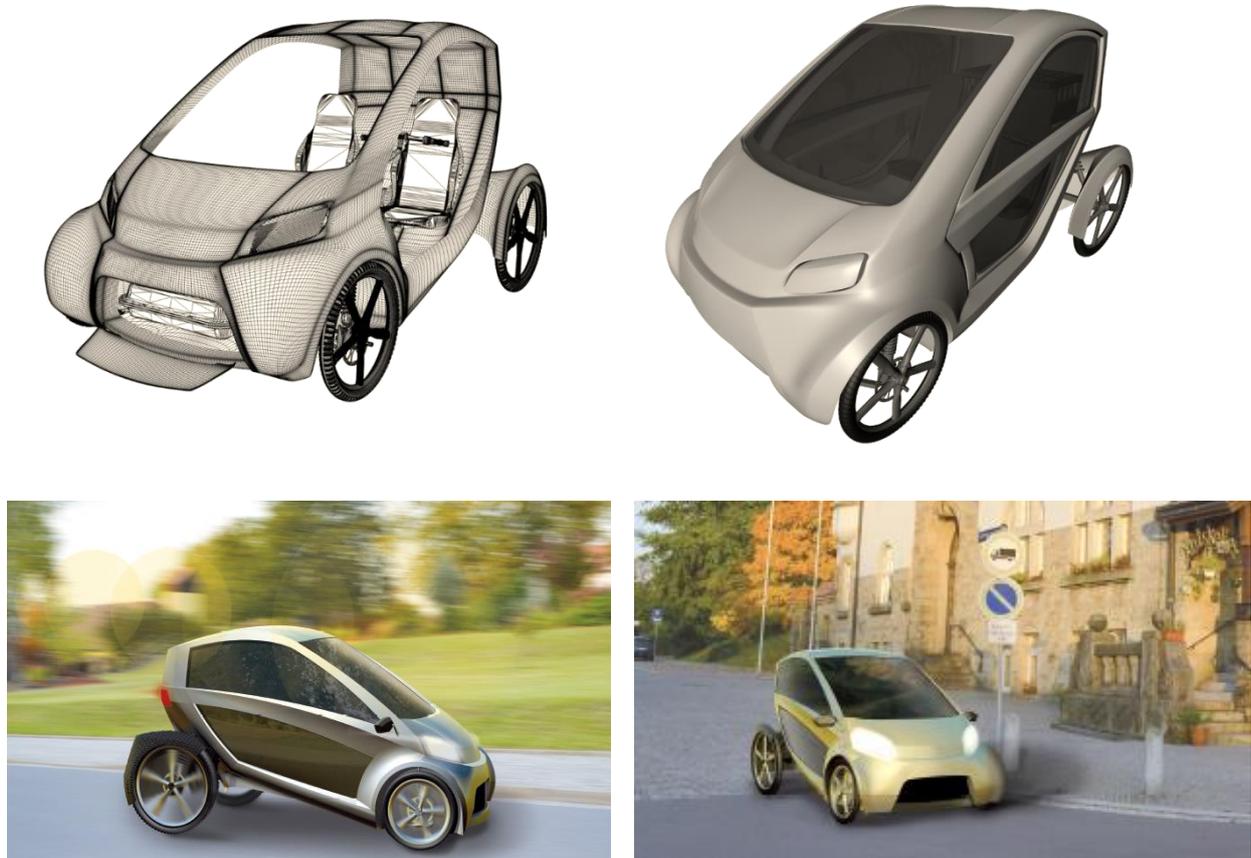


Abbildung 3: Handskizzenbeispiel und Übertragung dieser Linien in ein CAD-kompatibles Linienmodell

Quelle: Fa. INOVID Benjamin Träger, Ramon Weisse

Auf Basis dieser Linienmodelle wurde Schritt für Schritt mittels der Software CINEMA 4D ein geschlossenes Flächenmodell erzeugt. Die geschlossenen Flächen konnten dann mit Farben belegt werden und mittels einer „Renderingfunktion“ als Realmodelle dargestellt werden (Abb. 4).



*Abbildung 4: Virtuelle Weiterentwicklung der Fahrzeuggestalt vom Entwurf bis zur Realansicht  
Quelle: eigene Darstellung, Benjamin Träger und Ramon Weisse*

Die virtuelle Darstellung der Form- und Farbgebung konnte nun genutzt werden, um die Einhaltung der zuvor beschriebenen Design-Ziele intern und extern anhand von Befragungen zu überprüfen.

Die Designstudie versteht sich als iterativer Prozess, der immer wieder auf die besprochen Zielparаметer hin angepasst werden muss.

Die Zielsetzung der Designstudie wurde zu Ende 2013 mit der Übergabe des Designentwurfes an die Monocoque-Konstruktion erreicht. Es wird davon ausgegangen, dass bei der Detailkonstruktion aller Baugruppen noch einige geometrische Änderungen vorgenommen werden müssen, so dass es notwendig sein wird, min. 1-2 Designschleifen bis zur Umsetzung in einem 1:1 Prototypen zu durchlaufen.

#### 4.1.2 Schnittstellendefinition

Um die Entwicklung des Gesamtfahrzeuges in einzelnen Arbeitspaketen und Arbeitsgruppen planen, bearbeiten und bewerten zu können, wurde das Gesamtfahrzeug in Baugruppen aufgeteilt.

Folgende Baugruppen wurden definiert:

- Hinterachse

- Vorderachse
- Antrieb
- Lenkung
- Monocoque
- Innenraum

Bei der Schnittstellendefinition gilt es im Rahmen des Designentwurfes die hierfür relevanten Schnittstellen der Baugruppen zu definieren. Die Definition erfolgte über so genannte „hard points“, die dann als geometrische Bezugsgrößen festgelegt wurden. Die wichtigsten „hard points“ für den Designentwurf (siehe Abbildung 5) sind:

- Position der Akkubox, da diese mittels eines Klappmechanismus oder einer Schublade als „Battery to go“ wie beim Pedelec herausnehmbar sein soll.
- Die Fahrwerksanbindungspunkte bezogen auf den Radstand sowie Spurweite und die Durchmesser der Räder, da diese einen großen Einfluss auf das Erscheinungsbild des Gesamtfahrzeuges haben.
- Die Geometrie und Positionen der Scheiben in Kombination mit den Frontscheinwerfern spielen zu gleichen Teilen eine entscheidende Rolle in der Ergonomie- sowie Designentwicklung.
- Die Position und Form der Kofferraumklappe in Verbindung mit der Heckbeleuchtung gibt den Charakter der Heckansicht vor.
- Alle geometrischen Vorgaben in Bezug auf die angestrebte Zulassung in der L6e Kategorie

In Abstimmung mit allen Baugruppen wurden den „hard points“ Verbindungstechnologien zugeordnet und die Fertigungs- und Montagetechnisch konzeptioniert.

Beispiele: Einkleben der Windschutzscheibe, Verschrauben der Fahrwerksanbindungen und Aufnehmen sowie Crashesicheres Arretieren der Akkubox mittel einer Federgestützten Einrastfunktion.



Abbildung 5: Darstellung der Designrelevanten "hard points"

Quelle: eigene Darstellung, Benjamin Träger, Ramon Weisse & Nicolas Meyer

#### 4.1.3 Varianten Design

Um die sehr breit aufgestellten privaten und gewerbetreibenden Zielgruppen individuell bedienen zu können, sind verschiedene Designvarianten notwendig. Parallel wird versucht das Design soweit mit der Konstruktion in Einklang zu bringen, dass alle aktuellen technischen Anforderungen erfüllt werden, jedoch auch Spielraum für zukünftige Optimierungen und Anpassungen bleibt. Dieses Vorgehen nennen wir „offene Konstruktion“. Zwei Beispiele sollen dies erläutern.

1. Antrieb & Akku: In der ersten Version des ONYX E-Mobils wird es nur eine Motorvariante mit ca. 2 kW Leistung geben. Die Hinterachse, die diesen Motor aufnimmt und auch die Feder-Dämpferelemente sind aber ohne große Änderung anpassbar, um für gehobene Ansprüche auch einen 4 kW Antrieb, der maximal zulässig ist, sowie mehr Akkuleistung aufzunehmen.
2. Sonderausstattung Flottenfahrzeuge: Das Vertriebskonzept beinhaltet auch die Bedienung von Geschäftskunden mit speziellen Bedürfnissen. Hier sind z.B. das Lastentaxi oder die Citypost zu nennen, die ein größeres Ladevolumen benötigen oder auch die innerstädtischen Reinigungsdienste, welche kleinere Müllvolumen entsorgen. Für die „Extrawünsche“ wurde besonders die Heckpartie des Fahrzeuges offen gehalten, um z.B. einen Adapter für eine Mülltonne mit Haltern für Besen und Kehrblech nachrüsten zu können.

Auch die privaten Käufergruppen erwarten eine individuelle Ausstattung passend zu Ihren Bedürfnissen. Um diesen Anspruch zu erfüllen wurde eine Einstiegsvariante mit dem Zielkundenpreis von 8.900€ definiert, um für jedermann einen günstigen Einstieg in die urbane Elektromobilität zu gewährleisten. Diese Variante verfügt über alle Zulassungs- und Sicherheitsrelevanten Komponenten sowie einen einfachen Regenschutz um den Fahrspaß und die nahezu emissionsfreie Fortbewegung ganzjährig zu gewährleisten. Jedoch verzichtet diese weitestgehend auf Komfort und Extras wie z.B. eine Glaswindschutzscheibe, einen großen Akku für bis zu 50 Reichweite, ein Sonnendach oder Schalen-sitze, spart aber dadurch auch Extragewicht und entsprechende Betriebskosten. Somit können wir durch diese Sonderausstattung offene Marktnischen punktgenau besetzen (siehe Anhang 2 Darstellung Benchmarkanalyse Kosten vs. Reichweite“).

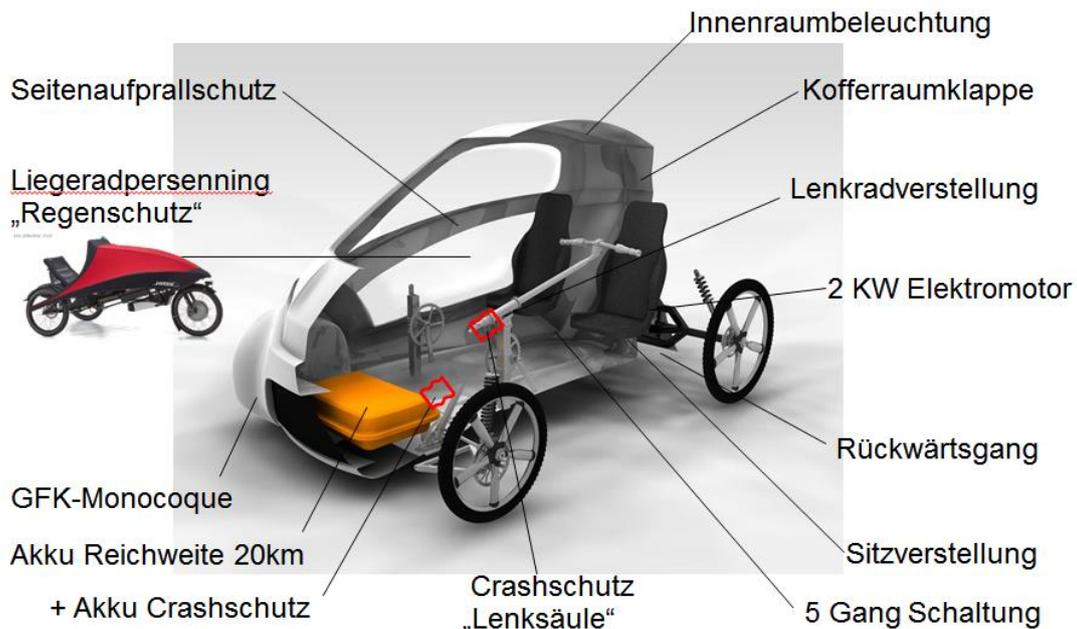


Abbildung 6: Darstellung der Designvariante "Einstiegsmodell", ab 8.900€ VK

Quelle: eigene Darstellung, Benjamin Träger, Ramon Weisse & Nicolas Meyer

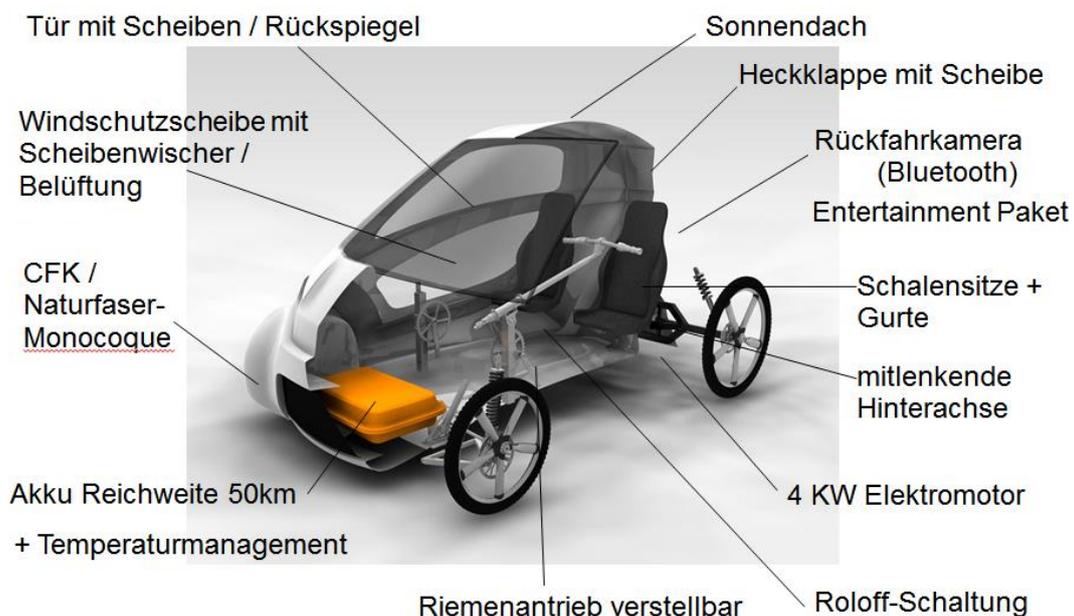


Abbildung 7: Darstellung der Designvariante "Topmodell" bis ca. 18.000€

Quelle: eigene Darstellung, Benjamin Träger, Ramon Weisse & Nicolas Meyer

#### 4.1.4 Rückkopplung zu Marketing- und Businessplan

Die zuvor beschriebenen Ausstattungsvarianten wurden im Rahmen eines Businessplans auf die Stückzahl von maximal 200 Einheiten pro Jahr im Rahmen der Businessplanausarbeitung kalkuliert. Ziel sollte es aber sein, das Fahrzeugkonzept über diese Kleinserie bekannt zu machen und anschließend große Partner bei den heutigen PKW,-Fahrrad,- oder Roller-OEM's für die Großserie zu finden, um einen signifikanten ökologischen und gesellschaftlichen Einfluss zu erzielen.

## 4.2 Ergonomiestudie

Als Grundlage für die Ergonomiestudie wurden folgende Zielgruppenspezifischen Gesichtspunkte angenommen:

- intuitive und sichere Bedienbarkeit aller Technikkomponenten
- „leichte“ Handhabung bei Akkuwechsel- und Bedienung
- größtmögliches Sichtfeld (große Scheiben, schmale Trägerstrukturen für die Dach und Türintegration)
- ausreichende Kopffreiheit auch für große Nutzer (bis 190 cm)
- einfache Sitzverstellung idealer Weise in Kombination mit einer Pedalverstellung für Fahrer/innen von 5 Perzentile weiblich (ab 155 cm) bis 95 Perzentile männlich (bis 190 cm)
- Lenkerverstellung um den Einstieg zu erleichtern
- bequeme und sowie alters- und behindertengerechte Einstiegshöhe
- auf Wunsch ausschließlicher Motorbetrieb und Zweihandbedienung für gehbehinderte Nutzer

### 4.2.1 Erstellen eines Drahtmodells für die Bauraumanalyse

Mittels der Designstudie und der Weiterentwicklung der Baugruppenkonstruktion konnte auf Basis der ersten 2D- Analyse ein räumliches „Drahtmodell“ und eine so genannte „Sitzkiste“ zur Überprüfung der ergonomischen Zielsetzungen konstruiert werden. Die geforderten Einstellmöglichkeiten wurden bei der Detailkonstruktion der Sitz- Lenkungs- und Tretlagerposition berücksichtigt und in statischen- und dynamischen Versuchen mittels der Sitzkiste/AGT (siehe Abbildung 8) getestet.

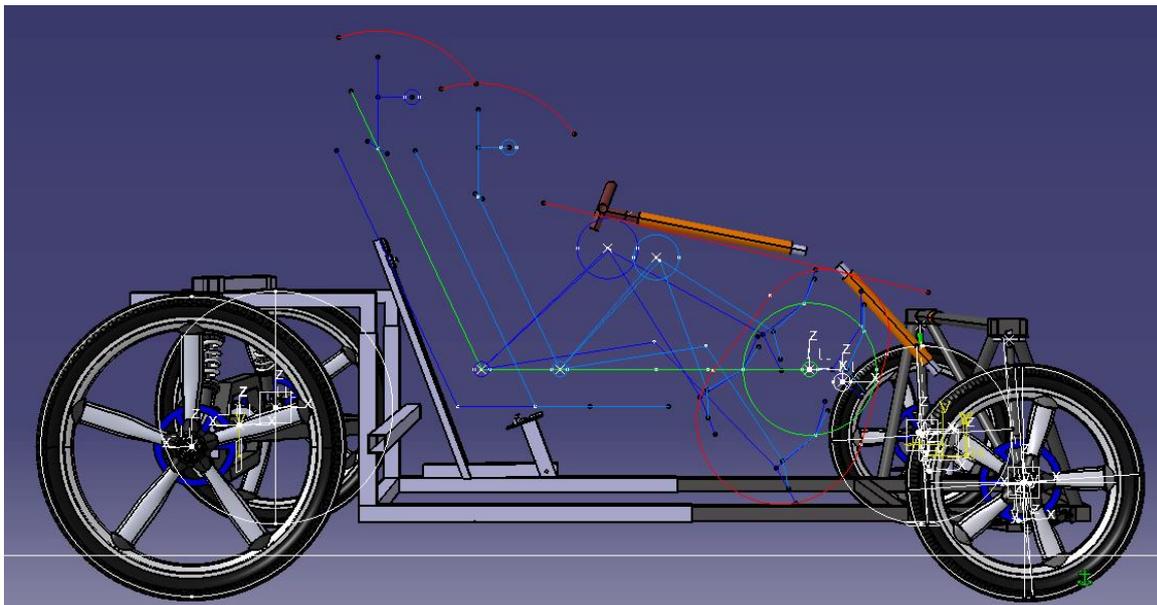


Abbildung 8: Darstellung Linienmodell "Ergonomie- und Bauraumkonzept für Fahrer/innen von 5 Perzentile weiblich bis 95 Perzentile männlich"

Quelle: eigene Darstellung, ONYX & Mobitecture, Richard Kleijn

### 4.2.2 Innenraumanalyse und Abstimmung der Lenkung

Die Innenraumanalyse wurde zweigleisig mittels eines virtuellen „Mock up’s“ und über Untersuchungen am realen 1:1 Modell, dem AGT durchgeführt. Speziell die Untersuchungen am AGT der Themen:

Einstieg über das Flügeltürprinzip (Abbildung 9), die Sichtfeldanalyse (Abbildung 9, rechts) und die Lenkerverstellung erwiesen sich als sehr aufschlussreich.

Viele in der Konstruktion „versteckten“ Probleme (z.B. die zu kleinen Verstellwinkel der Lenksäule sowie die zu lange Tür) konnten aus Nutzersicht aufgedeckt, bewertet und eliminiert werden. Eine große Herausforderung für Sicherheit und Ergonomie stellt der multifunktionelle Lenker da. Es soll auch gehbehinderte Verkehrsteilnehmer in die Lage versetzen, das E-Mobil ohne Umrüstung nutzen zu können. Das bedeutet, dass folgende Funktionen im Lenker integriert werden müssen:

- Lenken
- Bremsen hinten und vorne
- Bedienung Elektromotor
- Betätigung Fahrtrichtungsanzeiger
- Betätigung Horn
- Schalten des Humanantriebes
- Aufprallschutz im Crashfall

Durch viele Testfahrten über 6 Monate mit dem AGT konnte nachgewiesen werden, dass alle Funktionen untergebracht werden können, jedoch stellte sich auch heraus, dass die Bedienung nicht ausreichend intuitiv ist. Das heißt, dass die beiden Kenntnisse Fahrradfahren und Autofahren nicht ausreichend sind, um das Fahrzeug ohne Einweisung sicher bewegen zu können. Hierzu ist eine Eingewöhnungsphase von 1-2 Tagen notwendig. Ziel ist es, die Funktionen weiter zu optimieren, so dass die Einfahrzeit auf 1-2 Stunden minimiert werden kann.



Abbildung 9 Test Einstieg "normal" und Ausstieg aus dem Rollstuhl, Sichtfeldanalyse und Lenken

Quelle: eigene Darstellung ONYX

#### 4.2.3 Sitzentwicklung und Optimierung, Sicherstellen der Barrierefreiheit

Das zu entwickelnde E-Mobil soll als Bindeglied zwischen dem Fahrrad und einem herkömmlichen Elektromobil auf PKW-Basis dienen. Insbesondere die neu zu definierende Sitzposition spielt hierbei eine entscheidende Rolle für Ergonomie und Komfort. Die Zielparameter für den idealen Sitz wurden wie folgt zusammengefasst:

- gute Kraftübertragung beim Pedalantrieb
- variable Sitzposition (siehe Perzentilvorgaben)
- ausreichende Formstabilität und entsprechender Seitenhalt
- möglichst leicht (< 3 kg inkl. Verstellung) und günstig (HK < 30 €/Stk.)

- möglichst große und weiche bzw. dämpfende Sitzfläche
- wenn möglich eine Standardgröße die ggf. über Einlagen individuell angepasst werden kann
- Möglichkeit einer Sicherheitsgurtbefestigung
- Sicherstellen der Barrierefreiheit durch flachen und seitlichen Einstieg

Aus den Vorgängerprojekten „Windexplorer“ und „Formelrennwagen IR 10“ (siehe Antrag zu diesem Förderprojekt) und der dazugehörigen Entwicklung einer integralen Sitzschale aus Hanffasern (siehe Abbildung 10) musste nun die Anforderungen des Pedalantriebes und der Integration von Verstellmöglichkeiten in Längs- und Höhenrichtung zusätzlich erfüllt werden.

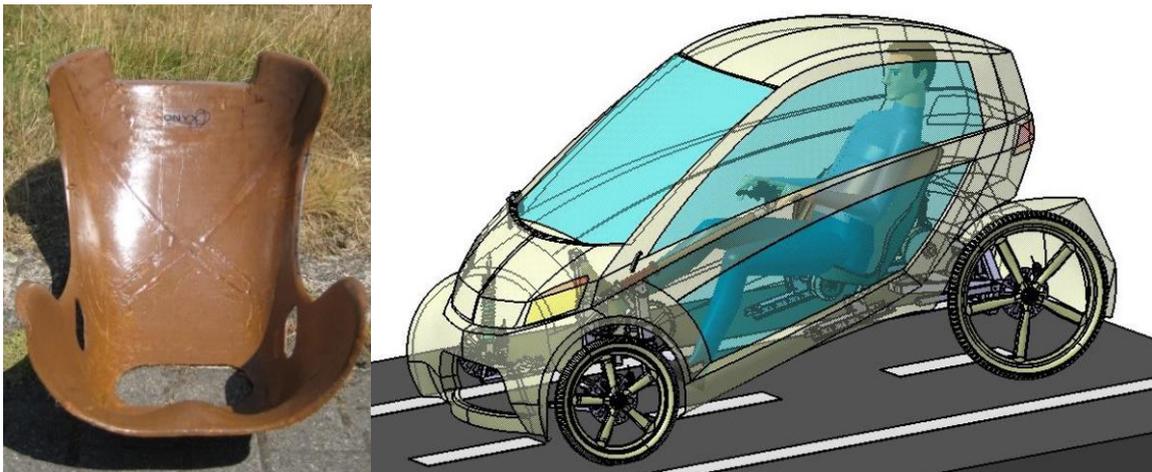


Abbildung 10 Sitzschale Windexplorer und CAD Ansicht zur Anwendung im ONYX E-Mobil AGT

Quelle: eigene Darstellung ONYX

Hierzu wurden Sitzproben in verschiedenen Modellen in Liegerädern, Velomobilen, Rennfahrzeugen und eigenen Sitzmodellen (z.B. die oben dargestellte Hanfsitzschale, ca. 5 kg), die auf Basis der geometrischen Parameter geeignet schienen, durchgeführt und bewertet.

Parallel wurden Ideen gesammelt und skizziert (siehe Abb.11), um das bei ONYX vorhandenen Leichtbauwissen mit Composite-Werkstoffen auszuschöpfen. Es konnte gezeigt werden, dass mittels der Compositebauweise speziell mit CFK Potential besteht, das Zielgewicht von 3 kg um 50% zu unterschreiten, bei einer Stückzahl von 400 Einheiten/Jahr für 200 E-Mobile/Jahr würden die Herstellkosten jedoch über 100 €/Stk. liegen.

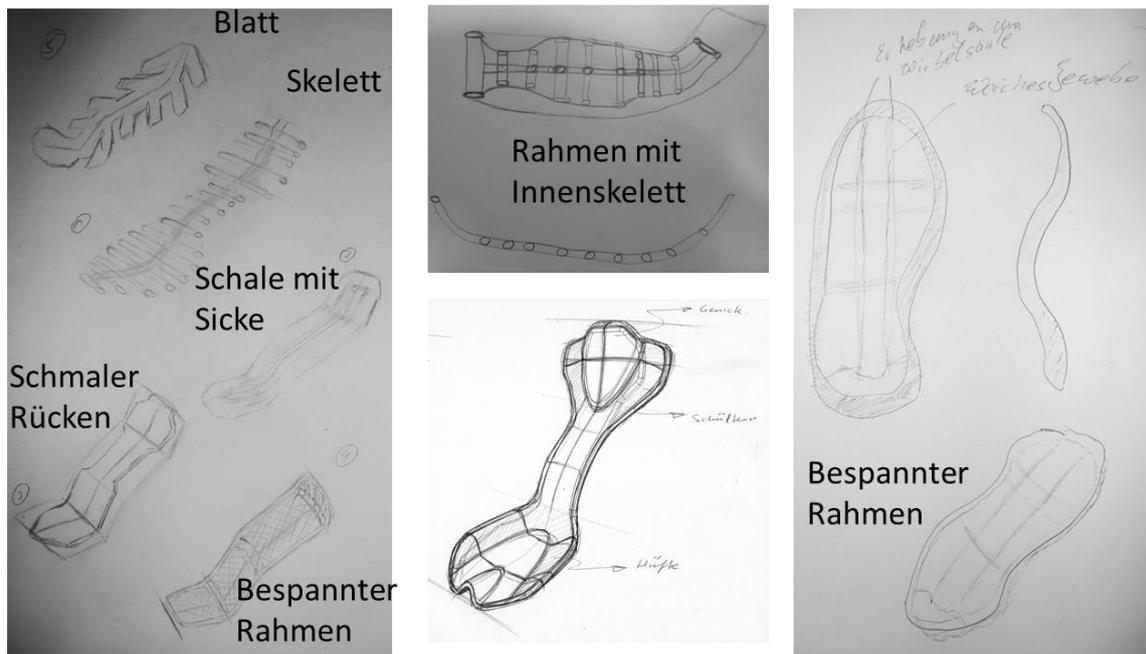


Abbildung 11: Skizzen Eigenentwicklung

Quelle: eigene Darstellung ONYX

Auf der Suche nach Zukaufteilen in Asien für das gesamte E-Mobil wurden wir bei einem Zuliefererbesuch in dem unter anderem auf Fahrradkomponenten spezialisierten Land Taiwan eingeladen, ein 2-sitziges Pedelec für Freizeitparks Probe zu fahren. Dieses war mit Sitzen aus Korea (siehe Abb.12) bestückt, die im Blasformverfahren (Beispiel PET-Kunststoffplatten) hergestellt werden.



Abbildung 12: Bilder Zukaufteil "Thermoplast Sitz Korea"

Quelle: eigene Darstellung, ONYX

Der „Korea-Sitz“ wiegt 2,3 kg inklusive Sitzpolster, verfügt über integrierte Gewindeeinsätze zur Anbindung an die Sitzverstellung, kostet bei einer Abnahme umgerechnet ca. 20 € inkl. Transport & Zoll und bietet ausreichend Seitenhalt. Erste Prototypen wurden im AGT getestet und als zu weich und

instabil durch die Hohlform bewertet. Dieses Problem konnte gelöst werden, in dem der Hohlraum der Sitze im Bereich der Anbindungspunkte nachträglich von ONYX mit PU-Schaum ausgeschäumt wurde.

Die vergleichenden Testfahrten im AGT mit der „Hanf-Sitzschale“ in Composite-Bauweise und dem Zukauf Sitz aus Korea ergaben eindeutig, dass die Sitzschale für Personen bis 80 kg und ca. 180 cm als sehr angenehm und sportlich empfunden wird.

Der „Korea-Sitz“ erwies sich als kompatibel für alle Nutzergrößen, aber nicht so komfortabel und sportlich.

Aus wirtschaftlichen und zeitlichen Gründen wurde entschieden, für die Einstiegsvariante den mit PU-Schaum optimierten „Korea-Sitz“ zu verbauen und als Sonderausstattung 3 Sitzschalengrößen (S, M, L) in Composite-Bauweise für höhere Anforderung in Bezug auf Komfort und sportlichen Seitenhalt anzubieten. Diese sollen genauso wie das Monocoque in GFK-, CFK- und Naturfaserbauweise angeboten werden.

### 4.3 Markt- und Wettbewerbsanalyse (Competitive-Intelligence-Analyse, „CI“)

Um den Markt für das Marktpotential für das ONYX E-Mobil und den vorhandenen Wettbewerb beurteilen zu können, wurde ein Projekt- und Unternehmensspezifisches „Monitoring-Konzept“ im Rahmen der CI entwickelt. Für die Datenerhebung der CI werden ausschließlich legale und verifizierbare Quellen genutzt. Unsichere und nicht verifizierbare Daten sollen in der Erhebung keine Verwendung finden. Indikatoren werden in der ersten Rohdatenbeschaffung vernachlässigt. Die Informationsbeschaffung beschränkt sich derzeit auf offizielle zitierfähige Internetseiten, veröffentlichte Geschäftsberichte, Fachzeitschriften und -zeitschriften. Kostenpflichtige CI-Datenbanken werden aufgrund der Kosten in der ersten Projektphase noch nicht in Betracht gezogen. Nach den ersten Iterationen der Datenerhebungen und -aufbereitung können vorläufig direkte Wettbewerber identifiziert werden. Auf Basis dieser Identifizierung muss eine erneute systematische und kontinuierliche Recherche aller Veröffentlichungen vorgenommen werden, um entsprechende Strategien und Anpassungen in der Marktausrichtung sowie im Businessplan entwickeln zu können.

#### 4.3.1 Monitoring

Damit ONYX stetig aktuelle, relevante und strukturierte Informationen zur Verfügung stehen, ist ein individuelles Monitoring-Konzept erforderlich. Dieses Konzept muss eine kontinuierliche, systematische Marktbeobachtung vorsehen, mit der die strategischen sowie operativen Veränderungen bei den Wettbewerbern erkannt werden. Im Rahmen einer projektbegleitenden Masterarbeit mit dem Titel „Competitive-Intelligence-Analyse und Entwicklung eines nachhaltigen, barrierefreien, pedelec-angetriebenen Elektrofahrzeugs in Composite-Bauweise“, 2012/13, M.Sc. Markus Henrichs wurde eine entsprechende CI-Strategie bei ONYX entwickelt.

Durch die schrittweise Implementierung der in Abb. 13 dargestellten CI-Struktur soll ein langfristiger Unternehmenserfolg auch für Folgeprojekte erzielt werden.

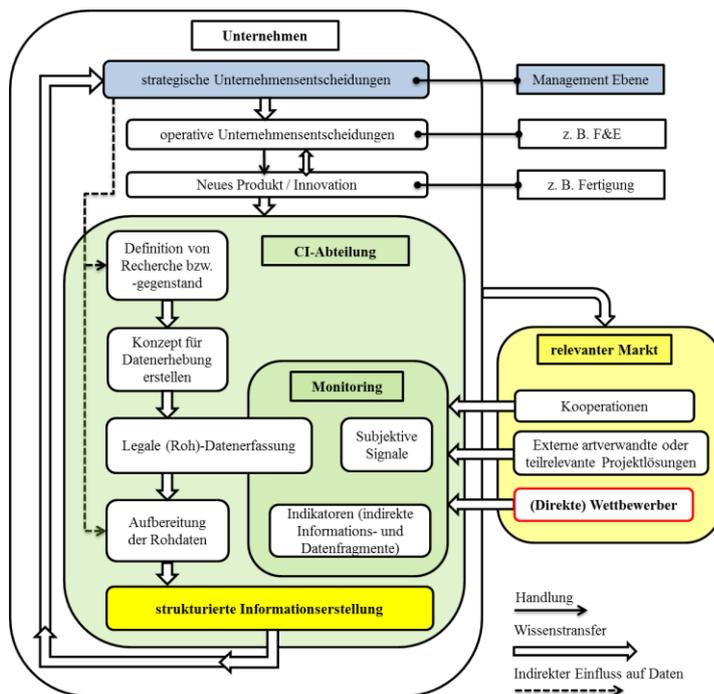


Abbildung 13: Competitive-Intelligence-Struktur ONYX composites GmbH

Quelle: Masterarbeit Markus Henrichs, ONYX

#### 4.3.1.1 Recherchegegenstände

Im Speziellen wird der Markt für Fahrzeuge mit den Zulassungsklassen L1e bis L7e untersucht. Um einen ganzheitlichen Überblick zu bewahren, werden aber auch alle anderen E-Mobilkategorien regelmäßig untersucht. Die Recherche soll insbesondere auf die Klasse L6e ausgerichtet werden. Hieraus leiten sich folgende Recherchegegenstände ab, wozu die Informationen erhoben werden sollen:

- **Hersteller (für L1e bis L7e):**  
Erfahrung (in F&E von Leichtkraftfahrzeugen), Mitarbeiteranzahl, Kernkompetenzen, Umsatzverlauf, Geschäftsberichte.
- **Fahrzeugcharakteristika relevanter Modelle:**  
Gewicht, maximale Geschwindigkeit, maximale Reichweite, Anzahl der Personen, Verwendeter Materialmix, Antriebslösungen, Zuladung, Preis, Karosserie, Türen, Barrierefreiheit, Nachhaltigkeit.
- **Besonders hervorzuheben:**  
Innovationen, die als „Unique Selling Proposition“ (USP) genutzt werden.

Aufgrund der in der Einleitung aufgezeigten Leitgedanken des ONYX E-Mobil-Konzepts und der zuvor beschriebenen Recherchegegenstände, lassen sich folgende Kriterien ableiten, die den **direkten** Wettbewerber identifizieren:

- Deutsche und Hersteller im europäischen Ausland,
- Herstellung von L6e oder L7e Fahrzeugen (auch Verbrenner),
- Bauteile in Composite- bzw. Faserverbund-Bauweise,
- Einsatz von Hybrid- bzw. reinen Elektroantrieben,
- Portfolio mit mind. einem Fahrzeug von einem Einstiegspreis < 12.000 €,
- barrierefreie Fahrzeugoptionen im Angebot.



#### 4.3.1.3 Erläuterungen zur Ergebnismatrix:

Ziel der Analyse war es, Hersteller aus dem Markt als Wettbewerber zu identifizieren und hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen über Kennzahlen einzuschätzen. Zur grafischen Veranschaulichung wurden die erfassten Hersteller in einer Tabelle aufgelistet und die erhobenen Daten entsprechend gewichtet.

Die Gewichtung erfolgte durch '+' und '-' Zeichen, bei der '+++' für sehr stark ausgeprägte über 'O' für neutral bis hin zu '---' sehr schwach ausgeprägte Charakteristika stehen. Ein wichtiger Kernpunkt war hierbei die möglichst objektive Erkennung und Bewertung der Kernkompetenzen des eigenen Unternehmens und der Wettbewerber für die Ermittlung der Wettbewerbspositionen bzw. der entsprechenden Kennzahlen.

Mit der Hervorhebung der **ONYX-Kernkompetenzen**:

- strukturierter Leichtbau in Composite-Bauweise,
- Nachhaltigkeit durch Verwendung von Naturfasern,
- Simulationsmöglichkeiten für Festigkeit, Steifigkeit und Materialversagen im statischen und dynamischen Fall,
- eigene Herstellung in Kleinserie,

die bei der Positionierung am Markt stark ausgeprägt sind (+++), lassen sich mögliche Wettbewerbsvorteile ableiten, die in das Fahrzeug- und Marketingkonzept mit einfließen können. In Tabelle 1 sind die erhobenen und gewichteten Daten in einer komprimierten Ergebnismatrix zusammengefasst. Eine ausführliche Matrix wird als digitale Version bereitgestellt. Die ONYX-Kernkompetenzen sind zum Vergleich in den jeweiligen Spalten farbig hervorgehoben. Die Kennwerte in der letzten Spalte geben einen Hinweis über die Stärke des identifizierten Wettbewerbers.

Eine große Herausforderung bestand in der Interpretation der nicht messbaren Charakteristika der Wettbewerber. Diese mussten durch bestimmte Indizien, wie z. B. Zeitraum des Firmenbestehens, eingesetzte Fertigungstechnologien etc. für die Einschätzung der Erfahrungswerte (s. Tabelle 1, Spalte 1) gewichtet werden. Ein wichtiger Faktor, der die subjektiven Eindrücke bei der Gewichtung stark beeinflusste, waren die Marketingaussagen bei den Firmenpräsentationen. Je professioneller die Produkte präsentiert wurden, desto stärker bestand die Gefahr, eine Merkmalsausprägung subjektiv zu bewerten. Deutlich wurde auch, dass mit steigender Professionalität der Produktpräsentation, die Firmengröße anstieg. Dies war ein weiteres Indiz für mehr Know-How, Erfahrung und strategische Unternehmensführung.

Persönliche Fach- und Verkaufsgespräche konnten einen Aufschluss über die zuvor gesammelten Eindrücke geben und die entsprechende Subjektivität minimieren. Als Beispiel sei hier der Velomobilersteller Leiba genannt, der innovative Produktlösungen präsentiert und durch seine praktischen Erfahrungen nicht zu unterschätzen ist. Aufgrund einer anderen strategischen Marktausrichtung und der nicht integrativen Composite- bzw. Faserverbundbauweise wird dieser Wettbewerber jedoch als mittelmäßig eingestuft. Insbesondere bei dem erhobenen Recherchegegenstand „Barrierefreiheit“ wird bei der Betrachtung der Ergebnismatrix deutlich, dass nur zwei Wettbewerber ein Konzept vorstellen, bei denen die Bedürfnisse von Menschen mit Bewegungseinschränkungen berücksichtigt werden. Dies verstärkt die Annahme des Bestehens eines potenziellen Nischenmarktes in diesem Bereich.

#### 4.4 SWOT-Analyse

Wie aus den Kennzahlen der Tabelle 1 ersichtlich ist, wurden folgende starke Wettbewerber identifiziert:

- Floop (Niederlande),
- Hiriko (Spanien) und
- Waaijenberg (Niederlande).

Aufgrund nicht vorhandener Vertriebskanäle in Deutschland, wurde hier kein identifizierter Hersteller als direkter Wettbewerber eingestuft. Somit impliziert die Kennzahl 5 einen starken Wettbewerber.

Das zu Grunde gelegte Ziel für die SWOT-Analyse ist es, die Kernkompetenzen und Fähigkeiten eines Unternehmens eindeutig abzugrenzen, um strategische Fehlentscheidungen zu vermeiden. Sie kann z. B. für die Herstellung eines Pedelec angetriebenen, nachhaltigen, ultraleichten E-Mobils in Composite-Bauweise für den urbanen Lebensraum herangezogen und mit den zwingend erforderlichen Anforderungen für eine wirtschaftliche Realisierbarkeit verglichen werden. Die nachfolgende SWOT-Analyse der Firma ONYX composites GmbH stellt einen direkten Vergleich in Tabelle 3 dar (Vgl. Competitive Intelligence (2006), Rainer Michaeli, Springer Verlag, S. 404ff).

Stärken	Schwächen
<b>Technologie</b> - hohes Know-How im Bereich Faserverbund - günstiges Herstellen von FVW Bauteilen durch Vakuuminfusion - innovative Produkt- und Fertigungskonzepte - Konstruktion und Simulation in FVW-Modellen - eigenständige Fertigung <b>Unternehmensstruktur</b> - unabhängig - flexibel - erweiterte Kompetenzen durch Kooperations-	<b>Technologie</b> - keine Automatisierung - nur Kleinstserienfertigung - lange Zyklus- und Fertigungszeiten <b>Unternehmensstruktur</b> - anfällig für schwankende Auftragslage - starke Abhängigkeit von studentischen Hilfskräften - keine strategische Marktausrichtung hinsichtlich spezifischer Produktlösungen
Chancen	Risiken
- Durch Unabhängigkeit und Flexibilität Möglichkeit für innovative Produktlösungen - Materialforschung und Entwicklung durch flache Hierarchiestruktur schnell realisierbar -	- überschätztes Potenzial von Produktlösungen aufgrund zu schwacher Wettbewerbskenntnisse - teure Sonderanfertigungen von individuellen Produkten

Tabelle 3: SWOT-Analyse für ONYX composites GmbH

(Quelle: Masterarbeit Markus Henrichs)

Auf der Basis dieser Analyse und dem Vergleich der starken Wettbewerber lässt sich folgende Strategie ableiten:

Durch intensive Marktforschungs- und Kundenbedarfsanalysen sollte die Marktausrichtung hinsichtlich des ONYX E-Mobils gefestigt werden. Hierbei entsteht eine evidente Datenbasis, die bei kontinuierlicher und simultaner CI-Analyse in diesem Segment dem Unternehmen einen strategisch signifikanten Vorteil verschafft. Weiterhin sollte das Kernpotenzial der eigenständigen Fertigung und der damit verbundenen Möglichkeit, Konstruktions- und Simulationsmodelle durch den Einsatz von Faserverbundwerkstoffen bereitzustellen, vertieft werden, um die Kernkompetenz des Unternehmens stärker auszubauen und einen „Qualitätsstatus“ in diesem Bereich zu realisieren. Dieser sollte durch ein strukturiertes Marketingkonzept den Bekanntheitsgrad der Firma und des Produktes erhöhen.

#### 4.5 Patentrecherche

Um möglicherweise geschützte technische Lösungen für das ONYX Mobilitätskonzept zu identifizieren und zu wahren, wurde eine Patentrecherche durchgeführt. Natürlich soll aber gleichzeitig auch überprüft werden, ob die ONYX composites GmbH Patentansprüche geltend machen kann. Des Weiteren ist es hilfreich, über die Patentrecherche an Ideen, Lösungen und Informationen zu gelangen, die nicht bei einer einfachen Netzrecherche auftauchen und somit den Lösungshorizont für die Entwicklung erweitern.

Hierzu wird die Rechercheplattform *DepatisNet* [5] des Deutschen Patent- und Markenamts, kurz *DPMA*, genutzt. Auf dieser Internetseite lassen sich sowohl Offenlegungs- und Patentschriften als auch internationale Patentklassifikationen recherchieren.

Unter dem Recherchemodus „Einsteiger“, lässt sich mit Hilfe der Volltextsuche eine wortqualifizierte Auswahl an Offenlegungs- und Patentschriften anzeigen. Für die Patentrecherche wurden beispielhaft folgende Suchbegriffe verwendet:

- Monocoque
- E-Mobil
- Hybridantrieb
- Leichtkraftfahrzeug & dem entsprechende Varianten

Die nachfolgenden Ergebnisse beinhalten aktuell zwei Recherchen bzw. die Ergebnisse, deren Inhalt sich am ehesten mit der Funktion des zu entwickelnden Ultraleicht Elektromobils überschneidet. Beide Schriften werden in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Beide Schriften stellen keine Gefährdung für die aktuell verfolgten Lösungsansätze da, was folgend kurz begründet wird.

- Offenlegungsschrift **DE 198 05 527 A1** (Prof. Dr.-Ing. Eberhardt Scharnowski, Halle, DE)

Diese Offenlegungsschrift (Anmeldetag 11.02.98) setzt sich sehr ähnliche Projektziele unter der Überschrift „Ultraleichtes Vierradfahrwerk“. Bei aller Ähnlichkeit auch in den Abmaßen und der Verwendung von Fahrradkomponenten, basieren die formulierten Ansprüche auf eine Bodengruppe, die dafür vorgesehen ist eine Karosserie in Differentialbauweise zu adaptieren.

Beim ONYX E-Mobil Konzept hingegen wird der Ansatz der Integralbauweise verfolgt und geschlossene Composite-Monocoquezelle als selbsttragende Struktur und zentrale Schnittstelle zwischen Fahrwerk, Antrieb und Interieur entwickelt.

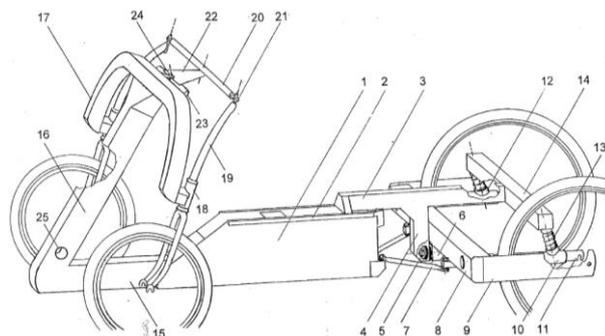


Abbildung 14: Offenlegung Ultraleichtes Vierradfahrwerk

- Gebrauchsmuster **DE 296 06 224 U1** (CARBIKE Leichtfahrzeuge GmbH & Co KG, Lindau, D)  
Dieses Gebrauchsmuster (Anmeldetag 04.04.96) unter der Überschrift „Vierrädiges, vollverkleidetes Leichtfahrzeug“ schützt eine Erfindung eines Elektro-Leichtfahrzeuges, welches vorzugsweise durch einen Hybridantrieb aus Muskel- und Elektro kraft angetrieben wird. Der übergeordnete Patentanspruch schützt eine horizontal geteilte Karosseriestruktur, welche aus einer tragenden Wanne (Metallblech oder Faserkunststoffplatten) und einem Profilrohrgestell (Spaceframe) besteht. Durch diese Mehrteiligkeit und der Verwendung von metallischen Werkstoffen zeichnet sich deutlich ein Unterschied zum ONYX E-Mobil Konzept ab.

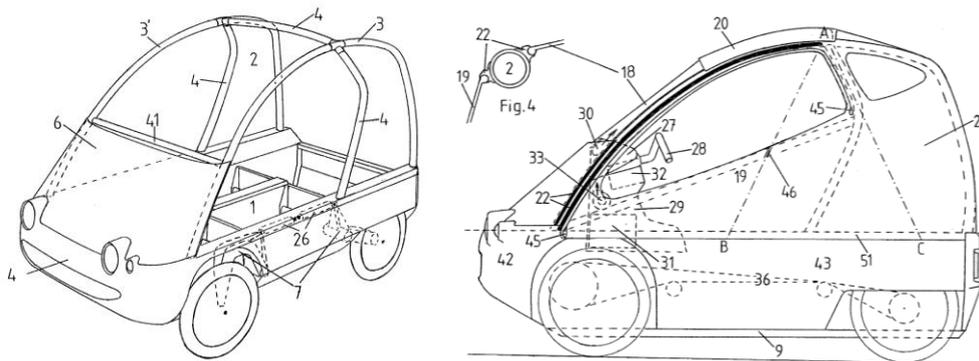


Abbildung 15: Carbike Leichtfahrzeuge GmbH

#### 4.6 Öko- und Sachbilanz

Um schon in der Entwicklung Möglichkeiten zur optimalen der Ressourcen- und Energieeffizienz speziell bei der Herstellung der zentralen und auch schwersten Baugruppe „Monocoque & Anbauteile“ zu schaffen, wird angestrebt, in der gesamten Entwicklungskette einen Material- und Prozessvergleich durchzuführen. Diese Bilanzierung soll in Bezug auf die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Produktlebensphasen Herstellung, Betrieb und Entsorgung zwischen den jeweiligen Composite-Werkstoffen und den herkömmlichen metallischen Lösungen eine ökologisch und ökonomisch optimale Materialwahl ermöglichen.

Zusätzlich soll durch diese Betrachtung ein Weg für eine transparente Bewertung des Produktes in Bezug auf heutige Marktalternativen aus Kundensicht ermöglicht werden.

Das gestiegene Bewusstsein über die Bedeutung des Umweltschutzes und möglicher Umweltwirkungen, die mit der Produktion und Anwendung von Produkten und Dienstleistungen im Zusammenhang stehen, hat das Interesse an der Entwicklung von Methoden erhöht, die zum besseren Verständnis und zur Berücksichtigung dieser Wirkungen dienen. Eine der dafür entwickelten Methoden ist die Ökobilanz nach „DIN EN ISO 14040“. Sie betrachtet den gesamten Lebensweg eines Produktes, von der Rohstoffgewinnung und -Erzeugung über die Energieerzeugung und Materialherstellung bis zur Anwendung, Abfallbehandlung und endgültigen Beseitigung.

Um eine Grundlage für die Bewertung der unterschiedlichen Faserkunststoffverbunde für die E-Mobil Entwicklung zu erarbeiten, wurde ein bekanntes Leichtbauprodukt der Firma ONYX, der Monocoque-

Rahmen des „ONYX-Hanfbares“ (siehe Antrag zu diesem Projekt), in einer Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 untersucht.

Zur Einarbeitung in das Thema Öko- und Sachbilanz in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde ein Vorgehensmuster erarbeitet. Es wurden vorläufig die Faserwerkstoffe CFK und Hanffaserverstärkten Kunststoff (HK) am Beispiel des ONYX Fahrradrahmens untersucht. Die funktionelle Einheit wurde auf 1000 Stück festgelegt, woraus dann die spezifischen Fasermassen zur Analyse ermittelt wurden. In Abbildung 16 sind die einzelnen Prozessmodule und die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen in Bezug auf die funktionelle Einheit grafisch abgebildet.

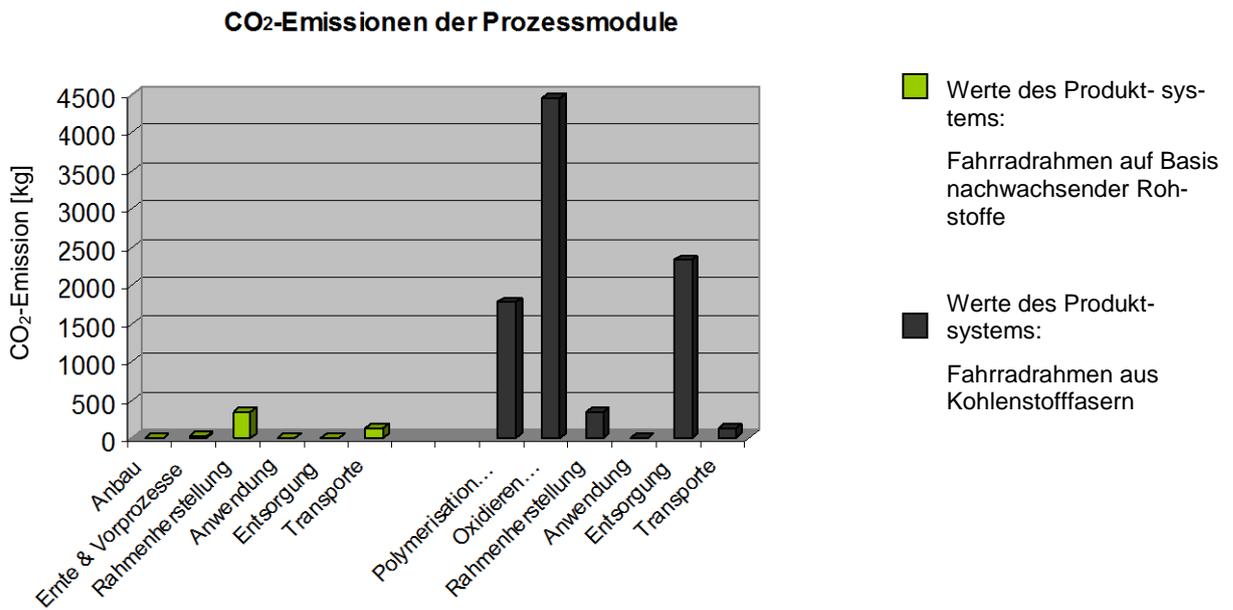


Abbildung 16: CO<sub>2</sub>. Emissionen der einzelnen Prozessmodule

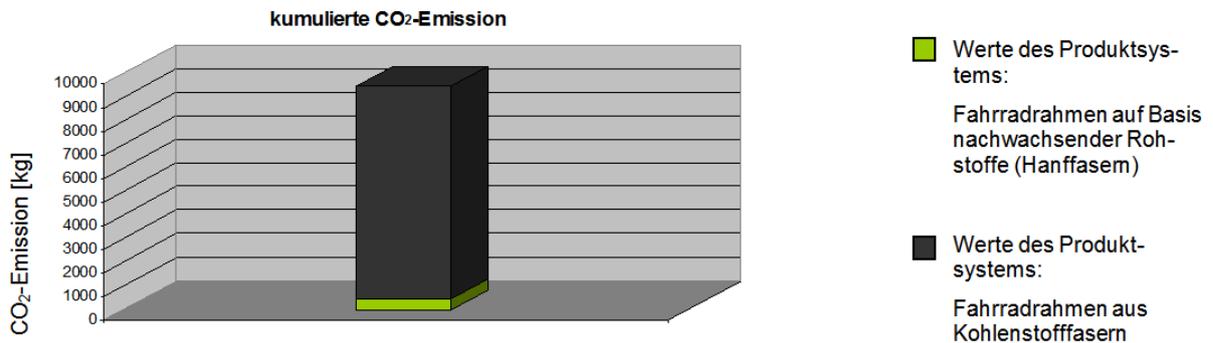


Abbildung 17: kumulierte CO<sub>2</sub>-Emission im Vergleich der beiden Produktsysteme

Die Erarbeitung des Vorgehensmusters für die Bilanzierung ermöglicht es nun in der weiteren Entwicklung strukturiert verschiedene Faserverstärkte Kunststoffe für die Struktur- und Anbauteile miteinander zu vergleichen.

Ziel ist es in der Projektphase 2, die Glasfaservariante im Faserspritzverfahren mit ungesättigtem Polyesterharz (mit möglichst hohem Anteil von nachwachsenden Rohstoffen) zu untersuchen. Parallel sollen valide Daten zu den herkömmlichen Produktlebenszyklen von Stahl- und Aluminiumkarossen erfasst werden, um die aktuell verfügbaren Karosserielösungen mit den 3 ONYX E-Mobilmonocoque Materialvarianten vergleichen zu können. Hierbei ist es wichtig, dass eine genaue Untersuchung und Definition der spezifischen Systemgrenzen stattfindet, um nicht Äpfel mit Birnen zu vergleichen.

Das Vorgehensmuster vom Fahrradrahmen wird dann auf die auskonstruierten E-Mobil Bauteile übertragen und als Entscheidungsbasis und Hintergrundinformation für die ONYX E-Mobil-Kunden zur Verfügung gestellt.

Wir erhoffen uns durch diese transparente Kommunikation der Gesamt CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der Material- und Energieaufwendungen unsere Produktpalette als seriöser Vorreiter im E-Mobil Markt, aber auch unserem Kernmarkt dem Maschinen- und Anlagenbau wahrgenommen zu werden, sind uns aber auch über die damit verbundenen Risiken bewusst.

- Denn die von uns geplante High end Variante aus Sichtkohlefaser (extrem leicht, schnell und optisch faszinierend sowie mit Potential zu sehr hohen Margen) wird bei dieser Studie schlecht abschneiden, so dass der Kunde sich wissend gegen diese „Ökountersuchung“ entscheiden muss, wenn er sich ein „ONYX High end Fun E-Mobil“ kauft und nicht das vernünftigeren Naturfaserbasierte Modell. So muss ONYX evtl. auf hohe Margen, die das High end Modell bietet, verzichten, hofft aber langfristig über ein „must have“ durch ein gutes Marketing in Bezug auf die Naturfaservariante schnell zu wachsen und über die Masse entsprechende Gewinne einzufahren.
- Parallel steht ONYX als Vorreiter mit dieser transparenten ganzheitlichen Emissions- und Ressourcenbetrachtung vorerst alleine da und bietet Kritikern Angriffsfläche. ONYX muss entsprechend mit den kritischen Fragen aus Kunden- und Wettbewerbssicht umgehen und das kostet viel Zeit um ernsthaft und glaubwürdig die „Ökotransparenz“ zu betreiben.

#### 4.7 Auslegung und Konstruktion Aggregateträger (AGT oder auch Sitzkiste)

Aus den zuvor gewonnen Erkenntnissen im Rahmen der Design- und Ergonomiestudie, den erhobenen Marktinformationen und den technischen Vorgaben aus den Projektzielen sowie den gesetzlichen Randbedingungen wurde die Konstruktion einer modularen Bodengruppe (Grundaufbau des AGT's) realisiert. Diese ist in Bezug auf Radstand und Spurweite veränderbar, damit unterschiedliche Varianten des Antriebsstrangs und der Fahrwerksanbindung getestet werden können. Zusätzlich sind die Sitze in Höhe und Abstand zum Tretlager verstellbar. Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die Entwicklungsschritte von der Konstruktion bis zur Fertigung.

##### 4.7.1 Antriebskonzept

Im Rahmen der erweiterten Konzeptstudie wurden unterschiedliche Antriebskonzepte für den Elektro-Humanhybridantrieb untersucht und bewertet. Der Fokus für die Komponentensuche lag dabei aus Gewichts- und Kostengründen im Zubehörmarkt von Pedelec's und angrenzenden Fahrzeugklassen wie z.B. Lastenrikschas (dt. Menschenkraftwagen), wie sie man häufig in Asien oder auch in den letzten Jahren in Europäischen Großstädten vermehrt antrifft. Die Tabelle 4 stellt die 3 möglichen Elektromotor-Antriebsvarianten für das ONYX E-Mobil in Kombination mit einem gekoppelten Humanantrieb inklusive Bewertung da. Der eindeutige Favorit für die Zukunft ist die „Drive by Wire-Lösung“, bei der mittels Muskelkraft ein Generator den zentralen Akku kontinuierlich auflädt. Der Akku speist hierbei direkt eine der beiden Elektromotorlösungen Mittelmotor oder Radnabe. Leider ist die Entwicklung aktuell noch auf Prototypenstatus und die Kosten für Serienkomponenten sind noch nicht absehbar.

	Mittelmotor	Radnabenmotor	Drive by Wire
<b>+</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor arbeitet immer synchron zur Tretkurbel</li> <li>Motor nutzt das Getriebe</li> <li>Kleine Bauform</li> <li>Guter Wirkungsgrad</li> <li>Kompakter und leichter Motor</li> <li>Nabenschaltung möglich</li> <li>Einfachste Lösung unter den gegebenen Anforderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor arbeitet unabhängig von Tretkurbel</li> <li>Motor ist direkt mit Antriebsachse verbunden</li> <li>Rekuperation möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Benötigt geringen Bauraum</li> <li>Entfall von: <ul style="list-style-type: none"> <li>Ketten</li> <li>Ritzeln</li> <li>Getriebe</li> <li>Antriebswelle vorne</li> <li>Aufnahmestrukturen für genannte Komponenten</li> </ul> </li> <li>Größtes Innovationspotential</li> </ul>
<b>-</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gesamtleistung muss komplett vom Getriebe übertragen werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Höheres Gewicht im Vergleich zu Mittelmotor</li> <li>Keine Nabenschaltung möglich</li> <li>Motor kann nicht extern angesteuert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Derzeit nur Prototypenstatus</li> </ul>

Tabelle 4: Vergleich drei mögliche Elektromotoren

Auf Basis der Konzeptbewertung kristallisierte sich ein Hybridkonzept aus Pedalkettenantrieb in Kombination mit der Mittelmotorvariante heraus. Die 3 Hauptargumente für die Entscheidung sind der kompakte elektrische Antrieb, die Kräftentrennung zwischen Pedal- und Elektroantrieb und die Möglichkeiten, vorhandenen Bauteile aus dem Fahrradesektor zu nutzen. Siehe hierzu Abb. 18, welche die beiden Antriebseinheiten im Rahmen einer Draufsicht auf den AGT darstellt:

1. Tretkurbelantrieb mit variablem Zwischengetriebe — — —
2. Direkter Motorantrieb auf Differential an Hinterachse (2KW) — — —

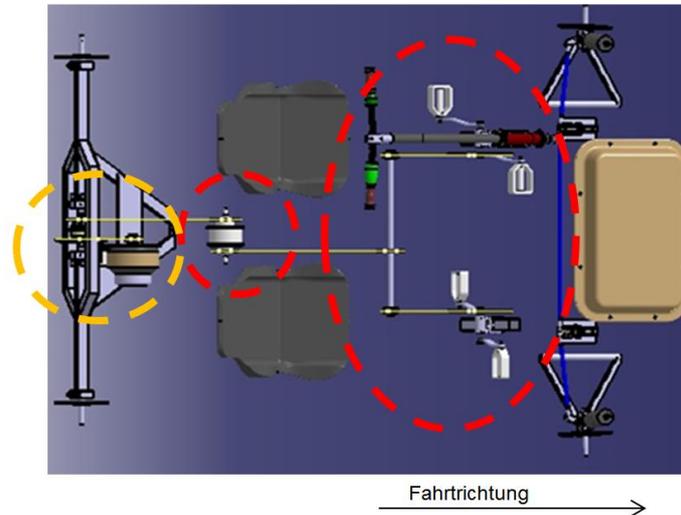


Abbildung 18: Positionen Tretkurbel- und Elektroantrieb ohne Monocoque

Quelle: eigene Darstellung

Die zweite Entscheidung die getroffen werden musste, war die zwischen Vorderrad- und Hinterradantrieb. In der Tabelle 5 werden die beiden Lösungen miteinander verglichen. Trotz der vielen Vorteile wurde sich gegen die Vorderantriebsvariante entschieden, da die Entwicklungsaufwände für eine Neukonstruktion den Zeit- und Kostenrahmen gesprengt hätten. Auch die Zielsetzung der Verwendung von möglichst vielen günstigen Bauteilen aus dem Fahrradbereich konnte nur durch die Umsetzung eines Hinterradantriebes erreicht werden.

	Vorderradantrieb	Hinterradantrieb	System	NuVinci N360	Rohloff Speedhub 500/14	Shimano Nexus 8
<b>+</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompakte Bauweise</li> <li>• Keine Ketten zur Hinterachse</li> <li>• Freie Gestaltung der Hinterachsgeometrie</li> <li>• Mehr möglicher Gepäckraum im Heck</li> <li>• Abgesenkter Schwerpunkt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Zukaufmöglichkeiten bei Antriebswellen</li> <li>• Wenig aufwendige Neukonstruktionen</li> <li>• Simple Technik</li> </ul>	Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandlungsbereich 360%</li> <li>• Gewicht Nabe: 2605g</li> <li>• Preis: ca. 380€</li> <li>• Stufenlos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandlungsbereich 524%</li> <li>• Gewicht Nabe: 1921g</li> <li>• Preis: ca. 900€</li> <li>• 14 Gänge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandlungsbereich 307%</li> <li>• Gewicht Nabe: 1750g</li> <li>• Preis: ca. 150€</li> <li>• 8 Gänge</li> </ul>
<b>+</b>			<b>+</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stufenlos</li> <li>• Automatische Steuerung NuVinci Harmony als Option</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Größter Wandlungsbereich</li> <li>• 14 ideal abgestufte Gänge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringste Masse</li> <li>• Preis</li> </ul>
<b>-</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Gelenkwellen verfügbar</li> <li>• Viele Eigenkonstruktionen erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kettenlinie durch das Fahrzeug</li> </ul>	<b>-</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandlungsbereich nur 8 Gänge</li> </ul>

Tabelle 5: Getriebevergleich

Tabelle 6: Vorderradantrieb vs. Hinterradantrieb

Quelle: Eigene Darstellung

Um den Fahrzeugnutzern zu jedem Zeitpunkt (Anfahrt aus Stillstand, Steigungen und Bergabfahrten) die Möglichkeit zu bieten, das Fahrzeug mit Muskelkraft zu unterstützen, ist es notwendig, ein Getriebe zwischen dem Tretkurbel- und Elektroantrieb zu schalten. Hierzu wurde eine Recherche durch-

geführt und die 3 Favoriten miteinander verglichen. Siehe hierzu Tabelle 4. Es ist vorstellbar, dass je nach Zahlungsbereitschaft der Kunden jedes dieser Getriebe verbaut werden könnte. Für den AGT wurde sich aus dem Hauptgrund des enormen Wandlungsbereiches für die hochpreisige Rohloff-Lösung entschieden.

#### 4.7.2 Notwendige Motorleistung

Für die Auslegung der benötigten elektrischen Motorleistung wurden folgende Fahrwiderstände in Betracht gezogen:

$$P_{ges} = (P_{roll} + P_{Luft} + P_{Beschl.} + P_{Steig}) * \eta_A$$

$P_{ges}$  = Gesamtleistung

$P_{roll}$  = Rollwiderstandsleistung (Rollwiderstandsbeiwert = 0,015)

$P_{Luft}$  = Luftwiderstandsleistung ( $c_w=0,35$  ;  $A= 2,06 \text{ m}^2$  → Smart Fortwo)

$P_{Beschl.}$  = Beschleunigungsleistung

$P_{Steig}$  = Steigleistung

$\eta_A$  = Wirkungsgrad Antriebsstrang (0,9)

Die benötigte elektrische Leistung bei konstanter Fahrt von 45 km/h wurde anhand der im Lastenheft definierten Daten errechnet (siehe unten). Die erforderliche elektrische Leistung beträgt somit 1,4 kW.

- Anzahl Insassen: 2
- Gewicht Insasse: 75 kg
- Leistung mechanisch pro Insasse: 50 W
- Zuladung: 50 kg
- Fahrzeuggewicht ohne Akku: 100 kg
- Gewicht Akku: 20 kg

Zur Verbesserung des Beschleunigungspotenzials und der Steigfähigkeit wurde die benötigte elektrische Leistung bei der Standardvariante 2 kW festgelegt.

#### 4.7.3 Reichweitenberechnung

Zur Auslegung der Akkukapazität wurde der innerstädtische Anteil des „Neuen Europäischen Fahrzyklusses“ (NEFZ-ECE) herangezogen. Das zugrunde liegende Fahrprofil ist zwar nicht mit real gefahrenen Zyklen vergleichbar, bietet jedoch eine optimale Vergleichbarkeit zu verbrennungsmotorischen Antrieben.

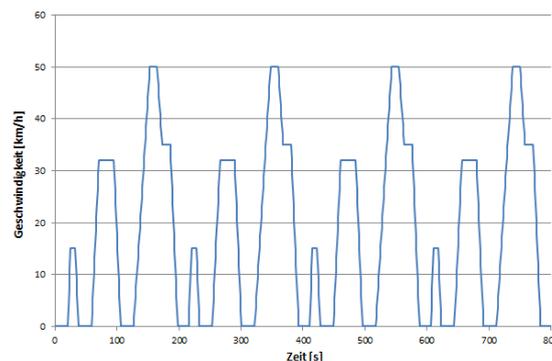


Abbildung 19: Geschwindigkeit- über Zeitdarstellung Quelle: Eigene Darstellung

Die in folgender Tabelle dargestellten Akkukapazitäten in Abhängigkeit der Reichweite wurden für eine Betriebsspannung von 24 V ausgelegt (Aktuell wird aber das Hochsetzen der Antriebsspannung auf 48V verfolgt um die Stromstärke und somit die Dimensionen bei den elektr. Bauteilen zu reduzieren).

Reichweite	Kapazität
km	Ah
10	13
20	26
30	38
40	51
50	64
60	77
70	90
80	102

*Tabelle 7: Notwendige Akkukapazität in Bezug auf die Spannung 24 V und resultierender Reichweite*

*Quelle: Eigene Darstellung*

#### 4.7.4 Darstellung Umweltrelevanz

Zur Berechnung der Umweltrelevanz wurde ebenfalls der NEFZ-ECE herangezogen. Als Vergleichsfahrzeug wurde ein „Smart Fortwo“ ausgewählt, da dieser sowohl von der Fahrzeuggröße, der Anzahl der Insassen, der möglichen Zuladung und des ähnlichen urbanen Einsatzraumes in Frage kommt. Als Antriebsvariante wurde hier ein turboaufgeladener Ottomotor mit 1,0 l Hubraum verwendet. Das Fahrzeug weist einen Normverbrauch von 4,5 l/100 km Ottokraftstoff im innerstädtischen Teil des NEFZ auf.

Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde die Verbrauchsberechnung mit folgender Konfiguration des E-Mobils durchgeführt:

- Anzahl Insassen: 1
- Gewicht Insasse: 75 kg
- Leistung mechanisch Insasse: 0 W
- Zuladung: 50 kg
- Fahrzeuggewicht 100 kg
- Gewicht Akku: 20 kg
- Leistung Verbraucher: 100 W
- Akkumodus: Ohne Energierückgewinnung

In der folgenden Tabelle sind die CO<sub>2</sub> Emissionen des E-Mobils in Abhängigkeit der elektrischen Energiegewinnung dargestellt. Zum Vergleich sind die Emissionen des Smarts als direkte Emission und als Emissionen unter Betrachtung der Gesamtbilanz aufgelistet. Diese bezieht alle Emissionen ein, die für die Herstellung, Transport usw. des Kraftstoffes ausgestoßen wurden (2800 g CO<sub>2</sub>/Liter).

Art der Erzeugung	CO2 Emission/kWh *1)	CO2 Emission Emobil (4*ECE)	CO2 Emission Smart (4*ECE)	CO2 Emission Smart (4*ECE - Gesamtbilanz) *1)	Kraftstoffverbruchs-äquivalent Emobil (Otto)
-	g/kWh	g/km	g/km	g/km	l/100km
Kohle	1100	34	105	126	1,4
Gas	400	12			0,5
Wind	40	1			0,1

Tabelle 8: CO2 Emissionsvergleich E-Mobil vs. Smart Fortwo

Es wird deutlich, dass das E-Mobil unter Berücksichtigung der Gesamtbilanz ein Minimum-CO<sub>2</sub> Einsparpotential von ca. 73% aufweist. Berücksichtigt man den aktuell Strommix mit einem stetig steigenden Anteil von Wind- und Solarenergie, so erhöht sich das Einsparpotential noch einmal deutlich. Im Falle der ausschließlichen Nutzung von Windenergie für den E-Mobilbetrieb können wir davon ausgehen, dass das ONYX E-Mobil nur ein Hundertstel in Bezug auf einen konventionellen Kleinwagen an CO<sub>2</sub> emittiert.

Es ist davon auszugehen, dass die potentiellen ONYX E-Mobilkunden genau darauf achten werden, mit welchem Strommix das E-Mobil geladen wird und somit dieses Potential auch ausschöpfen.

Neben der aktuellen CO<sub>2</sub> Diskussion bietet dieses Mobilitätskonzept viele weitere Vorteile für Lebensqualität, Gesundheit und Gesellschaftliche Nutzen in den urbanen Lebensräumen der Zukunft:

- Weniger Abgase in Bezug auf Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffen, Feinstaub und Ruß
- Wesentlich weniger Lärm, besonders durch die schmalen Reifen
- Weniger Verkehrsfläche statisch und dynamisch sorgt für weniger Stau und geringer Investitionen in die Infrastruktur
- Weniger Investitionskosten in die Ladeinfrastruktur durch das „Akku to go Prinzip“

\*1) Quelle Gesamtbilanz: [www.e-stations.de](http://www.e-stations.de) – Ottokraftstoff 2800 g CO<sub>2</sub>/l (Förderung/Transport/Raffinerieemission)

#### 4.7.5 Kostenrechnung

Die nachstehende Betriebskostenberechnung beschränkt sich auf die Energiekosten und auf die Kosten für die Versicherung des Fahrzeugs. Kosten für Wartung und Verschleiß werden hier nicht in Betracht gezogen. Bei der Kostenrechnung werden folgende Fahrzeugmodelle miteinander verglichen:

- **ONYX E-Mobil Standard** mit ca. 3,1 kWh/100 km ECE-Zyklus
- **VW up** 1,0 l Ottomotor ca. 4,5 l/100 km ECE-Zyklus
- **VW E up** mit ca. 10,4 kWh/100 km ECE-Zyklus

Als Fahrprofil wird hier wiederum der NEFZ-ECE herangezogen. Die Kosten für eine Kilowattstunde Strom werden konservativ mit 0,3 €/kWh angenommen, um den stetig steigenden Strompreisen Rechnung zu tragen. Als jährliche Kosten für die ONYX E-Mobil KFZ-Versicherung werden 50 € angenommen, da es sich hier um eine L6e-Zulassung handelt. Für die beiden Vergleichsfahrzeuge wird pauschal eine Jahresbelastung für Versicherung und ggf. Steuer von 320 € angesetzt.

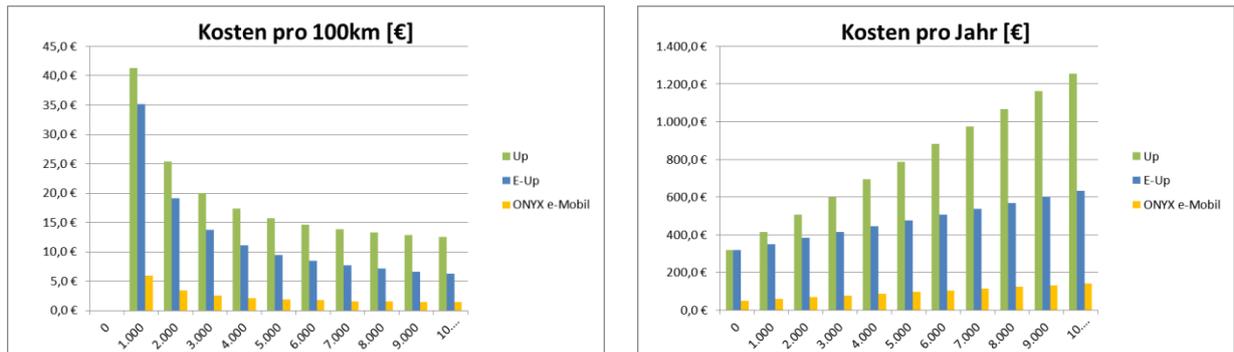


Abbildung 20: Kostenvergleich ONYX E-Mobil, VW up & VW E up Quelle: eigene Darstellung

Die Referenz des NEFZ-ECE- Fahrzyklus ist sicherlich nicht die sinnvollste aber ein erster fairer Ansatz zum Direktvergleich. Besonders durch die geringe zu beschleunigende Masse und den dafür kleinen Antriebsmotor des ONYX E-Mobils kann ein enormes Einsparungspotential im „Stop and go“-Stadtverkehr aufgezeigt werden.

Bei 10.000 km Jahresleistung kann der Nutzer über 5 Jahre im Vergleich zu einem herkömmlichen kleinen Verbrenner bis zu 5.000 € direkte Kosten einsparen. Hinzu kommen die wesentlich günstigeren Wartungsarbeiten in einer Fahrradwerkstatt mit gleichfalls günstigen Ersatzteilen.

#### 4.7.6 Fahrwerkskonzept

Das Fahrwerkskonzept sowie die geometrischen Eckdaten des Fahrwerks sind ausschlaggebend für Konstruktion, Design und besonders für das sichere und komfortable Fahrverhalten des Gesamtfahrzeuges. In den folgenden Unterpunkten wird der Weg zum aktuellen Stand im AGT beschrieben und ein Ausblick für die Serie aufgezeigt.

##### 4.7.6.1 Fahrwerkskonzept Vorderachse

An der Vorderachse wurde im ersten Schritt auf Basis des Projektes Windexplorer ein Reibungsdämpfer für die schnelle Durchführung von Versuchsfahrten mit dem AGT umgesetzt. Parallel wurde, unter Verwendung von Federbeinen aus dem Motorroller-Bereich, eine typische MacPherson-Aufhängung mit Dreiecks-Querlenker, hydraulischem Stoßdämpfer und Spiralfeder (als Federbein) konstruiert. Dieses Konzept eröffnet genug Bauraum für den Pedalantrieb zwischen den Vorderrädern. Darüber hinaus werden somit ausreichende Radeinschlagwinkel ermöglicht, um den Wendekreis im Zielbereich unter 6000 mm zu halten.

##### 4.7.6.2 Fahrwerkskonzept Hinterachse

An der Hinterachse wurde, ebenfalls unter Verwendung von Federbeinen aus dem Motorroller-Bereich, eine typische Starrachs-Aufhängung mit Längslenker, hydraulischem Stoßdämpfer und Spiralfeder (als Federbein) realisiert. Das Starrachs-Konzept erscheint aufgrund des achsseitig befestigten Antriebs-Konzepts mit Elektromotor, Kettentrieb, Differential und Gelenkwellen zielführend und effizient.

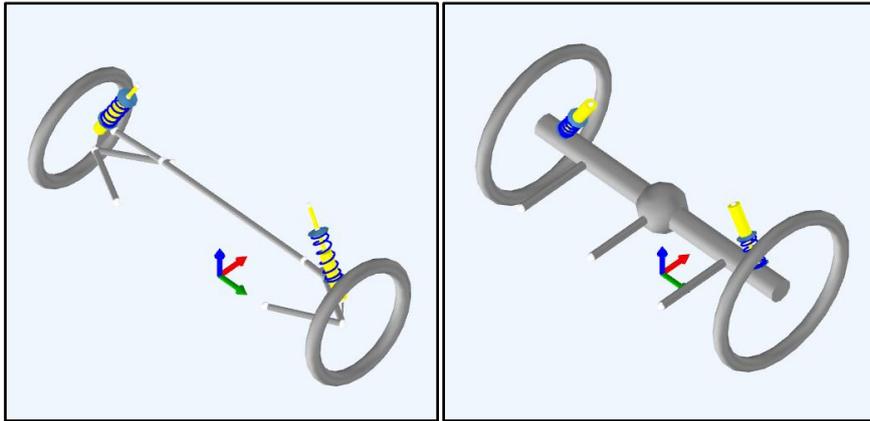


Abbildung 21: Kinematische Modelle links Vorderachse, rechts Hinterachse  
(roter Pfeil entgegengesetzt der Fahrtrichtung)

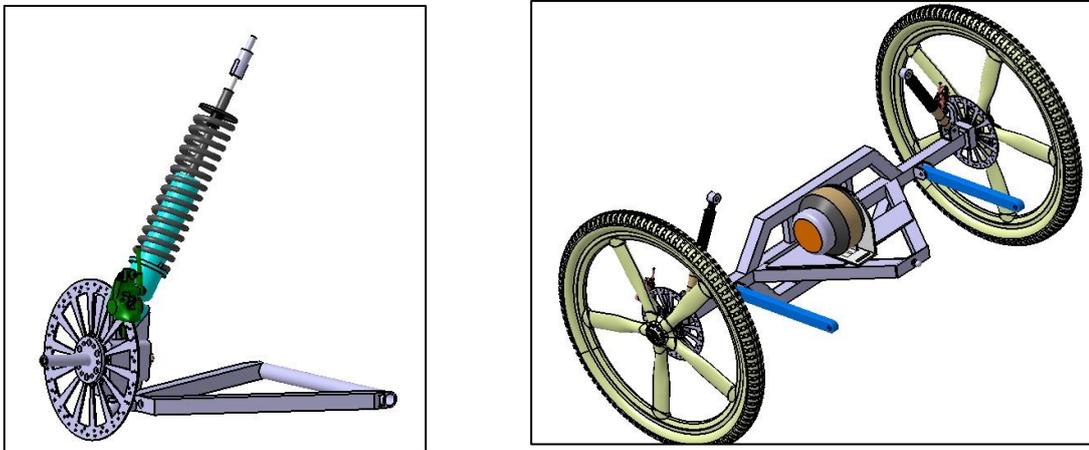


Abbildung 22: CAD Modelle links Aufnahme Federbein vorne links, rechts Starrachse hinten

#### 4.7.6.3 Räder

Bezüglich der Räder der Marke gibt es keine konkreten Anforderungen die in einer EU-Genehmigungsrichtlinie definiert wären. Die Räder mit der Bezeichnung „hard core wheels“ sind eine Konstruktion aus Kunststoff und Aluminium. Sie stammen aus dem Bereich der Rikschas/Velomobile und werden vom taiwanesischen Hersteller Samagaga geliefert.

Die ausgewählten Räder sind analog zu den folgenden Normen auf Betriebsfestigkeit getestet:

- EN 14764: 2005
  - city and trekking bicycles
  - safety requirements and test methods
  - annex 0
  - wheel & tyre assembly
  - fatigue test
- CPSC: 2004
  - requirements for bicycles
  - sec. 1512.11c
  - rim test

An der Vorderachse kommen Räder der Dimension 20 Zoll zum Einsatz, an der Hinterachse beträgt die Dimension 26 Zoll.

#### 4.7.6.4 Reifen

In EU-Richtlinie 97/24/EWG sind die Anforderungen an die Reifen definiert. So müssen die Reifen des Fahrzeugs gewisse Mindestanforderungen bezüglich Tragfähigkeit und Höchstgeschwindigkeit erfüllen.

Die Tragfähigkeit jedes Reifens muss demnach 50% der vom Hersteller definierten höchstzulässigen Achslast der jeweiligen Achse entsprechen. Der Geschwindigkeitsindex der Reifen muss überdies der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs (45 km/h) entsprechen. Alle vier Reifen des Fahrzeugs müssen dabei den gleichen Geschwindigkeitsindex haben.

Darüber hinaus müssen alle Reifen einer Achse bezüglich Hersteller, Typ, Dimension, Geschwindigkeitsindex und Tragfähigkeitsindex identisch sein. Grundsätzlich müssen sich alle Reifen frei bewegen können und dürfen nirgendwo und in keiner Fahrsituation schleifen.

Die ausgewählten Reifen des deutschen Herstellers Schwalbe stammen aus dem E-Bike-Bereich und erfüllen alle oben genannten Anforderungen.

#### 4.7.6.5 Bremsanlage

In der EU-Richtlinie 93/14/EWG sind die Anforderungen an die Bremsanlage definiert:

Grundsätzlich müssen alle Teile der Bremsanlage eine ausreichende Festigkeit unter allen Betriebsbedingungen aufweisen. Die Bremsbeläge müssen asbestfrei sein und die Bremsscheiben dürfen keine übermäßige Neigung zur Korrosion aufweisen.

Die Betriebsbremse muss ausreichend dimensioniert und dosierbar sein. Sie muss betätigt werden können, ohne dabei die Hände von der Lenkanlage zu nehmen. Die maximal zulässige Handkraft zur Betätigung der Betriebsbremse darf 200 N nicht überschreiten. Die Betriebsbremsanlage kann aus zwei unabhängigen Bremskreisen bestehen. Bei Betätigung beider Bremskreise muss an allen vier Rädern gleichzeitig Bremswirkung erzielt werden. Eine Hilfsbremsanlage ist bei dieser Ausführung nicht zwingend erforderlich.

Eine Feststellbremsanlage ist zwingend erforderlich. Die Feststellbremse muss ausreichend dimensioniert und mechanisch arretierbar sein. Sie muss überdies vom Fahrersitz aus betätigt werden können. Die Feststellbremsanlage kann identisch mit einem der beiden Bremskreise der Betriebsbremsanlage sein. Die Beibehaltung des Stillstands bei 18% Gefälle und voller Beladung muss gewährleistet sein. Die maximal zulässige Handkraft zur Betätigung der Feststellbremse darf 400 N nicht überschreiten.

##### 4.7.6.5.1 Betriebsbremse

Das ausgewählte Betriebsbremssystem besteht aus zwei separaten hydraulischen Bremskreisen. Jeder der beiden Kreise wirkt auf eine Achse. Die beiden hydraulischen Betätigungssysteme sind identisch bezüglich Hersteller, Typ und Dimension. Auch die beiden Stahl-Bremsscheiben einer Achse sind identisch bezüglich Hersteller, Typ und Dimension.

Die Gesamtbremskraft mit dem derzeitigen Bremsanlagen-Konzepts reicht bei der Masse des aktuellen Prototypens aus um die minimal geforderte mittlere Verzögerung bei maximal 200 N Handbetätigungskraft problemlos zu erreichen. Sollte das endgültige Fahrzeug eine größere Masse aufweisen,

muss die Bremsanlage größer dimensioniert werden. Mit den größten für dieses System verfügbaren Bremsscheiben (200 mm) kann die minimal geforderte mittlere Verzögerung mit dem aktuellen System erreicht werden, sofern die Fahrzeug-Gesamtmasse im voll beladenen Zustand 374 kg nicht überschreitet. Zur Veranschaulichung eine kurze Darstellung der Maximalmasse der Standardvariante des ONYX E-Mobils mit Akku für 50 km Reichweite beträgt die Gesamtmasse  $M_{ges}$ :

$$M_{ges} = \text{Fahrzeug } 100 \text{ kg} + \text{Akku } 30 \text{ kg} + 2 \text{ Personen } \acute{a} 85 \text{ kg} + 50 \text{ kg Zuladung} = \underline{350 \text{ kg}}$$

#### 4.7.6.5.2 Feststellbremse

Die Feststellbremse wird über einen Arretiermechanismus am Betätigungshebel der Betriebsbremsanlage realisiert. Dies spart zusätzliche Bauteile und somit Gewicht und Kosten.

#### 4.7.6.6 Abschätzung der Biegebelastungen der Radnaben

Das maximal auftretende Biegemoment in der Radnabe ist abhängig von der jeweiligen Radlast, dem Reibwert zwischen Reifen und Straße sowie dem Radius des Rades. Das Biegemoment in der Radnabe der Hinterachse ist aufgrund der höheren Gewichtsbelastung und des größeren Raddurchmessers der Hinterachse deutlich höher als an der Vorderachse.

Bei bestimmten Events, wie z. B. dem Durchfahren eines Schlaglochs bei Kurvenfahrt am Haftungslimit der Reifen, kann die Belastung des Rades sogar noch deutlich höher ausfallen. Es ist daher sinnvoll, mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor zu kalkulieren.

Wie die ersten Testfahrten zeigten, ist der aktuell am AGT verwendete Radtyp an der Hinterachse den auftretenden Extrembelastungen nicht gewachsen. Die Speichen brachen aus der Radnabe heraus. Aufgrund des vergleichsweise großen Querschnittsverhältnisses der Fahrradreifen besteht zudem das Risiko eines Ablösens der Reifen von den Felgen.

Es macht Sinn, die Wahl der Reifen und der Räder zu überdenken. Optimierungen könnten durch Reduzierung der Raddurchmesser, Erhöhung der Felgenbreite, Reduzierung des Reifenquerschnitts sowie Auswahl eines Rades mit höherer Festigkeit erzielt werden.

Aktuell wird mit dem Hersteller eine optimale Anpassung der Konstruktion diskutiert. Eine erste Optimierungsschleife mit einer verstärkten Radaufnahme befindet sich in der Testphase. Sollte die Ergebnisse nicht zufriedenstellen sein, ist es evtl. notwendig auf eine Vielspeichenlösung oder eine Eigenentwicklung umzuschwenken.

#### 4.7.6.7 Eckdaten & Hardpoints Vorderachse

Deutsch	English	Soll-Wert	Ist-Wert	Einheit
Spurwinkel	Toe Angle [Left]	ca. 0,166	0,166	deg
Lenkrollradius	Scrub Radius [Left]	ca. -5...-15	-11,683	mm
Nachlaufstrecke	Mechanical Trail [Left]		13,553	mm
Spreizungswinkel	King Pin Angle [Left]		23,274	deg
Rollzentrumshöhe	Kinematic Roll Center Z		162,021	mm
Übersetzung Rad/Feder	Heave Motion Ratio Spring [Left]	ca. 1,0...1,5	1,191	-
Nachlaufwinkel	Caster Angle [Left]		2,993	deg
Sturzwinkel	Camber Angle [Left]	ca. -3	-3,000	deg
Halbe Spurweite	Half Track [Left]	ca. 700	700,000	mm

Vorderachse (links)					
Bezeichnung Hardpoint	Abkürzung Hardpoint	x	y	z	#
Querlenker Vorderachse innen hinten	QLVIH	136,9	375	210,4	1
Querlenker Vorderachse innen vorne	QLVIV	-143,1	375	210,4	2
Querlenker Vorderachse außen an Radträger	QLVA	-3,1	625,7	199,9	3
Federbein Vorderachse unten an Radträger	FBVU	2,7	611,6	313,6	4
Federbein Vorderachse oben an Chassis	FBVO	20,4	432,4	649,3	5
Federauflagefläche Vorderachse oben	FAVO	15,9	478,1	562,8	6
Federauflagefläche Vorderachse unten	FAVU	6,1	576,2	377,3	7
Spurstange innen	SSI	69,3	360	280,6	8
Spurstange außen	SSA	48,4	581	294,3	9
Radmittelpunkt Vorderachse	RMV	-0,1	698,4	264,5	10
Koordinatensystem auf Mitte der VA: x pos. nach hinten, y pos. nach links, z pos. nach oben (Fahrbahn-Niveau)					

Tabelle 9: Eckdaten & Hardpoints Vorderachse

#### 4.7.6.8 Eckdaten & Hardpoints Hinterachse

Deutsch	English	Soll-Wert	Ist-Wert	Einheit
Spurwinkel	Toe Angle [Left]	ca. 0	0,021	deg
Rollzentrumshöhe	Kinematic Roll Center Z		-389,047	mm
Sturzwinkel	Camber Angle [Left]	ca. 0	0,000	deg
Halbe Spurweite	Half Track [Left]	ca. 600	600,000	mm
Übersetzung Rad/Feder	Heave Motion Ratio CoilOver [Left]		0,000	-

Hinterachse (rechts)					
Bezeichnung Hardpoint	Abkürzung Hardpoint	x	y	z	#
Längslenker Hinterachse hinten an Achse	LLHH	-42,5	353	336,5	1
Längslenker Hinterachse vorne am Chassis	LLHV	-357,5	353	336,5	2
Zentralgelenk Hinterachse hinten an Achse	ZGHH	0	0	336,5	3
Zentralgelenk Hinterachse vorne an Chassis	ZGHV	-357,5	0	336,5	4
Federbein Hinterachse oben an Chassis	FBHO	0	361,4	606,5	5
Federbein Hinterachse unten an Achse	FBHU	0	493	376,5	6
Koordinatensystem auf Mitte der HA: x pos. nach hinten, y pos. nach links, z pos. nach oben (Fahrbahn-Niveau)					

Tabelle 10: Eckdaten & Hardpoints Hinterachse

#### 4.7.6.8.1 Zusammenfassung Komponenten Fahrwerk:

Räder und Reifen:

##### Komponenten Vorderachse

Radtyp: Samagaga Hard Core Wheel Set

Dimension: 20 x 2.15 Zoll

##### Komponenten Hinterachse

Radtyp: Samagaga Hard Core Wheel Set

Dimension: 26 x 2.15 Zoll

##### Komponenten Vorderachse

Reifentyp: Schwalbe Big Ben

Dimension: 55-406 (20 x 2.15 Zoll)

Tragfähigkeitsindex: 26 (95 kg)  
Geschwindigkeitsindex: B (50 km/h => ECE-R75-Label)

#### Komponenten Hinterachse

Reifentyp: Schwalbe Big Ben  
Dimension: 55-559 (26 x 2.15 Zoll)  
Tragfähigkeitsindex: 37 (128 kg)  
Geschwindigkeitsindex: B (50 km/h => ECE-R75-Label)

Bremsanlage:

#### Komponenten Vorderachse

Bremsentyp: Tektro Auriga Twin HD-T515  
System: Hydraulisches Scheibenbremssystem mit Feststellfunktion  
Hardware: Aluminium Schmiedeteile  
Betätigung: 2,5-Zoll-Betätigungshebel  
Brems Scheiben: VA: 160 mm  
Belag: Metall-Keramic (S20.11)

#### Komponenten Hinterachse

Bremsentyp: Tektro Auriga Twin HD-T515  
System: Hydraulisches Scheibenbremssystem mit Feststellfunktion  
Hardware: Aluminium Schmiedeteile  
Betätigung: 2,5-Zoll-Betätigungshebel  
Brems Scheiben: HA: 180 mm  
Belag: Metall-Keramic (S20.11)



Abbildung 23: links Samagaga "hard core wheel", Mitte Schwalbe "Big Ben", rechts Tektro Auriga Twin

#### 4.7.7 CAD Modell in CATIA V5

Entsprechend dem angestrebten Designkonzept und den Randbedingungen aus Antrieb und Fahrwerk wurde die in Abbildung 24 dargestellte starre Bodengruppe für den AGT entwickelt. Diese bildet die Grundlage für die Anbindung der Antriebs- und Fahrwerkskomponenten und der Sitzpositionen. Es können damit unterschiedliche Fahrwerks- und Ergonomievarianten getestet werden. Um die Fertigung einfach und kostengünstig zu halten, wurde ein herkömmliches Standard-Vierkantprofil verwen-

det. Die Festlegung der Rohrmaße im Hinblick auf Wandstärke und Profilgröße im Rahmen Vorauslegung per Handrechnung und einer einfachen statischen FEM-Analyse vorgenommen.

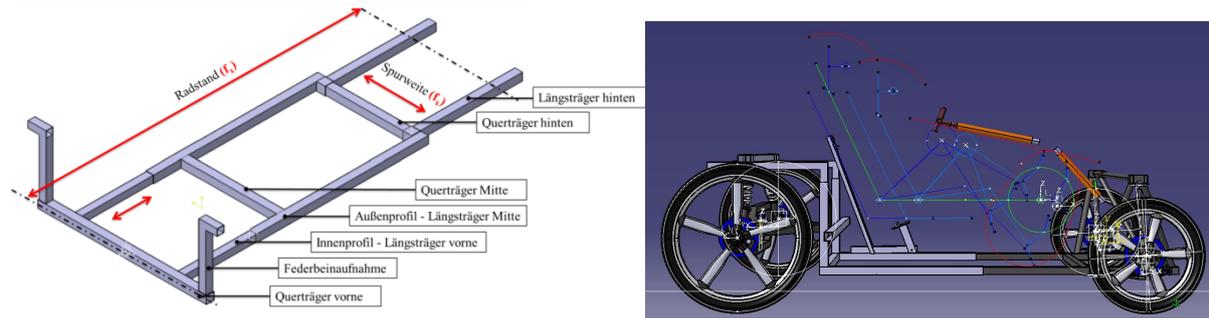


Abbildung 24: Starre Bodengruppe - Konzept und CAD Zusammenbau

Quelle: eigene Darstellung

#### 4.7.8 Absicherung Europäischer Zulassung

Zur Absicherung des Fahrzeugkonzeptes in Bezug auf die Europaweite Zulassung wurden die entsprechenden Vorschriften und somit die rechtlichen Rahmenbedingungen, die durch die StVZO oder EU-Richtlinien vorgegeben werden, recherchiert und analysiert. Das Fahrzeugkonzept zielt auf eine Zulassung in der Kategorie L6e ab, die spezifischen Zulassungskriterien werden hier in komprimierter Form von Stichpunkten aufgeführt.

##### 4.7.8.1 Allgemeine Bedingungen für die Kategorie L6e

- vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge mit einer Leermasse von bis zu 350 kg (ohne Masse der Batterie)
- eine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit von bis zu 45 km/h
- eine maximale Nenndauerleistung von bis zu 4 kW im Fall von Elektromotoren
- es ist keine Zulassungspflicht erforderlich, lediglich eine Betriebserlaubnis und Pflichtversicherung wird benötigt
- diese Fahrzeuge müssen den technischen Anforderungen für dreirädrige Kleinkrafträder der Klasse L2e genügen, sofern in den Einzelrichtlinien nichts anderes vorgesehen ist.

##### 4.7.8.2 Bremsanlage nach Richtlinie 93/14/EWG

- entweder mit zwei unabhängigen Betriebsbremsanlagen, durch die Bremsen auf allen Rädern gleichzeitig betätigt werden;
- oder mit einer Betriebsbremsanlage, durch die Bremsen auf allen Rädern betätigt werden, und einer Hilfsbremsanlage, bei der es sich um die Feststellbremse handeln kann.
- ferner muss jedes dreirädrige Kleinkraftrad mit einer Feststellbremsanlage ausgerüstet sein, die auf das Rad (die Räder) mindestens einer Achse einwirkt. Die Feststellbremsanlage, die eine der beiden in Punkt
- vorgesehenen Anlagen sein kann, muss von der Anlage, die auf die andere(n) Achse(n) einwirkt, unabhängig sein.

##### 4.7.8.3 Beleuchtung nach Richtlinie 93/92/EWG

Dreirädrige/vierrädrige Kleinkrafträder/Leichtkrafträder müssen mit den nachstehend aufgeführten Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen ausgerüstet sein:

- Scheinwerfer für Abblendlicht

- Begrenzungsleuchte
- Schlussleuchte
- Hinterer nicht dreieckiger Rückstrahler
- Bremsleuchte
- Fahrtrichtungsanzeiger ( gilt nur für dreirädrige Kleinkraftträder mit geschlossenem Aufbau)

Alle Leuchten und Rückstrahler müssen bauartgenehmigt (E-Prüfzeichen) sein. Es dürfen auch Leuchten verbaut werden, die für PKW zulässig sind.

Ab einer Breite des Fahrzeugs von 1.300 mm (ONYX E-Mobil= 1.400mm):

- zwei Scheinwerfer für Fernlicht und Abblendleuchten (Höhe: mindestens 500 mm)
- Fahrtrichtungsanzeiger (Höhe: mindestens 350 mm)
- zwei Bremsleuchten (Höhe: mindestens 250 mm)
- zwei Begrenzungsleuchten, (Höhe: mindestens 350 mm)
- zwei Schlussleuchten, (Höhe: mindestens 250 mm)
- zwei Rückstrahler (Höhe: mindestens 250 mm)
- zwei hintere nicht dreieckige Rückstrahler (größte Breite nicht über 1.000 mm)

#### 4.7.8.4 Sicherheitsgurte nach Richtlinie 97/24/EG Kapitel 11

Bei dreirädrigen Kleinkraftträdern und Vierradfahrzeugen mit einer Leermasse bis 250 kg sind Verankerungen für Sicherheitsgurte nicht erforderlich.

#### 4.7.8.5 Weitere Richtlinien

Weitere Richtlinien die bis zum Ende der Projektphase 1 noch nicht tiefergehend betrachtet wurden, aber im Rahmen der Weiterentwicklung auf Umsetzbarkeit zu prüfen sind :

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| - Maßnahmen gegen unbefugte Eingriffe         | Richtlinie 97/24/EG Kapitel 7 |
| - Anhängervorrichtungen und Ihre Befestigung  | Richtlinie 97/24/EG Kap. 10   |
| - Schallzeichen                               | Richtlinie 93/30/EWG          |
| - Hinteres Kennzeichen                        | Richtlinie 93/94/EWG          |
| - Elektromagnetische Verträglichkeit          | Richtlinie 97/24/EG Kap. 8    |
| - Geräuschpegel                               | Richtlinie 97/24/EG Kap.9     |
| - Rückspiegel                                 | Richtlinie 97/24/EG Kap. 4    |
| - Diebstahlsicherung                          | Richtlinie 93/33/EWG          |
| - Scheiben, Wischer und Wascher               | Richtlinie 97/24/EG Kap. 12   |
| - Geschwindigkeitsmesser                      | Richtlinie 2000/7/EG          |
| - Kennzeichnung der Betätigungseinrichtungen, | Richtlinie 93/29/EWG          |
| - Kontrollleuchten und Anzeiger               | Richtlinie 93/29/EWG          |
| - Vorgeschriebene Angaben am Fahrzeug         | Richtlinie 93/34/EWG          |

## 4.8 Fertigung und Erprobung des Aggregateträgers (AGT)

Um die technische, ergonomische & wirtschaftliche Umsetzbarkeit in Bezug auf die Projektvorgaben überprüfen zu können, wird auf Basis der CAD Konstruktion ein realitätsnaher Prototyp gefertigt. Dieser Prototyp basiert aus Zeit- und Kostengründen noch auf einer Stahlschweißkonstruktion und nicht auf einer Faserverbund-Monocoquestruktur. Ziel des Prototypen ist es, alle Aggregate schon im frühen Entwicklungsstadium statisch und dynamisch testen zu können. Hieraus resultiert auch der Bauteilname Aggregateträger (AGT).

#### 4.8.1 Herstellung des AGT

Um notwendige konstruktive Änderungen, die durch die Tests am AGT ermittelt wurden, schnell und kostengünstig umsetzen zu können, ist die Bodengruppe geteilt aufgebaut worden.

Die Haupteinheiten Vorderteil und Hinterteil sind an der Position der in Abb. 25 dargestellten Position ineinander gesetzt und mittels einer Schraub-Klemmverbindung fixiert. Dies bietet die Möglichkeit, den Radstand variabel zu verstellen und somit einen enormen Einfluss auf das Fahrverhalten nehmen zu können.

Auch die Spurbreite und Positionen der Feder-Dämpferelemente sind durch die Stahlbauweise sehr einfach verstellbar. Änderungen können durch Austrennen und Einschweißen einzelner Aufnahmen sehr effizient durchgeführt werden.



Abbildung 25: Bodengruppe AGT, links Vorderteil, rechts Zusammenbau Vorder-und Hinterteil

Im nächsten Schritt wurden alle Aggregate wie Bremsanlage, Akku, Antriebs- und Fahrwerkseinheiten und die Lenkung sowie die Anbauteile wie z.B. die Sitze oder die Aufnahmeeinheit für den späteren Akku verbaut.



Abbildung 26: AGT, links: fahrbereiter AGT, rechts: AGT mit einseitiger Außenhülle

Um nicht nur die Funktion sondern auch die Ergonomie testen zu können, wurde auf Basis des AGT die zum Projektabschluss entwickelte Außenhülle einseitig nachgebildet sowie das Flügeltürenkonzept umgesetzt.

#### 4.8.2 Erprobung und iterative Optimierung

In der aktuell noch laufenden Erprobung und Optimierung des AGTs werden folgende Schwerpunkte mit den zugeordneten Zielen untersucht:

1. Fahrwerksgeometrie
  - Fahrstabilität & Komfort
  - Minimaler Platzbedarf

2. Lenkung
  - Sicherheit in Bezug auf Bedienbarkeit und Crash
  - Wendkreis
  - Einstellmöglichkeiten
3. Bremsen und Räder
  - Dimensionierung
  - Wartung und Austausch
4. Hybridantrieb
  - Test E-Motorvarianten (0,5 kW – 4 kW)
  - Auslegung und Test Pedalantrieb
  - Test Differential
5. Position und Funktion Akku
  - Optimierung Fahrzeugschwerpunkt
  - Bedienbarkeit „Akku to go“
  - Reichweitenüberprüfung
6. Einstieg und Scheiben
  - Test Standard und Barrierefreiheit
  - Test Flügeltürprinzip
  - Sichtfeldanalyse
7. Sitze
  - Ergonomie und Sicherheit
  - Verstellbarkeit
  - Variantentest
8. Gesamtfahrzeug
  - Gesamtfunktion
  - Design
  - Gewicht
  - Kosten
  - Montage- und Reparaturfreundlichkeit

#### 4.9 Konstruktion Monocoque

Das selbsttragende Monocoque aus faserverstärktem Kunststoff ist die zentrale Komponente des Fahrzeugkonzeptes. Diese Struktur nimmt die Fahrer, alle Bauteile sowie Lasten auf und gibt dem E-mobil seine Gestalt.

Auch die Erreichung der Hauptprojektziele in Bezug auf Gewicht, Kosten, Design und der ökologischen Punkte zur Ressourcen- und Energieeffizienz sind nur möglich mittels der „Monocoque-Integralbauweise“. Speziell die beiden letzten Punkte sind nur zu erreichen, wenn zu den heute verwendeten herkömmlichen Faserwerkstoffen Glasfaser und Kohlefaser ökologisch nachhaltige Alternativen für den Einsatz in den relativ schweren Strukturbauteilen eingesetzt werden.

Aus diesem Grund ist es das Ziel die Erfahrungen der Fa. ONYX zur Verwendung speziell von hochfesten Nutzhanffasern für entsprechende Bauteile zu nutzen und somit die hochgesteckten Energie-

einsparungen speziell im Vergleich zu den energieintensiven Kohlefasern zu erreichen (siehe hierzu die Ergebnisse der Öko- und Sachbilanz in Kapitel 4.6).

#### 4.9.1 Konzept Monocoque

Um das Monocoque schon im frühen Entwicklungsstadium fertigungsgerecht und somit auch kostenoptimiert auslegen zu können, wurde eine Schnittstellenanalyse durchgeführt. Hierbei wurden alle notwendigen Bauräume z.B. für Personen und Ladegut definiert und auch alle Anbauteile mit Position, Funktion und im Betrieb resultierenden Kräften betrachtet.

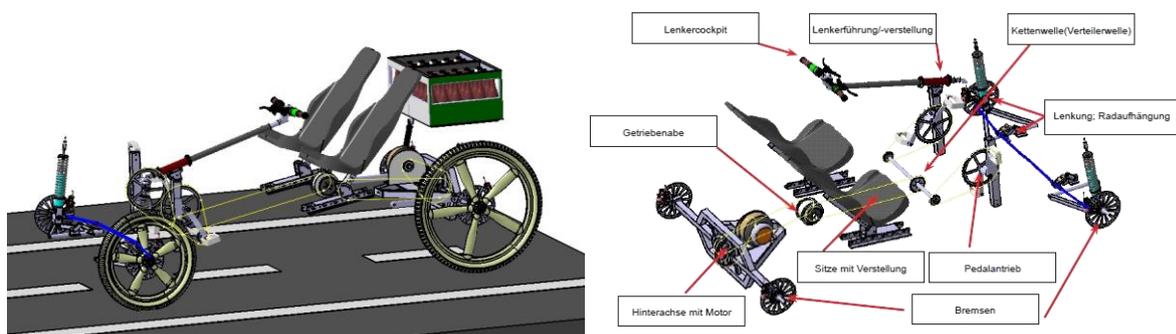


Abbildung 27 links: Darstellung der Anbauteile inkl. Ladegut, rechts: Benennung der Bauteile

Mittels dieser technischen Informationen, den Vorgaben aus Design & Ergonomie und den gesetzlichen Rahmenbedingungen wurde ein vorläufiges Konzept für die Herstellung und Montage des Monocoques ausgearbeitet. Da die Bauteilgeometrie (siehe Abb.: 27 rechts) sich sehr komplex darstellt, ist es notwendig die Sicherheitszelle aus mindestens zwei Einzelkomponenten herzustellen und anschließend durch Verschrauben und Verkleben strukturell miteinander zu verbinden.

Hierzu wurden zwei Prinzipien zum Verlauf der Trennlinie betrachtet:

Konzept 1: Es wird ein Mittelteil hergestellt und anschließend 2 Seitenteile vertikal montiert.

Konzept 2: Das Bauteil wird horizontal getrennt und es werden nur Ober- und Unterteil verbunden.

Konzept 1= Seitenschale + Mittelteil



Konzept 2= Oberteil + Unterteil (aktuell)



Abbildung 28 links: Zwei Trennungsverläufe, rechts: Monocoquezelle zusammengebaut

Zum Zeitpunkt des Projektabschlusses von Phase 1 wurde begonnen, die Einzelteile aus dem Konzept 1 auf ihre Herstellbarkeit sowie den Strukturellen Eigenschaften im Belastungs- und Crashfall zu analysieren.

Mittels der Konstruktions-Software „CATIA Composite Design“ wurden die Bauteile (siehe Bsp. Seitenteil links in Abb. 29) vorerst aus GFK-Einzellagen dargestellt und anschließend mittel der FEM Berechnungs-Software ABAQUS auf Steifigkeit, Festigkeit und Verformungs- und Versagensverhalten untersucht.

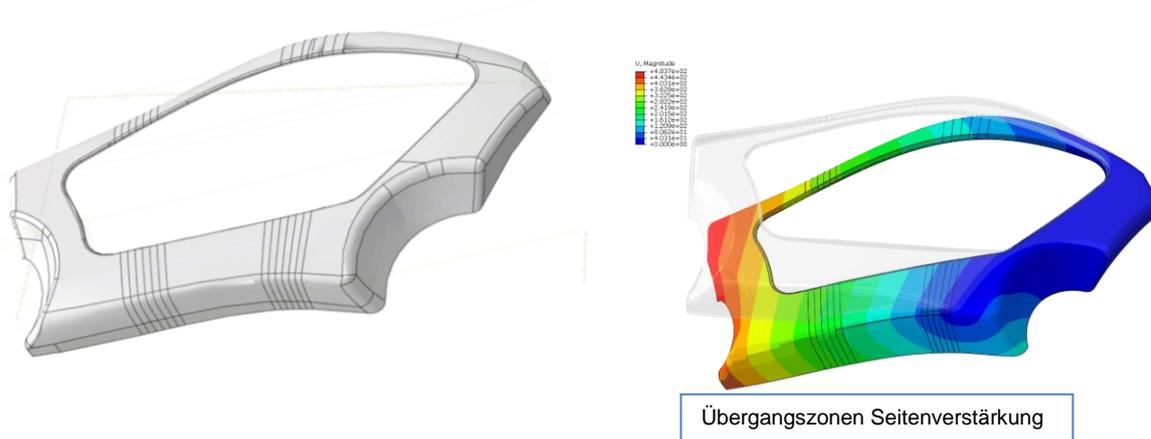


Abbildung 29: Abbildung links: Composite Design, rechts FEM Darstellung Verformen „Seitencrash“

Die nächsten Schritte sind nun die beiden Konzepte im Zusammenbau zu untersuchen, die technische Machbarkeit zu validieren und eine Konzeptentscheidung auf Basis der Kriterien:

- Kosten
- Gewicht
- Herstellbarkeit

zu treffen.

Das endgültige Konzept wird dann im Detail als GFK-Variante ausgearbeitet und vorerst als 1:3 Modell gefertigt, um die Herstellbarkeit mit geringem finanziellem Risiko zu überprüfen.

Anschließend werden die drei Materialvarianten des Bauteils Composite Monocoque mit den jeweiligen Kundenvorteilen der Werkstoffe GFK, CFK und HFK jeweils mit ihren spezifischen Material- und Prozesseigenschaften in der Konstruktion umgesetzt und rechnerisch validiert.

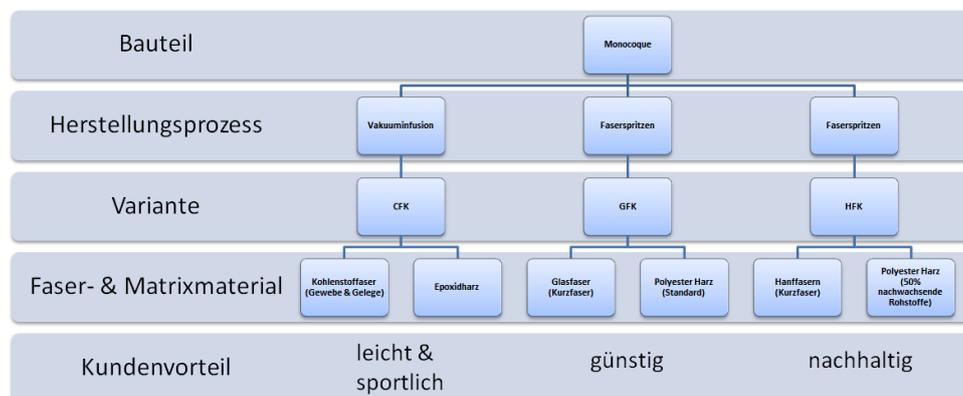


Abbildung 30: Materialvarianten Monocoque des ONYX E-Mobils, Eigene Darstellung

#### 4.10 Erstellung Business- und Marketingplan

Auf Basis der technischen Anforderungen und der Benchmarkanalysen zeichnet sich für das entwickelte Fahrzeugkonzept ein deutliches Marktpotential ab. Wichtig für den Businessplan ist es, dieses Marktpotential zu quantifizieren und daraus den wirtschaftlichen Nutzen für ONYX abzuleiten. Um das unternehmerische Risiko durch eine zu subjektive Betrachtung und Beurteilung zu begrenzen, wurde ein Projekt mit der Hochschule Osnabrück, Bereich Wirtschaftswissenschaften, Prof. Dr. Halstrup initiiert. Ziel ist es mittels des aktuellen Entwicklungsstandes (Ende 2012/Anfang 2013), die Strategie für das Marketing und das Marktpotential genauer zu untersuchen.

Um eine vorläufige Überprüfung der wirtschaftlichen Chance und Relevanz vornehmen zu können, wurde die max. Stückzahl für den Businessplan auf 200 Standardvarianten pro Jahr festgesetzt. Dies ist eine sichere Annahme, da aus wirtschaftlicher Sicht bei allen anderen Varianten mit höheren Margen gerechnet werden kann und es technisch in mit den aktuellen Ressourcen der Fa. ONYX möglich ist einen Satz Compositebauteile pro Werktag zu fertigen und entsprechende Zukaufteil-Baugruppen zu montieren.

##### 4.10.1 Zielpreisdefinition

Als Kalkulationsansatz wurde der Zielpreis auf Basis der Benchmarkrecherche der Einstiegsvariante mit  $VK_{\text{Kunde}} = 8.900 \text{ €}$  festgesetzt. Mit einer Händlermarge und der Abdeckung der Vertriebstätigkeiten von 25% auf den  $VK_{\text{ONYX}}$  werden somit Herstellungskosten von 4.483 € und eine Marge von 1.500 € für die Standardvariante als Kalkulationsgrundlage und Entwicklungsvorgabe fixiert.

Pos.	Kostenrechnung ONYX E-Mobil "Standard; Basis 200 Stk./Jahr"	
1.	Materialkosten ONYX Bauteile (GFK Monocoque & Heckverkleidung)	300 €
2.	Teilekosten Zukaufteile inkl. Akku 20km Reichweite	2.633 €
3.	Betriebliche Fixkosten pro Einheit	1.550 €
4.	Herstellungskosten Standard Variante	4.483 €
5.	Marge ONYX	1.500 €
6.	VK ONYX	5.983 €
7.	Händlermarge und Vertriebskosten= 25%	1.496 €
8.	Händlernettopreis	7.479 €
9.	MwSt.	1.421 €
10.	Verkaufspreis Endverbraucher inkl. 19% MwSt.	8.900 €

Tabelle 11: „Übersicht Kostenrechnung ONYX E-Mobil Standardvariante“

Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.10.2 Erfassung der Kostenpakete für Zukaufteile

Um den Stand der Soll- und Ist-Kosten überprüfen zu können, wurde auf Basis einer detaillierten Stückliste über die Baugruppen ein Kostenmanagement betrieben. In Tabelle 12 finden sich die auf die Baugruppen bezogenen Kosten der Zukaufteile auf Basis des Standes AGT zum Zeitpunkt Ende 2013.

Baugruppe	Kosten [€] netto
Hinterachse	491,53
Vorderachse	445,42
Antrieb	1694,46
Lenkung	76,10
Monocoque	1480,00
Innenraum	143,50
<b>Σ</b>	<b>4331,01</b>

Tabelle 12: Baugruppenspezifische Kostenpakete

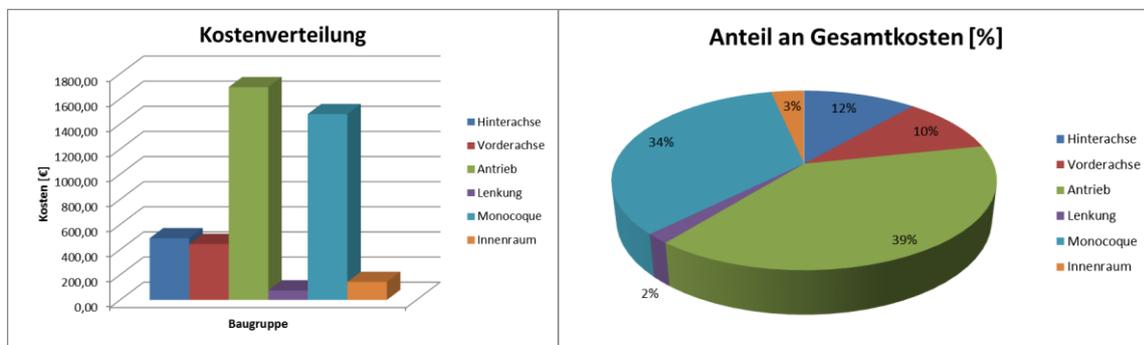


Abbildung 31: Baugruppenspezifische Kostenpakete

Abbildung 32: Kostenverteilung über das Gesamtfahrzeug

Quelle: Eigene Darstellung

Die Auswertung zeigt, dass zum Kalkulationszeitpunkt die Kosten der Zukaufteile die festgelegten Grenzkosten von 2.633 € um 80% übersteigen.

Da bis zu diesem Zeitpunkt das Projekt noch auf Einzelteile und den Prototypenbau kalkuliert wurde, kann davon ausgegangen werden, dass über eine kostenoptimierte Konstruktion, Lieferantenrecherchen speziell im asiatischen Ausland und mittels Verhandlungen über Paketnachlässe in der Kleinserienfertigung der Zieleinkaufspreis erreicht werden kann.

Zwei gute Beispiele sind hierfür die Standard Sitzschale, die wir in Korea gefunden haben und bei einer Abnahme von 100-500 Teilen für ca. 20 €/Stück anstatt vergleichbare Bauteile auf dem Deutschen Markt für 80-120 €/Stück einkaufen können.

Auch der 2 kW Standard E-Motor, den wir für den optimierten Prototypen in England erworben haben, wurde uns in China bei einer Abnahme von 50 Einheiten ca. 70% günstiger angeboten.

#### 4.10.3 Ressourcenplanung für die Kleinserienfertigung

Neben den Zukaufteilen spielt die Herstellung der Hauptkomponente „Composite-Monocoque“ und die effiziente Montage eine wichtige Rolle. Um die daraus resultierenden betrieblichen Fixkosten pro Stück bei 200 Standardmobilen/Jahr zu ermitteln, wurde auf Basis der Fertigungserfahrung von ONYX und der Schwesterfirma vacopro GmbH eine fiktive Fertigung mit den notwendigen Mitarbeitern und der entsprechend Infrastruktur aufgebaut.

Die Gesamtstundenzahl für die Gesamtorganisation, die Fertigung der Compositebauteile, Montage aller Komponenten sowie QS, Lager und Versand wurden auf Basis von vergleichbaren Projekten mit 60 Stunden/E-Mobil im „eingespielten“ Prozess kalkuliert.

Hierzu würden insgesamt 7,5 Mitarbeiter mit unterschiedlichen Qualifikationen beschäftigt werden. Bei einer Jahresleistung von durchschnittlich 10 Monaten pro Mitarbeiter würde so eine Mitarbeiterkapazität von 12.720 h den 12.000 h notwendigen Stunden gegenüberstehen.

Über die im Osnabrücker Raum üblichen Lohnkosten wurden somit die Jahrespersonalkosten ermittelt.

Lohnkosten- und Kapazitätsplanung ONYX E-Mobil												Gesamtanzahl
Anzahl Mitarbeiter	1	1	1	1	1	1	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	
Stellenbeschreibung	Fertigungsleitung	Geselle1	Geselle2	Geselle3	ProduktionsMA	ProduktionsMA	Lehrling	Aushilfe 1	Aushilfe 2	Aushilfe 3	Aushilfe 4	
Aufgaben	Organisation & Fertigung	Montage	Montage & Lager	Faserspritzen	Faserspritzen	Beschneid	alles	Montage & Lager	Montage & Lager	Montage & Lager	Montage & Lager	
Projektstunden/Woche [h]	40	40	40	40	40	40	20	10	10	10	10	300
Projektstunden/Monat [h]	160	160	160	160	160	160	80	45	45	45	45	1220
Projektstunden/Jahr [h] (10 "aktive" Monate)	1760	1600	1600	1600	1600	1600	800	540	540	540	540	12720
Arbeitgeberkosten/Monat [€]	4800	3500	3200	3000	2600	2600	1000	600	600	600	600	23100

Tabelle 13: Arbeitgeberlohnkosten „Fertigung ONYX E-Mobil“

#### 4.10.1 Aufbau des 3 Jahres Businessplans auf Basis von 200 Einheiten pro Jahr

Bei den weiteren betrieblichen Fixkosten wurde eine leicht ansteigende Rampe bei der Etablierung der 200 Einheiten pro Jahr über 3 Jahre ab 2015 eingesetzt. In Tabelle 14 werden die erfahrungsmäßigen Kostenpakete aufgeführt und kumuliert.

laufende betriebliche Fixkosten	Monate im 1. Jahr: 12					
	Monatswerte			Jahreswerte		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
<b>Bezeichnung</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Personalkosten inkl. Sozialabgaben	20.000	23.000	25.000	240.000	276.000	300.000
Kfz-Kosten (für Firmenfahrzeuge)	400	800	800	4.800	9.600	9.600
Leasing	400	800	800	4.800	9.600	9.600
Raumkosten (Miete + Nebenkosten)	3.000	4.000	5.000	36.000	48.000	60.000
Telekommunikation	100	100	100	1.200	1.200	1.200
Marketing / Vertrieb	500	500	500	6.000	6.000	6.000
Versicherungen, Beiträge	500	1.000	1.000	6.000	12.000	12.000
Betriebs- und Bürobedarf	150	150	150	1.800	1.800	1.800
Buchführungskosten	300	300	300	3.600	3.600	3.600
Steuer- und Rechtsberatung	20	30	40	240	360	480
Abschreibungen (AfA)	167	250	333	2.000	3.000	4.000
Zinsen für Kontokorrentlinie						
Zinsen für Darlehen	278	291	303	3.339	3.489	3.639
übrige Betriebsausgaben	20	21	22	240	252	265
<b>Summe</b>	<b>25.835</b>	<b>31.242</b>	<b>34.349</b>	<b>310.019</b>	<b>374.901</b>	<b>412.184</b>

Tabelle 14: laufende betriebliche Fixkosten

Für die Grundausrüstung und Inbetriebnahme der Fertigung wird eine Investition von 106.300€ angesetzt.

<b>Gründungskosten (Nettopreise)</b>	<b>€</b>
Konzessionen	
Gewerbeanmeldung	
Notar, Registerkosten etc.	
Namensschutz (DPMA)	150
Gründungsberatung	
Handelswaren-Erstbestand	5.000
Stempel, Schilder etc.	100
Maklercourtage	
Mietkaution	
Seminare, Messe, Schulungen	300
Briefpapier / Visitenkarten	50
Webseite	200
Eröffnungsparty	500
Eröffnungswerbung	
Grundausrüstung Fertigung	100.000
<b>Summe</b>	<b>106.300</b>

Tabelle 15: Gründungskosten

Für die Erweiterung und Optimierung der Produktion wird von durchschnittlich 6.000€/Jahr ausgegangen.

<b>Investitionsplanung</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>		
<b>bitte Netto-Kaufpreise angeben!</b>	<b>Kaufpreis</b>	<b>Kaufpreis</b>	<b>Kaufpreis</b>	<b>geplante Nutzungsdauer oder AfA / Jahre</b>	
	regelmäßige GWG-Kosten bis € 150,--	1.000	1.000	1.000	
regelmäßige GWG-Kosten € 151,-- bis € 1.000,--	5.000	5.000	5.000		5
<b>Summe</b>	<b>5.000</b>	<b>5.000</b>	<b>5.000</b>		

Tabelle 16: Investitionsplanung

Bei der Umsatzplanung wird konservativ angenommen, dass im ersten Jahr nur 65 Einheiten verkauft werden können und dadurch die Materialkosten pro Einheit höher ausfallen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass der Prozess noch nicht effizient ist und 80 Stunden pro Einheit benötigt werden. Im Folgejahr werden 180 Einheiten und 70 Mitarbeiterstunden pro Einheit angesetzt.

Ab dem dritten Fertigungsjahr soll dann die Überproduktion aus den beiden Jahren ca. 10-15 im ersten und 20-30 im zweiten Jahr zu den 200 kalkulierten Einheiten abgesetzt werden. Falls dies geschafft werden kann, sollen die daraus entstehenden Gewinne teilweise für eine Produktionserweiterung investiert werden.

Umsatzplan 1. Jahr														
	Bezugsgröße	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
<b>Mengenplanung:</b>														
ONYX E-Mobil	1,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	65,0
														0,0
														0,0
														0,0
														0,0
<b>Summe verkaufte Einheiten</b>		<b>5,0</b>	<b>6,0</b>	<b>6,0</b>	<b>6,0</b>	<b>6,0</b>	<b>6,0</b>	<b>65,0</b>						
<b>Umsatzplanung:</b>	Verkaufs-Preis netto													
ONYX E-Mobil	5.980,00	29.900	29.900	29.900	29.900	29.900	29.900	29.900	35.880	35.880	35.880	35.880	35.880	388.700
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe Umsatz netto</b>		<b>29.900</b>	<b>35.880</b>	<b>35.880</b>	<b>35.880</b>	<b>35.880</b>	<b>35.880</b>	<b>388.700</b>						
<b>Material/Fremdleistung Kosten in Euro:</b>	Mat./FL je Einheit													
ONYX E-Mobil	3.200,00	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	19.200	19.200	19.200	19.200	19.200	208.000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe Material/Fremdl.</b>		<b>16.000</b>	<b>19.200</b>	<b>19.200</b>	<b>19.200</b>	<b>19.200</b>	<b>19.200</b>	<b>208.000</b>						
<b>zur Kontrolle: Anzahl verkaufter Stunden</b>	Zeit je Einheit													
ONYX E-Mobil	80,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	480,0	480,0	480,0	480,0	480,0	5.200,0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe verk. Stunden</b>		<b>400,00</b>	<b>480,00</b>	<b>480,00</b>	<b>480,00</b>	<b>480,00</b>	<b>480,00</b>	<b>5.200,00</b>						

Tabelle 17: Umsatzplanung 1. Jahr

Umsatzplan 2. Jahr														
	Bezugsgröße	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
<b>Mengenplanung:</b>														
ONYX E-Mobil	1,0	10,0	10,0	10,0	10,0	15,0	15,0	15,0	15,0	20,0	20,0	20,0	20,0	180,0
														0,0
														0,0
														0,0
														0,0
<b>Summe verkaufte Einheiten</b>		<b>10,0</b>	<b>10,0</b>	<b>10,0</b>	<b>10,0</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>	<b>180,0</b>
<b>Umsatzplanung:</b>	Verkaufs-Preis netto													
ONYX E-Mobil	5.980,00	59.800	59.800	59.800	59.800	89.700	89.700	89.700	89.700	119.600	119.600	119.600	119.600	1.076.400
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe Umsatz netto</b>		<b>59.800</b>	<b>59.800</b>	<b>59.800</b>	<b>59.800</b>	<b>89.700</b>	<b>89.700</b>	<b>89.700</b>	<b>89.700</b>	<b>119.600</b>	<b>119.600</b>	<b>119.600</b>	<b>119.600</b>	<b>1.076.400</b>
<b>Material/Fremdleistung Kosten in Euro:</b>	Mat./FL je Einheit													
ONYX E-Mobil	2.900,00	29.000	29.000	29.000	29.000	43.500	43.500	43.500	43.500	58.000	58.000	58.000	58.000	522.000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe Material/Fremdl.</b>		<b>29.000</b>	<b>29.000</b>	<b>29.000</b>	<b>29.000</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>58.000</b>	<b>58.000</b>	<b>58.000</b>	<b>58.000</b>	<b>522.000</b>
<b>zur Kontrolle: Anzahl verkaufter Stunden</b>	Zeit je Einheit													
ONYX E-Mobil	70,0	700,0	700,0	700,0	700,0	1.050,0	1.050,0	1.050,0	1.050,0	1.400,0	1.400,0	1.400,0	1.400,0	12.600,0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe verk. Stunden</b>		<b>700,00</b>	<b>700,00</b>	<b>700,00</b>	<b>700,00</b>	<b>1.050,00</b>	<b>1.050,00</b>	<b>1.050,00</b>	<b>1.050,00</b>	<b>1.400,00</b>	<b>1.400,00</b>	<b>1.400,00</b>	<b>1.400,00</b>	<b>12.600,00</b>

Tabelle 18: Umsatzplanung 2. Jahr

Umsatzplan 3. Jahr														
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Mengenplanung:	Bezugsgröße	1,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	Summe
														240,0
														0,0
														0,0
														0,0
														0,0
														0,0
Summe verkaufte Einheiten		20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	240,0
Umsatzplanung:	Verkaufspreis netto	0	5.980,00	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	1.435.200
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe Umsatz netto		119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	119.600	1.435.200
Material/Fremdleistung Kosten in Euro:	Mat./FL je Einheit	0	2.800,00	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	672.000
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe Material/Fremdl.		56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	672.000
zur Kontrolle: Anzahl verkaufter Stunden	Zeit je Einheit	0	60,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	14.400,0
		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe verk. Stunden		1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	14.400,00

Tabelle 19: Umsatzplanung 2. Jahr

#### 4.10.1 Investitionsbedarf und wirtschaftliches Potential

Aus der durchgeführten Kalkulation ergibt sich ab ein minimaler Investitionsbedarf für den Serienanlauf von ca. 235.000 €. Diese Betrachtung setzt voraus, dass die Konstruktion abgeschlossen ist und die Fertigungsformen aus der Prototypenentwicklung für den Anlauf der Serie genutzt werden können. Bei Vorstellung des Projektes bei der ONYX Hausbank würde ein zusätzliche Puffer für unplanbare Ausgaben im ersten Jahr von min. 50.000 € angesetzt werden.

Ertragsvorschau			
	2015	2016	2017
<b>Umsatzerlöse</b>	388.700	1.076.400	1.435.200
./. Material/Fremdleistungen (variable Kosten)	208.000	522.000	672.000
<b>Rohertrag</b>	<b>180.700</b>	<b>554.400</b>	<b>763.200</b>
./. betriebl. Fixkosten	310.019	374.901	412.184
./. einmalige Gründungskosten	106.300		
<b>Betriebsergebnis</b>	<b>-235.619</b>	<b>179.499</b>	<b>351.016</b>
./. Gewerbesteuer (Näherungsrechnung) *)	0	22.242	46.855
Gewerbesteuerhebesatz	410		
./. Einkommensteuer (Rücklage) *)	0	31.451	60.832
angenommener EK-Steuersatz in %	20	20	20
./. geplante Privatentnahme	0	0	0
<b>Ergebnis ohne Berücksichtigung der Privateinnahmen</b>	<b>-235.619</b>	<b>125.805</b>	<b>243.329</b>

Tabelle 20: Ertragsvorschau

## 5 Fazit

Im DBU Förderprojekt „Konzeptstudie -Phase 1- der Entwicklung eines ultraleichten E-Mobils für den urbanen Einsatz“ mit dem Az. 30693 wurde von der Firma ONYX composites GmbH (ONYX) ein E-Mobilitäts-Konzeptfahrzeug als Bindeglied zwischen der aktuellen fossilen PKW Dominanz im urbanen Lebensraum und der zukünftigen überregionalen E-Mobilität ausgearbeitet.

Die im Projektplan (siehe Anhang 7.1) kommunizierten Vorhabensziele wurden größtenteils erreicht und anschaulich sowie nachvollziehbar durch die Formulierung und Überprüfung von bewertbaren Zielparametern dokumentiert.

Der übergeordnete Zielparameter hinsichtlich der Umweltentlastung ist der formulierte „Nutzlastfaktor von 1,5 (Verhältnis Nutzlast zu Eigengewicht eines Fahrzeuges), welcher durch das Potential des Leichtbaus mit Faserverbundwerkstoffen nahezu auf den Punkt erreicht und anhand der Fahrtests nachgewiesen werden konnte.

In der Außenkommunikation durch z.B. Zeitungsartikel, Vorträge, elektronische Kommunikation und speziell bei der Vorstellung des Projektes auf der Hannover Messe 2014 konnte ein Bedarf sowie eine Akzeptanz der Produktidee nachgewiesen werden.

In vielen Diskussionen zum Fahrzeugkonzept ist klar geworden, dass eine Marktdurchdringung nur durch das Verändern oder Anpassen von heutigen Mobilitätsgewohnheiten erreicht werden kann.

Somit ist es notwendig, dem zukünftigen Kunden und jetzigen Klein-PKW-Nutzer das hier entwickelte Fahrzeugkonzept „ONYX E-Mobil“ in seinem Lebensraum oder anhand von Leuchtturmprojekten z.B. mit sozialen Vorbildern (Sportler, Schauspieler und evtl. Politikern) in Funktion zu demonstrieren.

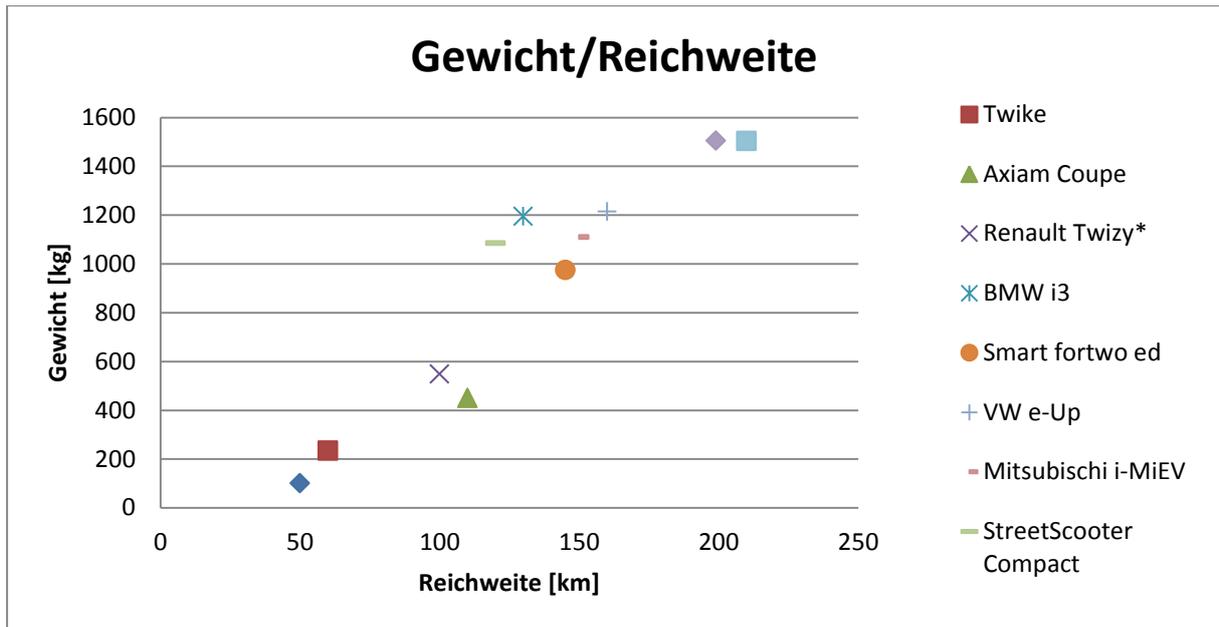
Um die ersten positiven Signale nun nutzen zu können und mit der Idee an den Markt zu gehen, gilt es zeitnah, die offenen technischen und wirtschaftlichen Themen (Detailkonstruktion, Absicherung der Herstellbarkeit, Sicherheitsnachweise, Lieferantensuche und Detaillierung des Businessplans) weiter auszuarbeiten und einige zulassungsfähige Prototypen für eine Feldstudie und die vorgeschlagenen Leuchtturmprojekte herzustellen.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Steinbach, M.: Statistik: Zahlen, Daten & Fakten Elektromobilität. 1. Version, Erstellt von: Steinbach Engineering, 2014
- [2] Becker, M.: Erneuerbar Mobil – Klimaschutz im Verkehr und die Rolle der Elektromobilität. Präsentation vom 19.03.2014 in Osnabrück, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Referat für Umwelt Verkehr, Elektromobilität. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt: [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3773](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3773) , 2010
- [3] Rodt, S., Georgi, B., Huckestein, B. u.a.: CO2-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland, Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale -Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes-
- [4] Hütter, A.: Verkehr auf einen Blick. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt, 2013. - Bestellnummer: 0080006-13900-1
- [5] Deutsches Patent- und Markenamt: 12.11.2013  
<http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?window=1&space=main&content=recherche&action=einsteiger&session=c23b66f330d94bc943592c91488a883f98d0317ea9f4&stamp=114916>



### 7.3 Darstellung Benchmarkanalyse Gewicht vs. Reichweite



Anhang 3 Benchmarkanalyse Gewicht vs. Reichweite