



Diplomarbeit

„Methodik zur technischen Detaillierung variantenreicher Fahrzeugkonzepte in der frühen Phase“

von
Theodoros Tzivanopoulos

Verfasst in der Konzernforschung der Volkswagen AG in Wolfsburg.
Betreut vom Institut für Fahrzeugtechnik an der TU Graz.

Kommissarischer Institutsvorstand:
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Arno Eichberger

Betreuer seitens der TU Graz:
Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Mario Hirz
Dipl.-Ing. Patrick Rossbacher

Betreuer seitens der Volkswagen AG:
Dipl.-Ing. Janna Hahn
Dipl.-Ing. Kai Kuchenbuch

Wolfsburg, im April 2012

The logo for FTG, with 'FTG' in a bold, blue, italicized sans-serif font.

Gesperrt bis April 2017

*"SO EINE ARBEIT WIRD EIGENTLICH NIE FERTIG,
MAN MUSS SIE FÜR FERTIG ERKLÄREN,
WENN MAN NACH DER ZEIT UND DEN UMSTÄNDEN
DAS MÖGLICHSTE GETAN HAT"*

[Johann Wolfgang von Goethe, *Italienische Reise*, 1787]

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Wolfsburg, am.....

.....

(Theodoros Tzivanopoulos)

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Arbeit sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG.

Danksagung

Allen voran möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, dass sie mir die Möglichkeit und die finanziellen Mittel zum Studieren geboten haben. Auch meinem Bruder, Konstantinos, gebührt an dieser Stelle ein großes Dankeschön.

Meiner Freundin Nina gebührt ein großer Dank für ihre tatkräftige Unterstützung während der „heißen Phase“ der Diplomarbeit. Durch ihr Verständnis hat sie mir stets den Rücken gestärkt und mir Mut bei der Verfassung dieser Arbeit zugesprochen.

An dieser Stelle möchte ich mich außerdem bei dem gesamten Institut für Fahrzeugtechnik an der TU Graz bedanken. Allen voran bei dem ehemaligen Institutsvorstand des Institutes für Fahrzeugtechnik (Member of Frank Stronach Institute) der Technischen Universität Graz, Herrn Univ.-Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Hirschberg, sowie dem kommissarischen Institutsleiter Herrn Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Arno Eichberger, die es mir ermöglicht haben, diese Arbeit zu verfassen. Mit Herrn Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Mario Hirz und Herrn Dipl.-Ing. Patrick Rossbacher hatte ich stets zwei kompetente Fachleute als Ansprechpartner, die mich während der Studienzeit und meiner Zeit in Wolfsburg sehr gut betreut haben.

Außerdem möchte ich einen großen Dank an die Konzernforschung der Volkswagen AG, insbesondere an die Arbeitskollegen der Abteilung KEFF/P Forschung Fahrzeugprojekte aussprechen. Sie haben mich von Anfang an überaus herzlich in ihr Team aufgenommen. Für die tatkräftige Unterstützung während meiner Diplomarbeit möchte ich meinen direkten Betreuern, Frau Dipl.-Ing. Janna Hahn und Herr Dipl.-Ing. Kai Kuchenbuch, besonders danken, da sie mich als Mitarbeiter bzw. Diplomanden stets vorbildlich behandelt haben.

Nicht unerwähnt bleiben sollte an dieser Stelle auch das Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz, unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Eichseder. Im Speziellen der Arbeitsbereich Großmotoren, unter der Leitung von Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Wimmer und seinen Mitarbeitern Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Hubert Winter und Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Christiner, ermöglichte es mir, für zwei Jahre an zahlreichen Projekten mitzuarbeiten und so das erlernte Wissen praktisch anwenden zu können. Ihre Freundlichkeit wird mir stets in bester Erinnerung bleiben.

Ich möchte mich bei Sabrina Schnepfleitner ganz herzlichst bedanken, die mich mit ihrem Ehrgeiz und ihrer persönlichen Unterstützungen am Beginn meiner Hochschullaufbahn motiviert hat, niemals ein Ziel aufzugeben.

„Last but not least“ möchte ich all meinen Freunden für die bisherige, schöne Zeit danken. Ein besonders großes Dankeschön geht dabei an meinen langjährigen und besten Freund, Stephan Smode. Ich werde immer wieder gern an die lustigen Stunden abseits der Universität zurückdenken.

Geheimhaltungszusatz

Diese Diplomarbeit beinhaltet streng vertrauliche firmenspezifische Daten. Aus diesem Grund darf eine Veröffentlichung – auch nur auszugsweise – oder eine Weitergabe an Dritte nur mit der schriftlichen Genehmigung der Volkswagen AG erfolgen.

Die vorliegende Diplomarbeit ist nur den Mitarbeitern des Volkswagen Konzerns, den Korrektoren sowie Mitgliedern des Prüfungsausschusses zugänglich zu machen.

Sperrvermerk

Die Diplomarbeit ist ab dem Datum der Abgabe für einen Zeitraum von **5 Jahren** streng vertraulich zu behandeln. Danach ist sie auch für Konzernmitarbeiter frei zugänglich.

Wolfsburg, April 2012

Kurzfassung

Aktuelle Trends auf den zahlreichen Automobilmessen belegen, dass die Anzahl der Fahrzeugderivate im Automobilssektor stetig ansteigt. Dem Kunden bieten sich heutzutage immer mehr Möglichkeiten ein geeignetes Fahrzeug für seine individuellen Anwendungen auszuwählen. Jeder Hersteller versucht - in immer kürzeren Zeitabständen - unterschiedliche Fahrzeuge am Markt zu etablieren, um dadurch gegenüber der Konkurrenz wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Verkürzung der Entwicklungszeit erfordert allerdings, neben der Anwendung von bewährten Prozessmethoden, vor allem den Einsatz von computergestützten Hilfsmitteln. Dabei ist besonders die Konzeptfindungsphase eine Schlüsselstelle im Produktlebenszyklus eines Fahrzeuges. Während dieser Entwicklungsperiode werden Vorabentscheidungen für zukünftige Konzepte getroffen. Es ist daher von Vorteil zu erkennen, obgleich geringer Fahrzeug- und Komponentendetaillierungen, wie sich gesetzliche Normen und Anforderungen bezüglich einer Zulassung auswirken, ohne dass die gewünschte Ergonomie bzw. der geforderte Komfort Einschränkungen erfährt. Der Einsatz richtiger Werkzeuge bereits zu Beginn der Konzeptentwicklung ermöglicht es, eventuelle Bauteilkollisionen möglichst früh zu erkennen und diese rechtzeitig zu verhindern und somit kostenintensive Verbesserungsschleifen im späteren Entwicklungsprozess zu vermeiden.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Verbindung von zwei unabhängig voneinander entwickelten rechnergestützten Konzeptwerkzeugen durch eine Schnittstelle. Im ersten Schritt soll nach einer Analyse entsprechender zu erwartender Vorteile und einer sequentiellen Kombination der Konzepttools eine Methodik abgeleitet werden, mit deren Hilfe der Entwickler in kurzer Zeit im Stande ist, Fahrzeugkonzepte entsprechend der geforderten Kriterien der Konzeptbeschreibung zu untersuchen. Es soll primär eine Verkürzung der Entwicklungszeit bzw. eine Fehlerminimierung in der frühen Phase der Konzeptentwicklung ermöglicht werden. Die Hauptfunktion der Schnittstelle liegt darin, neben der Übergabe der Fahrzeugparameter vom ersten zum zweiten Konzeptwerkzeug, automatisch weitere, zur Darstellung eines Gesamtfahrzeugkonzepts relevante, Hauptabmessungen ableiten zu können. Dabei hat der Entwickler die Möglichkeit, zwischen zwei vordefinierten Karosserieformen auszuwählen. Dadurch entsteht ein detaillierteres Fahrzeugkonzept, an dem die erwähnten Anforderungen untersucht werden.

Der zweite Schritt dieser Arbeit enthält eine Untersuchung und konzeptionelle Realisierung einer inhaltlichen Erweiterung der bisher angewandten Methodik. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Einstiegskomforts soll eine Einstiegskomfortuntersuchung durch eine konzeptionelle Vereinfachung des Einstiegsvorgangs und der dazugehörigen Türflanschgeometrie anhand einer aussagekräftigen Abbildung der relevanten Einflüsse dargestellt werden. Durch den Einsatz von ausgewählten Beurteilungskriterien und der Einbindung von Restriktionen der Optimierungsgrößen wird daraus ein übergeordneter Zielkonflikt, der so genannte Ergonomie-Index, abgeleitet, mit dessen Bewertung eine ergonomische Auslegung der Türflanschgeometrie unterstützt werden kann.

Sowohl durch die Integration des Ergonomie-Indexes in das vorhandene Optimierungstool, als auch durch das Implementieren der parametrisierten Türflanschgeometrie im zweiten Konzeptwerkzeug, wird die Erweiterbarkeit der Methodik an einem Beispiel exemplarisch dargestellt. Dadurch kann bereits in der frühen Phase der Konzeptentwicklung durch den Einsatz einer Optimierungssoftware die Anzahl an Ergonomie-Untersuchungen deutlich reduziert werden.

Abstract

Current trends at numerous automotive fairs demonstrate that the number of vehicle derivatives in the automotive sector rises steadily. More and more possibilities to select a suitable vehicle for its individual applications are offered to the customers. Each manufacturer attempts to establish different vehicles on the market within shorter intervals to provide competitiveness. Shortening development time requires the use of computer-based tools, besides the application of efficient methods and processes. Especially the concept identification stage represents a key phase in the product life cycle of a vehicle. During this period of development, characteristics definition preliminary rulings are made for future concepts. Therefore it is of benefit, to work out to fulfill legal standards and requirements relating to authorization, under consideration of ergonomics or the comfort-related requirements. The use of proper tools already supports early concept development and the recognition device conflicts as early as possible and to avoid thus costly enhancement grind in later development.

This Diploma Thesis deals with the connection of two independently developed computer-based concept by use of an interface. In the first step, a methodology for the analysis of expected benefits by application of a sequential combination of concept tools was carried out. This includes the investigation of investigate vehicle concepts in view of required criteria of concept notes. This procedure enables a reduction of development time and an error minimization during the early stages of design. The primary function of the interface is to deduce automatically main dimensions from the first to the second concept tool, in addition to the delivery of the vehicle parameters. Thus, the development engineer has the possibility to choose between two predefined body shapes. This creates a more detailed vehicle concept, on which the mentioned requirements are examined.

The second step of this work contains a study and conceptual realization of a substantive expansion of the previously applied methodology. Due to the increasing importance of comfort, an initial study of comfort is to be represented through a conceptual simplification of the entry process and the corresponding door flange geometry based on a meaningful reproduction of relevant influencing parameters. By use of selected criteria for assessment and the integration of restrictions of corresponding parameters, a parent conflict, the so-called "Ergonomie-Index", is derived. With its rating, the development of an ergonomic door entrance leading to a conceptual door flange geometry can be supported.

By use of an integration of the "Ergonomie-Index" to the existing optimization model, as well as by implementation of the parameterized door flange geometry into the second concept tool, the extensibility of the methodology was shown exemplary. In this way, the number of ergonomics development steps, can be reduced in the early stage of concept development.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	AUFGABENSTELLUNG	4
2.1	ZIELSETZUNG	4
2.2	LASTENHEFT	7
3	STAND DER TECHNIK.....	8
3.1	PRODUKTLEBENSZYKLUS.....	8
3.2	PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS	10
3.3	PRODUKTENTWICKLUNGSPROZESS.....	11
3.4	KONZEPTPHASE	13
3.5	GESTALTUNG VON FAHRZEUGKONZEPTEN	15
3.5.1	<i>Package</i>	<i>17</i>
3.5.2	<i>Mannequins und Perzentile</i>	<i>18</i>
3.5.3	<i>Maßkonzeptionen</i>	<i>22</i>
3.6	MODERNE WERKZEUGE FÜR DEN FAHRZEUGKONZEPTENTWURF	26
3.6.1	<i>Electrical Vehicle Architecture Optimization System (EVA_OS).....</i>	<i>29</i>
3.6.2	<i>ConceptCar</i>	<i>30</i>
3.6.3	<i>Zusammenfassung.....</i>	<i>32</i>
4	ZUSAMMENFÜHREN DER BEIDEN KONZEPTWERKZEUGE	33
4.1	AUSGANGSBASIS.....	33
4.2	PROBLEMATIK	35
4.3	LÖSUNGSANSATZ	37
4.3.1	<i>Definition von fahrzeugrelevanten Exterieur-Abmessungen.....</i>	<i>37</i>
4.3.2	<i>Der Windlaufpunkt.....</i>	<i>41</i>
4.4	DEFINITION DER ZU ÜBERTRAGENDEN MAßE.....	50
4.5	AUFBAU DER SCHNITTSTELLE	52
5	ERWEITERUNG DER METHODIK ZUR KONZEPTTOOLKOMBINATION DURCH ERGONOMISCHE OPTIMIERUNG DER TÜRFLANSCHGEOMETRIE.....	56
5.1	ERGONOMIE	57
5.1.1	<i>Ergonomie im Fahrzeug</i>	<i>58</i>
5.1.2	<i>Bedeutung der Ergonomie während des PEPs.....</i>	<i>60</i>
5.1.3	<i>RAMSIS.....</i>	<i>63</i>
5.2	VEREINFACHTE DARSTELLUNGEN FÜR DIE FRÜHE KONZEPTPHASE.....	64
5.2.1	<i>Geometrische Abbildung des Türflansches.....</i>	<i>64</i>
5.2.2	<i>Konzeptionelle Vereinfachung des Menschen</i>	<i>67</i>
5.2.3	<i>Unterschiedliche Einstiegsszenarien</i>	<i>68</i>
5.2.4	<i>Zusammenfassung der Einstiegsszenarien</i>	<i>71</i>
5.3	KONZEPTIONELLE BETRACHTUNG DER EINSTIEGSBEWEGUNG.....	71

5.3.1	<i>Markante Bereiche am Türflansch</i>	72
5.3.2	<i>Hintergrund einer Optimierung</i>	73
5.4	DER „ERGONOMIE-INDEX“	74
5.4.1	<i>Koordinatenänderung H-Punkt</i>	75
5.4.2	<i>Kopfüberhang beim Einstieg</i>	79
5.4.3	<i>Grenzwinkel der Beingelenke</i>	84
5.4.4	<i>Vorgehensweise bei der Ermittlung von ergonomischen Vergleichswerten</i>	89
5.5	VALIDIERUNG DES ERGONOMIE-INDEXES IN ZUSAMMENWIRKUNG	
	MIT DER METHODIK	92
5.5.1	<i>Teilkriterium 1 (99%/0,5%/0,5%), Koordinatenänderung H-Punkt</i>	94
5.5.2	<i>Teilkriterium 2 (0,5%/99%/0,5%), Kopfüberhang beim Einstieg</i>	96
5.5.3	<i>Teilkriterium 3 (0,5%/0,5%/99%), Grenzwinkel der Beingelenke</i>	97
5.5.4	<i>Ergonomie-Index (33,33%/33,33%/33,34%)</i>	98
5.6	IMPLEMENTIERUNG DER TÜRFLANSCHGEOMETRIE IN DAS	
	GESAMTFAHRZEUGMODELL VON CONCEPTCAR	99
5.7	ERWEITERTE DARSTELLUNG DER METHODIK ZUR KONZEPTTOOL-KOMBINATION	101
6	ZUSAMMENFASSUNG	102
	LITERATURVERZEICHNIS	104
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	108
	TABELLENVERZEICHNIS	111
	ANHANG	112

Nomenklatur

Akronyme

<i>2D</i>	...	Zwei-Dimensional
<i>3D</i>	...	Drei-Dimensional
<i>BoF</i>	...	Ball of Foot
<i>CAD</i>	...	Computer Aided Design
<i>CAE</i>	...	Computer Aided Engineering
<i>CATIA</i>	...	Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application Version
<i>CFD</i>	...	Computational Fluid Dynamics
<i>DMU</i>	...	Digital Mock-Up
<i>ECIE</i>	...	European Car Manufacturers Information Exchange Group
<i>EP</i>	...	Entwicklungsprozess
<i>EVA_OS</i>	...	Electrical Vehicle Architecture Optimization System
<i>FEM</i>	...	Finite Element Methode
<i>F-Punkt</i>	...	Fersenaufstandspunkt
<i>GCIE</i>	...	Global Car Manufacturers Information Exchange Group
<i>H-Punkt</i>	...	Hüftreferenzpunkt
<i>h-WLP</i>	...	Hinterer Windlaufpunkt
<i>I-Tafel</i>	...	Instrumententafel
<i>OEM</i>	...	Original Equipment Manufacturer
<i>PEP</i>	...	Produktentstehungsprozess
<i>PKW</i>	...	Personenkraftwagen
<i>PLM</i>	...	Produktlebensmanagement
<i>RAMONA</i>	...	RAMSIS Online Application
<i>RAMSIS</i>	...	Rechnergestütztes anthropologisch-mathematisches System zur Insassen-Simulation
<i>R-Punkt</i>	...	Sitzreferenzpunkt
<i>SgRP</i>	...	Seating Reference Point
<i>SOP</i>	...	Start of Production
<i>VPE</i>	...	Virtuelle Produktentstehung
<i>VW</i>	...	Volkswagen AG
<i>v-WLP</i>	...	Vorderer Windlaufpunkt

Lateinische Zeichen

ΔL	[mm]	Differenzmaß zwischen L114 und L0001
$H_{Gesäß}$	[mm]	Gesäßhöhe des Perzentils
$H_{Sitzkante}$	[mm]	Höhe der seitlichen Fahrersitzkante
$H0005$	[mm]	Vertikaler Abstand zwischen der Dachkante und der obersten Türflanschgeometrie
$Kopfüberhang$	[mm]	Positiver bzw. negativer Abstand zwischen dem obersten Punkt des Perzentils und der Türflanschoberkante
$R_{Manikin}$	[mm]	Projizierte Oberkörperlänge zur Vertikalen referenziert auf den geneigten Oberkörper
$R_{Oberkörper}$	[mm]	Differenzmaß zwischen der Gesamthöhe und der Z-Koordinate H-Punkt des Perzentils
R^2	-	Bestimmtheitsmaß der Regression
$Y1$	[mm]	Y-Abstand zwischen dem R-Punkt und dem Türflansch
$Y2$	[mm]	Y-Abstand zwischen dem R-Punkt und Sitzflächenkante
$Z1$	[mm]	Vertikaler Abstand des H-Punkts beim Einstieg an der äußeren Sitzkante
ΔH	[mm]	Vertikales Differenzmaß zwischen dem H-Punkt einer stehenden und einer an der Sitzkante sitzenden Person
$L1$	[mm]	Horizontaler Abstand zwischen der vorderen Fahrer-Türflanschante und dem R-Punkt
$L2$	[mm]	Horizontaler Abstand zwischen dem R-Punkt und der hinteren Fahrer-Türflanschante
$T1$	[mm]	Vertikaler Abstand zwischen dem Fahrer-Türschweller und dem R-Punkt
$T2$	[mm]	Vertikaler Abstand zwischen dem R-Punkt und der Fahrer-Türflanschgeometrie oben
$T3$	[mm]	Vertikaler Abstand zwischen dem R-Punkt und der vorderen Fahrer-Türflanschgeometrie oben

Literaturverweis für GCIE

<i>A0002</i>	[deg.]	Neigungswinkel Motorraumabdeckung
<i>A0003</i>	[deg.]	Neigungswinkel Heckklappe
<i>A122</i>	[deg.]	Neigungswinkel Seitenscheiben
<i>A130-1</i>	[deg.]	Neigungswinkel Windschutzscheibe
<i>A130-2</i>	[deg.]	Neigungswinkel Heckscheibe
<i>H0010</i>	[mm]	Vertikaler Abstand zwischen Mitte Vorderachse und WLP
<i>H100-B</i>	[mm]	Fahrzeuggesamthöhe
<i>H157</i>	[mm]	Bodenfreiheit
<i>H30</i>	[mm]	Vertikaler Abstand zwischen dem F-Punkt und dem R-Punkt
<i>H5</i>	[mm]	Höhe R-Punkt Position des Fahrers
<i>H61</i>	[mm]	Effektiver Kopfraum vorne; Maß zwischen dem R-Punkt und der Dachverkleidung, gemessen entlang einer um 8° in der Vertikalen nach hinten geneigten Linie, zuzüglich 102 mm
<i>L0001</i>	[mm]	Abstand zwischen der Mitte Vorderachse (Bezugsniveau) und dem v-WLP in X-Richtung
<i>L0001</i>	[mm]	Horizontaler Abstand zwischen Mitte Vorderachse und v-WLP
<i>L0005</i>	[mm]	Horizontaler Abstand zwischen der hinteren Fahrer-Türflanschkeite und dem R-Punkt
<i>L0007</i>	[mm]	Horizontaler Abstand zwischen der vorderen Fahrer-Türflanschkeite und dem R-Punkt
<i>L101</i>	[mm]	Radstand
<i>L103</i>	[mm]	Fahrzeuggesamtlänge
<i>L104</i>	[mm]	Länge Überhang vorne
<i>L105</i>	[mm]	Länge Überhang hinten
<i>L114</i>	[mm]	Länge zwischen Mitte Vorderachse und R-Punkt Fahrer
<i>L50</i>	[mm]	Abstand der R-Punkte zwischen der ersten und zweiten Sitzreihe
<i>L53</i>	[mm]	Länge zwischen dem F- und dem R-Punkt
<i>L604</i>	[mm]	Länge zwischen Mitte Vorderachse und BoF
<i>L605</i>	[mm]	Länge zwischen R-Punkt Fondpassagier und Mitte Hinterachse
<i>W101</i>	[mm]	Spurweite vorne

<i>W104</i>	[mm]	Y-Koordinate des fahrerseitigen Spiegels
<i>W117</i>	[mm]	Karosseriebreite; Größte Breite der Karosserie in der X-Ebene durch den R-Punkt des Fahrers
<i>W20</i>	[mm]	Y-Koordinate des R-Punkts vorne
<i>W3</i>	[mm]	Kleinstes Maß in der X-Ebene durch den R-Punkt des Fahrers zwischen den verkleideten Seitenflächen im Bereich zwischen der Gürtellinie und einer Linie 254 mm oberhalb des R-Punktes

1 Einleitung

Die Entstehung eines Produktes fasziniert und begeistert die Menschheit schon seit jeher. Doch der Schritt von der ersten Idee bis zum fertigen Produkt, umgesetzt durch die Unterstützung strukturierter Prozessdefinitionen, die für Entwicklungen notwendig sind, hat oft viele Jahrhunderte gedauert. So sind technische Werkzeuge zwar bekannt, aber der Weg ihrer Entstehung ist nur schwer nachvollziehbar. Erst im Laufe des 20. Jahrhunderts tauchten, unterstützt durch die Arbeiten der Ingenieurgesellschaften und Normungsinstitute, erste methodische Ansätze zum Konstruktionsablauf selbst auf, vgl. [1].

Mit der Entwicklung des Automobils, die vor knapp 125 Jahren begann, wurde ein Verkehrsmittel geschaffen, das, aufgrund seiner individuellen und flexiblen Einsetzbarkeit, bis heute intensiv genutzt wird. Das Auto ermöglicht heute in fast allen Regionen dieser Erde individuelle Mobilität und den Transport von Gütern an beinahe jeden gewünschten Ort. Immer wieder zeigt sich, dass zivilisatorischer, wirtschaftlicher und kultureller Fortschritt weltweit untrennbar mit Mobilität verbunden ist, vgl. [2].

Über die Jahre hinweg hat sich das Automobil sehr stark weiterentwickelt und bietet dem Kunden heute mehr Sicherheit und Komfort als noch vor 20 Jahren. Darüber hinaus haben sich die Fahrzeuge und die dazugehörigen Derivate in den letzten Jahren verdoppelt (Bild 1.1).

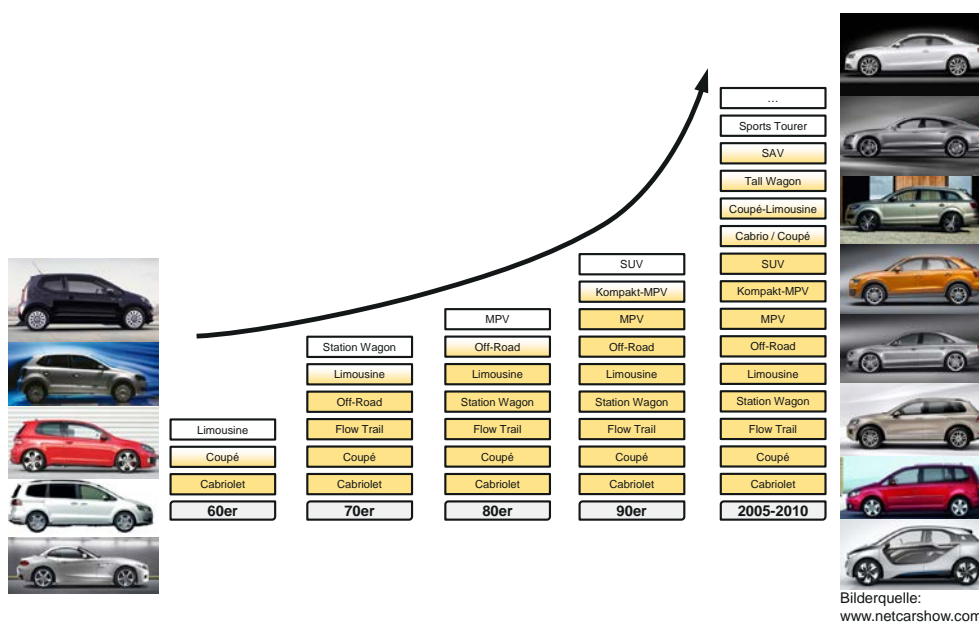


Bild 1.1: Anzahl der Fahrzeugderivate über die letzten 50 Jahre, vgl. [3]

1. Einleitung

Somit sind die Käufer heute mehr denn je in der Lage, für ihre individuellen Anwendungsgebiete das passende Fahrzeug auszuwählen. Nicht zuletzt dadurch hat die weltweite Fahrzeugproduktion inzwischen die bisherige Höchstmarke von 60 Millionen Einheiten überschritten [3].

Allein der Automobilhersteller Volkswagen bietet in der Bundesrepublik Deutschland aktuell in neun Fahrzeugsegmenten 24 verschiedene Fahrzeugmodelle an. Die Anzahl bezieht sich dabei rein auf die unterschiedlichen Karosserieformen ohne Berücksichtigung der dazugehörigen Motorenvarianten. Bei Mitbetrachtung dieser würde dies zu einem weiteren Anstieg der Variantenvielfalt führen, vgl. [4].

Die Forschungs- und Entwicklungsprozesse für die Herstellung vieler Produkte sind zum Einen oftmals langjährig und kostenintensiv und zum Anderen nicht in jedem Produkt offensichtlich erkennbar. Diese vielschichtigen Prozesse machen bei allen produzierenden Unternehmen einen großen Anteil an den Produktlebensphasen aus. Das Bild 1.2 zeigt die verschiedenen, teils untergliederten Phasen, die während des Produktlebenszyklus durchlaufen werden. Dazu gehören, neben der Produktentstehung, die sich wiederum in die Produktplanung, -entwicklung, -herstellung und Arbeitsvorbereitung unterteilt, auch der Vertrieb, die Produktnutzung und schlussendlich die -entsorgung.

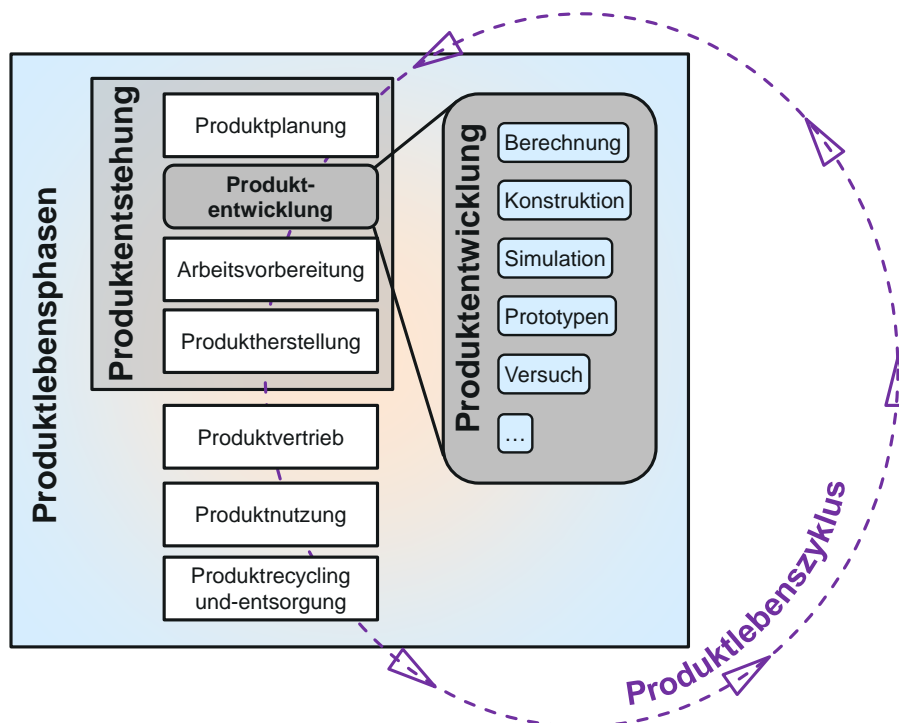


Bild 1.2: Vielschichtige Phasen des Produktlebenszyklus, vgl. [5]

Es gibt viele Einflussgrößen auf die Produktentwicklung, wie zum Beispiel Wünsche von Kunden, die Produkte mit individuellen Eigenschaften innerhalb eines eng gesteckten

1. Einleitung

Qualitäts-, Zeit- und Kostenrahmens fordern. Für Unternehmen zählen primär Kundenzufriedenheiten und die Produktwertschöpfung, welche beide wichtige Bestandteile darstellen. Somit sind die Bedürfnisse einzelner Kunden, oder ganzer Kundenmärkte zu berücksichtigen und müssen stets in die aktuelle Produktentwicklung einfließen. Laut Lindemann [6] spielt zudem der Wettbewerb eine bedeutende Rolle, in dem sich ein Unternehmen mit seinen Produkten behaupten muss.

Die angesprochenen Forderungen an die Produkte lassen sich heute ohne moderne Hilfsmittel fast nicht mehr umsetzen. Die erwähnten Prozesse fordern, neben Simultaneous Engineering, auch einen Einsatz von Methoden und Werkzeugen der virtuellen Produktentwicklung. Einerseits lassen sich die Abläufe so, im Gegensatz zu früher, deutlich besser koordinieren, andererseits sind die stetig steigenden Anforderungen an die Forschung und Entwicklung ohne den Einsatz von computergestützter Software undenkbar. Ein immer wichtigeres Thema wird dabei auch die Aussagekraft von Konzeptwerkzeugen, um Potentiale der Fahrzeugkonzepte möglichst früh zu erkennen. Aufgrund der vielen Möglichkeiten, die dadurch entstehen, befassen sich Ingenieure vermehrt mit der Verbesserung der Werkzeuge bzw. der Kombination dieser untereinander. Der wissenschaftliche Inhalt der vorliegenden Diplomarbeit beschäftigt sich folglich mit dem Aufzeigen einer Methodik, die bereits in der frühen Phase der Konzeptentwicklung eine tendenzielle Aussage über zukünftige Fahrzeugkonzepte ermöglicht.

2 Aufgabenstellung

Innerhalb dieses Kapitels sollen sowohl die Aufgabenstellung, als auch das Lastenheft der Diplomarbeit beschrieben werden. Damit wird ein Überblick über den Arbeitsablauf bzw. über den Inhalt der vorliegenden Arbeit vermittelt.

2.1 Zielsetzung

Die vorliegende Diplomarbeit ist unterteilt in zwei unterschiedliche Aufgabenstellungen. Im ersten Teil ist das Potenzial der Kombination zweier voneinander unabhängig entwickelter Fahrzeug- bzw. Konzeptauslegungswerkzeuge zu untersuchen und die daraus folgende Arbeitsweise soll durch eine strukturierte Methodik formuliert werden. Im zweiten Teil der Arbeit ist, durch das Erarbeiten von Optimierungskriterien, die Erweiterbarkeit der Methodik nachzuweisen. Hierfür wird die Ergonomie beim Einstiegsvorgang und die damit in Verbindung stehende Türflanschgeometrie betrachtet und untersucht. Der Entwickler ist dadurch im Stande, schnell und mit geringem Aufwand, optimierte Maßkonzepte in ein Gesamtfahrzeugmodell zu übertragen, um damit gesetzliche Anforderungen bzw. Komfortvorgaben zu überprüfen.

Am Anfang der Prozesskette erfolgt hierzu die Anwendung des von Kuchenbuch [7] entwickelten Konzeptauslegungswerkzeugs EVA_OS zur Plattformauslegung von zukünftigen Elektrofahrzeugarchitekturen hinsichtlich geforderter Optimierungskriterien. Diesem folgt ConceptCar ([8], [9]), ein vollständig parametrisiertes Konzeptfahrzeugmodell, das in die kommerziell genutzte 3D-Konstruktionsumgebung CATIA V5 [10] implementiert ist. Die Schnittstelle zwischen den beiden Tools soll die fehlenden Konzeptmaße aus EVA_OS durch parametrische Maßketten ableiten und für ConceptCar bereitstellen. Dadurch lässt sich eine Gesamtfahrzeugdarstellung in ConceptCar verwirklichen, welche durch die resultierenden Daten aus EVA-OS gesteuert werden kann. Der Programmkern soll dabei auf der, von beiden Konzeptwerkzeugen gemeinsam genutzten, Datenoberfläche im Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel [11] basieren, um unnötige Datenkonvertierungen in andere Programmformate zu vermeiden. Mit Hilfe einer zweidimensionalen Abbildung der möglichen Karosserieform in MS Excel wird der Entwickler vorab bei der Selektion eines infrage kommenden Maßkonzepts unterstützt. Des Weiteren soll die im ConceptCar vorhandene Schnittstelle zu CAVA [12], einem Modul das die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben darstellen und dessen Überprüfung unterstützen kann, genutzt werden. Genauso entscheidend ist die Verbindung zu RAMSIS [13], das die ergonomischen Anforderungen unterstützt und SFE-Concept [14], einem Modul zum effizienten Erstellen von flächenbasierenden Karosseriemodellen zur Strukturauslegung.

Im Zuge der inhaltlichen Erweiterung der Methodik wird dem Entwickler eine Möglichkeit aufgezeigt, wie im bestehenden Optimierungs- bzw. Visualisierungsprozess der Methodik,

2. Aufgabenstellung

neue Kriterien bzw. Restriktionen für eine weiterführende Optimierung erarbeitet und erweitert werden können. Am Beispiel der Türflanschoptimierung sollen dazu, sowohl der Einstiegsvorgang, als auch die Türflanschgeometrie in eine vereinfachte Darstellung gebracht werden. Anhand von drei ausgewählten Kriterien (Koordinatenänderung, Kopfüberhang und Beinwinkel) wird eine ergonomische Beurteilung der Türflanschgeometrie ausgearbeitet und entsprechend ihrer Aussagekraft untersucht. Aus Gründen, die Optimierungszeit betreffend, sind diese ausgewählten Kriterien zu einem Gesamtkriterium, dem „Ergonomie-Index“, zusammenzufassen und durch variable Gewichtungsfaktoren zu versehen. Die optimierten Ergebnisse werden anhand einer parametrisierten Türflanschgeometrie in ConceptCar implementiert und durch eine Schnittstelle mit den entsprechenden Parametern verknüpft. Dazu werden neue Maßparameter generiert und entsprechend der ConceptCar-Struktur parametrisch miteinander verbunden.

Die Vorgehensweise bei der Kombination der beiden Konzeptwerkzeuge in Vorbereitung einer Erweiterung ist in Bild 2.1 schematisch dargestellt. Bei den rot umrahmten Bereichen handelt es sich um jene zu erweiternden Module, die zur Funktionalität der Methodik bzw. erweiterten Methodik beitragen sollen.

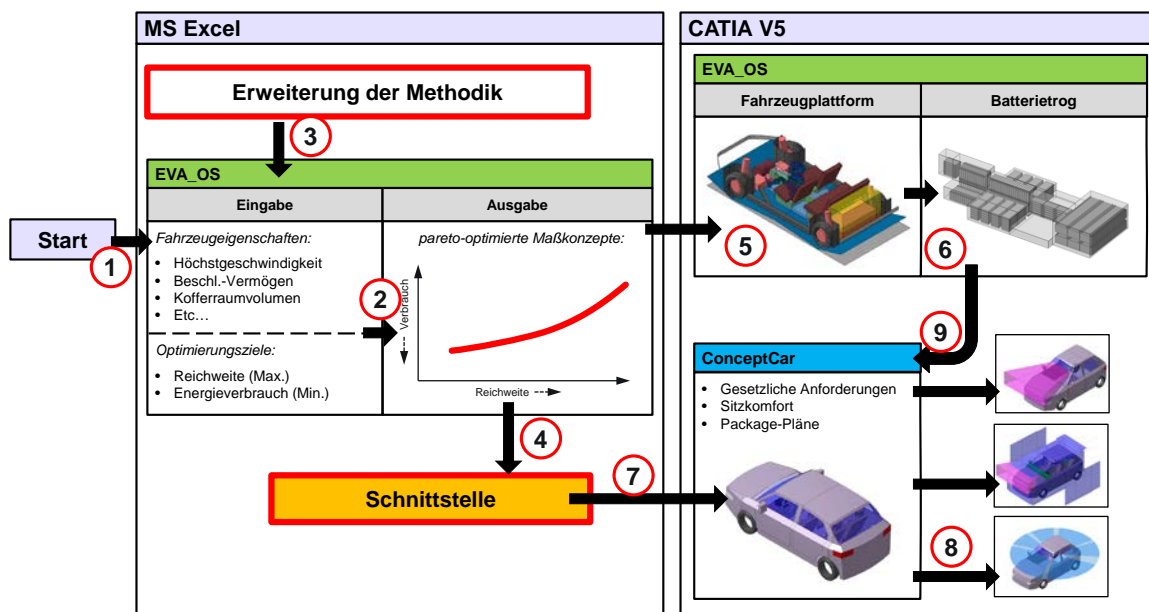


Bild 2.1: Vorgehensweise bei der Kombination der beiden Konzeptwerkzeuge in Vorbereitung einer Erweiterung

Die in Bild 2.1 dargestellte Vorgehensweise sieht vor, dass der Entwickler durch Eingabe der geforderten Fahrzeugeigenschaften in EVA_OS und durch Definition der Optimierungsziele, die Methodik für den Konzeptentwicklungsprozess startet (1). Anschließend optimiert EVA_OS, unter Berücksichtigung der Kriterien und Restriktionen,

2. Aufgabenstellung

die infrage kommenden, pareto-optimalen Maßkonzepte (2). An dieser Stelle soll die Erweiterung der Methodik, am Beispiel der ergonomischen Türflanschuntersuchung bzw. -Auslegung, eingebracht werden (3). Nach Abschluss der Optimierungsschleifen sollen die einzelnen Maßkonzepte manuell an die Schnittstelle übertragen (4) werden. Die 3D-Visualisierung des plattformorientierten Fahrzeugkonzeptentwurfs in CATIA V5, ermöglicht dem Entwickler, die verschiedenen Fahrzeugkonzepte visuell zu beurteilen, bevor diese für detailliertere Untersuchungen zu ConceptCar übertragen werden (5). Daraus ist die Geometrie des dargestellten Batterietroges für die anschließende Einbindung in das ConceptCar-Modell wahlweise auszuschreiben (6). Für die Parameterweitergabe müssen alle Maße in ConceptCar übertragen werden, wobei dieser Schritt mittels der Schnittstelle erfolgen soll (7). Durch die vorhandenen Interfaces zu RAMSIS, CAVA oder SFE-Concept, ist eine detaillierte Untersuchung aller Forderungen problemlos in ConceptCar möglich (8). Abschließend können, neben der ausgeschriebenen Batterietroggeometrie, auch zusätzliche DMU-Komponenten über das Input-Modul eingelesen und entsprechend ihrer Bestimmung positioniert werden (9).

Im Verlauf dieser Diplomarbeit wird die Vorgehensweise in Bild 2.1 entsprechend erweitert.

In der nächsten Abbildung (Bild 2.2) ist ein Flußdiagramm dargestellt, welches zum Einen die frühe Konzeptphase mit den wichtigen Ergebnissen aufzeigt und zum Anderen die verwendeten Konzeptwerkzeuge entsprechend ihrem Einsatzzeitraum positioniert.

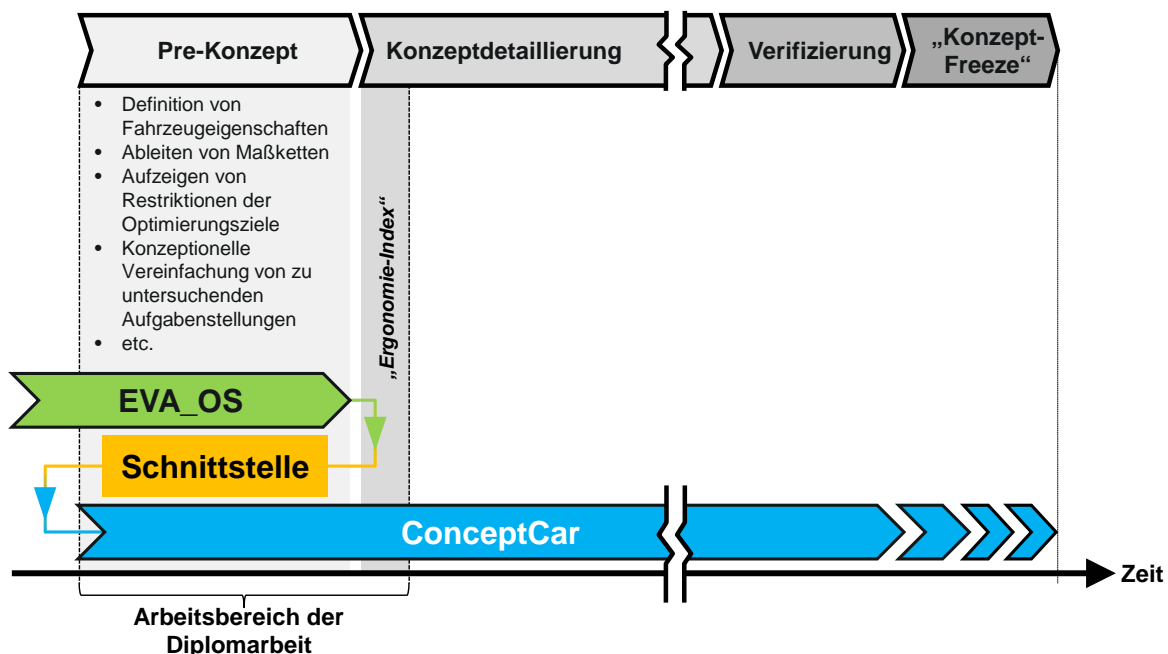


Bild 2.2: Flußdiagramm zur Darstellung des Arbeitsbereiches der Diplomarbeit und Platzierung der Konzeptwerkzeuge in der frühen Konzeptphase

2.2 Lastenheft

Im Folgenden ist das Lastenheft der Diplomarbeit angeführt. Die Arbeit sieht das systematische Ausarbeiten der aufgelisteten Punkte vor.

1. *Analyse bestehender Konzeptwerkzeuge für die frühe Konzeptphase*
2. *Untersuchung der Vorteile und Möglichkeiten bei einer Kombination von ConceptCar & EVA_OS*
3. *Datenaustausch zwischen verschiedenen Konzeptwerkzeugen*
4. *Erstellen einer parametrisierten Maßkettenableitung, basierend auf Referenzfahrzeugen für das Gesamtfahrzeugkonzept*
5. *Entwicklung einer Methode zur Optimierung und Erweiterung der Konzeptarbeit mit ConceptCar & EVA_OS*
6. *Konzeptionelle und ergonomische Betrachtungen von Einstiegsszenarien*
7. *Erarbeiten von Bewertungskriterien für die Validierung verschiedener Fahrzeugmaßkonzepte hinsichtlich der Einstiegsergonomie (drei Kriterien)*
8. *Entwicklung von Methoden zur Türflanschoptimierung durch eine Integration in EVA_OS*

3 Stand der Technik

Wie anfangs bereits erwähnt, soll in diesem Kapitel der aktuelle Stand der Technik in der Produktentwicklung aufgezeigt werden. Im Zuge dessen erfolgt eine detaillierte Beschreibung der markanten Merkmale in den entsprechenden Phasen, wobei, bezogen auf die Organisationsmethodik, von einer groben Darstellung bis ins Detail vorgegangen wird.

3.1 Produktlebenszyklus

Als Einleitung in den aktuellen Stand der Technik wird der Produktlebenszyklus, welcher bereits in der Einleitung kurz erwähnt wurde, näher erläutert. Es handelt sich dabei um das strukturierte Durchlaufen jeder einzelnen Produktlebensphase (Bild 3.1).

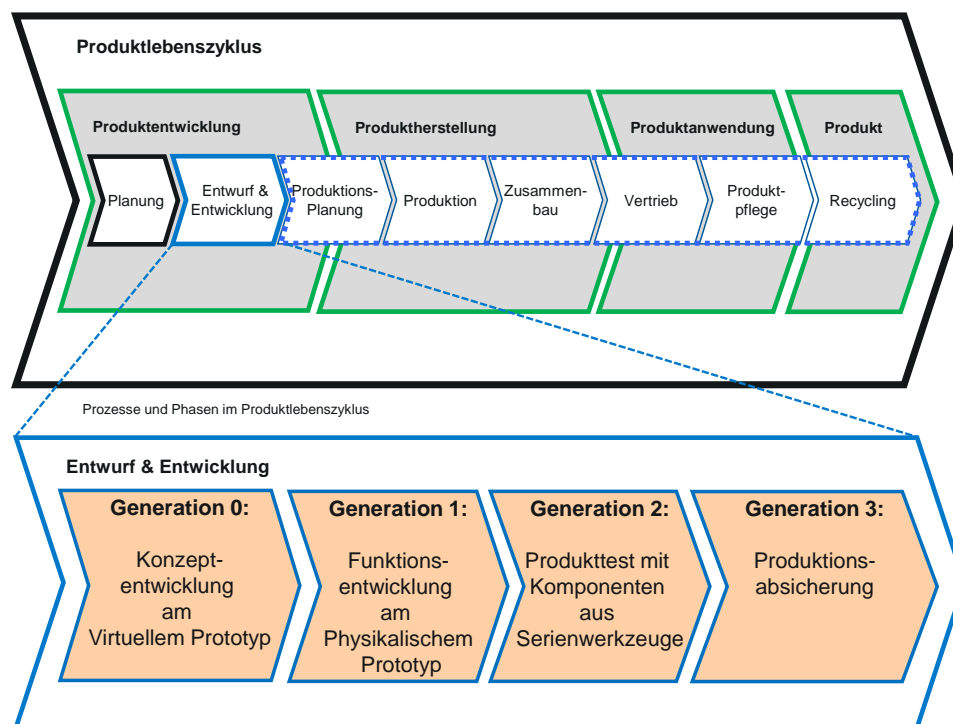


Bild 3.1: Phasen des Produktlebenszyklus, vgl. [15]

Laut [16] ist bei allen Aktivitäten zur Produktplanung ein grundlegender, strategischer Ansatz notwendig. Durch die integrierten Ansätze können beispielsweise die Stärken eines Unternehmens gezielt auf die Wettbewerbssituation in den einzelnen Märkten ausgerichtet werden. Nicht zuletzt aufgrund der hohen Produktentwicklungskosten (beispielsweise durch Anschaffungen für die Fertigung und Neuentwicklungen bzw. -konstruktionen) ist eine möglichst hohe Gesamtlaufzeit für ein Produkt anzustreben, da auf längere Sicht und mit steigenden Stückzahlen eine Kostenreduktion erreicht werden kann. Durch die

3. Stand der Technik

Kostenreduzierung kann wiederum für den Kunden ein attraktives Preisniveau geschaffen werden was somit die Kundenzufriedenheit erhöht.

Neben dem festgelegten Produktionsstart, bekannt als Start of Production (SOP), spielt auch das rechtzeitige und planmäßige Einführen der Produkte auf dem jeweiligen Markt (Markteinführung) eine wesentliche Rolle. Dies erfordert in der heutigen Zeit sowohl vermehrt planbare und flexible Strukturen, als auch ein nachvollziehbares Vorgehen bei der Produktentwicklung. Die geschilderten Gesichtspunkte führen zu einer stetig steigenden Komplexität im Unternehmen, die ohne geeignete Gegenmaßnahmen sehr schnell zu einer unübersichtlichen Situation führen kann.

Zusätzlich zu der strukturierten Auflistung der Produktlebensphasen und deren Durchlaufen im Produktlebenszyklus ist die dabei verwendete Vorgehensstrategie besonders entscheidend. Mit dieser Thematik beschäftigt sich das Produktlebensmanagement (PLM), welches im Bild 3.2 dargestellt ist. Die unterschiedlichen Strategien helfen gezielt, bei sich stetig ändernden Marktanforderungen, Produkte möglichst ohne große Schwierigkeiten auf dem Markt einzuführen, vgl. [16].

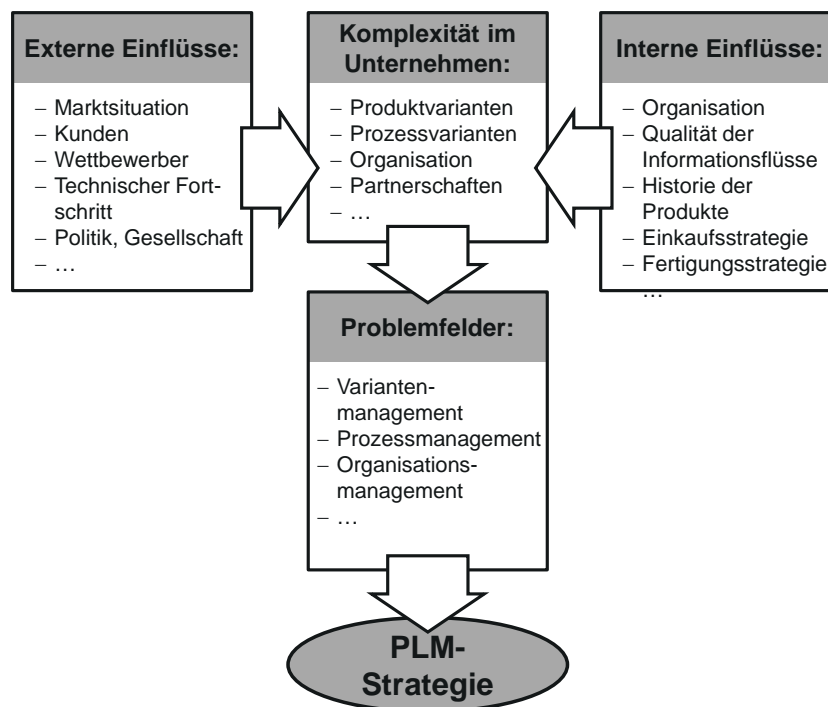


Bild 3.2: Darstellung des Produktlebensmanagements, vgl. [16]

Der PLM-Ansatz beinhaltet außerdem zwei weitere wesentliche Aspekte. Der erste Punkt bezieht sich primär auf die Steuerung und Regelung der internen Einflüsse (Organisation, Qualität der Informationsflüsse, etc.) bzw. der externen Einflüsse (Marktsituation, Wettbewerber, etc.) im Unternehmen während des gesamten Produktlebenszyklus. Für

3. Stand der Technik

diese wichtigen Aufgaben sind heutzutage vermehrt rechnerunterstützte Produktdatenmanagement-Systeme (PDMS) im Einsatz. Der zweite Aspekt beschäftigt sich vorwiegend mit der Komplexität (Produkt- und Prozessvarianten, etc.) innerhalb des Unternehmens bzw. der einzelnen Problemfelder (Varianten- und Prozessmanagement, etc.) selbst. Dabei werden die Produkte, unter Berücksichtigung von sich verändernden Marktbedürfnissen, aufgebaut, um somit eine hohe Flexibilität bei riskanten Detailänderungen zu ermöglichen, ohne hohe Änderungskosten zu generieren, vgl. [16], [17].

Im nächsten Kapitel folgt eine Untergliederung des Produktentstehungsprozesses, dessen Inhalt sich konkret mit der Entstehung eines Produktes beschäftigt.

3.2 Produktentstehungsprozess

Der Produktentstehungsprozess, kurz PEP genannt, wird heutzutage in allen, am Produktprozess beteiligten Bereichen und Abteilungen eines OEMs (Original Equipment Manufacturer), angewendet und dient zur Unterteilung der Produktentwicklung in einzelne Prozesse. Bei der Entstehung eines neuen Produktes arbeiten viele Unternehmensbereiche zusammen und wirken gemeinsam am kontinuierlichen Fortschritt des Produktes mit. Dies führt bei steigender Produktkomplexität zu einigen Schwierigkeiten. Als bewährte Alternative bietet sich an, die zu durchlaufenden Arbeitsschritte systematisch in weitere Teilprozesse zu untergliedern. Dadurch kann zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung der Fortschritt zur Produktentstehung, bezogen auf den SOP, abgerufen werden.

Als erklärendes Beispiel dient das Bild 3.3, das einen Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie darstellt.

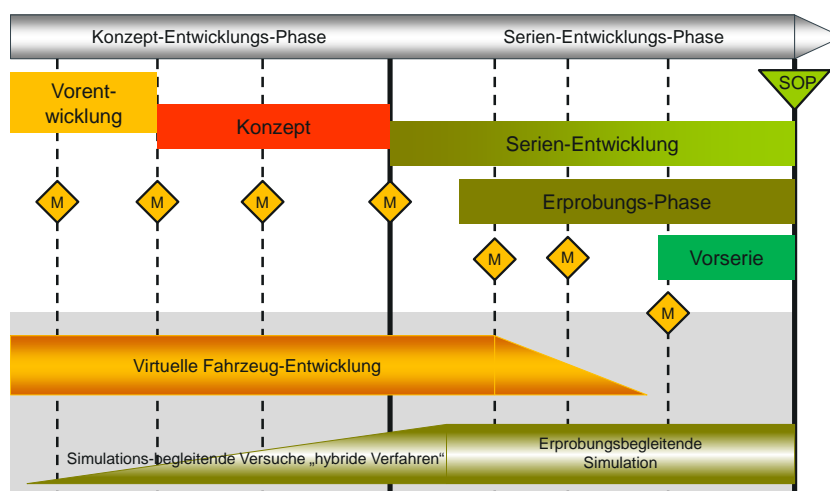


Bild 3.3: Der Produktentstehungsprozess mit gesetzten Meilensteinen, vgl. [2]

Als ein Teil dessen kann der Produktentwicklungsprozess angeführt werden, der im nächsten Kapitel näher erläutert wird. Damit sich eine derart komplexe Struktur auch realisieren lässt und der Produktfortschritt vorangetrieben wird, werden innerhalb des PEPs exakte Zeitpunkte zur Erreichung von Zielen definiert, sogenannte Meilensteine (ersichtlich im Bild 3.3 anhand der orangen Quadrate. Die jeweilige Platzierung der Meilensteine unterscheidet sich von OEM zu OEM).

Die exakte Organisation der Prozesse in einem möglichst frühen Stadium gewinnt im gesamten PEP immer mehr an Bedeutung. Wird diesbezüglich konsequent vorgegangen, so lassen sich in der Planungsphase, mit einem relativ geringen Einsatz der Gesamtressourcen, die wesentlichen Kriterien zur Prozessstabilität festlegen, vgl. [16].

3.3 Produktentwicklungsprozess

Im Zusammenhang mit der Produktentwicklung sollen unter den Entwicklungsaufgaben sämtliche Problemlösungsaktivitäten verstanden werden. Des Weiteren kann der Entwicklungsprozess als eine Vorgehensweise zur Lösungsfindung angesehen werden, vgl. [18].

Pahl und Beitz [16] sehen in der wesentlichen Tätigkeit der Produktentwicklung das Lösen von Aufgaben, den Vorgang der Analyse und der Synthese. Diese Vorgänge laufen in verschiedenen, strukturierten Arbeits- und Entscheidungsschritten ab. In der Regel wird dabei von der Mikrologik immer konkreter zur Makrologik vorgegangen. Zudem sieht Ziemann [19] den Einsatz von optimierten Entwicklungsprozessen, durch die stark wachsende Derivatisierung und Verkürzung der Entwicklungszeit in der Fahrzeugindustrie einhergehend mit dem erhöhten Entwicklungsaufwand bei den Automobilherstellern, als zwingend notwendig an. Zusätzlich sind bei komplexen Produkten insbesondere die Aktivitäten in der frühen Phase entscheidend für die effiziente und effektive Produktgestaltung. Ein wesentlicher Beitrag dafür ist die nachvollziehbare Herleitung eindeutiger, plausibler, erreichbarer und gleichzeitig anspruchsvoller Produktziele. Bei einer Entwicklung ist einer der wesentlichen Unterscheidungsmerkmale die Differenzierung zwischen einer Neu- und einer Weiterentwicklung, da dort jeweils in unterschiedlichen Phasen des PEPs begonnen wird.

Darüber hinaus ist auch die Anwendung von Vorgehensmodellen anzustreben. Diese geben, in Form einer Handlungsfolge, ein Vorgehensmuster vor und dienen damit als Hilfsmittel für die Planung und Kontrolle von Entwicklungsprozessen. Der Ablauf der Entwicklung wird so in einzelne, logisch abgegrenzte und handhabbare Arbeitsabschnitte aufgeteilt. Für den Entwickler dienen Vorgehensmodelle zudem als Navigationshilfen. Mit ihrer Hilfe wird ersichtlich, welcher Abschnitt des Entwicklungsprozesses aktuell bearbeitet wird und welche Schritte als nächstes notwendig sind. Zusätzlich sind die Modelle meist auf spezifische Problemstellungen abgestimmt.

Laut [20] wird zwischen dem „phasenorientierten“ und „gate-orientierten“ Entwicklungsprozess unterschieden, welche in den nächsten beiden Unterkapiteln jeweils kurz erklärt werden.

Der „phasenorientierte“ Entwicklungsprozess

Der Entwicklungsprozess wird in diesem Modell, durch die einzelnen Konkretisierungsschritte, in verschiedene Phasen unterteilt. Den Übergang zwischen den einzelnen Tätigkeitsschritten bilden sogenannte Entscheidungsphasen, innerhalb derer die abgearbeiteten Prozesse auf, die zu Beginn festgelegten Anforderungen, überprüft werden. Werden die Ziele erreicht, erfolgt der Übergang in die nächste Phase. Bei Nichterfüllung, wird der Prozess in der entsprechenden Phase erneut durchgeführt und überprüft. Durch die große Anzahl an variablen Faktoren ist ein mehrmaliges Durchlaufen einzelner bzw. mehrerer Phasen durchaus möglich. Dieser Vorgang wird als Iteration bezeichnet und kann bei mehrmaligen Wiederholungen zu hohen Kosten und Zeitkonflikten führen. Aus diesem Grund sollte das Vermeiden von Iterationen angestrebt werden. Das bekannteste Beispiel einer derart gegliederten Vorgehensweise ist die VDI-Richtlinie 2221, vgl. [21], [20].

Der dortige Ablaufplan umfasst vier übergeordnete Phasen und untergliedert sich in insgesamt sieben Arbeitsschritte. Die einzelnen Arbeitsschritte umfassen Prüf-, Bewertungs- und Auswahloperationen, die, gegebenenfalls in Iterationsschleifen, durchlaufen werden.

Als weiteres Modellbeispiel kann das V-Modell nach VDI-Richtlinie 2206 gesehen werden. Dieses beschreibt das generische Vorgehen beim Entwurf mechatronischer Systeme. Beginnend mit einer konkreten Entwicklungsaufgabe folgen die Phasen des Systementwurfs, des domänenspezifischen Entwurfs und der Systemintegration. Auf Basis dieses Lösungskonzeptes erfolgt die weitere Konkretisierung meist getrennt in den beteiligten Domänen (Maschinenbau, Elektrotechnik, Informationstechnik) [22]. Die Ergebnisse werden anschließend zu einem Gesamtsystem kombiniert, um das Zusammenwirken zu untersuchen und eine Eigenschaftsabsicherung zu erreichen. Auch in diesem Modell sind deshalb mehrere Durchläufe erforderlich, in denen die Produktreife jeweils zunimmt, vgl. [6], [20].

Eine entsprechende Ablaufdarstellung der VDI-Richtlinie 2221 ist im Anhang aufgezeigt.

Der „gate-orientierte“ Entwicklungsprozess

Diese Art von Entwicklungsprozess baut auf empirischen Untersuchungen, sowie praktischen Erfahrungen auf. Zusammen mit den Abwandlungen laufen sämtliche Prozesse in der Automobilindustrie nach diesem Vorgehensmodell ab [20]. Die nachfolgenden Arbeitsschritte werden einzeln und bereits früh durch ökonomische und

managementorientierte Kriterien überprüft. Dies ermöglicht die Erfüllung und Einhaltung von zulässigen Zeitvorgaben und produktbezogenen Eigenschaften während der einzelnen Phasen.

Im speziellen Fall der Automobilindustrie wird im Vorfeld des eigentlichen Entwicklungsprozesses meist schon eine Strategieentwicklung durchgeführt. Dieser kontinuierliche, fachbereichs- und produktlinienübergreifende Prozess wird mit der Generierung einer neuen Produktidee abgeschlossen. Anschließend werden, wie in dem vorherigen Modell, die Phasen der Planung, der Konzeptentwicklung, des Entwurfs und der Ausarbeitung einer ähnlichen Strukturierung durchlaufen. Zur Veranschaulichung dieser Methode dient der in Bild 3.3 abgebildete Entstehungsprozess, der bei nahezu allen OEMs, teilweise geringfügig abgeändert, Anwendung findet, vgl. [20].

In der ersten Phasen, der sogenannten Konzeptentwicklungsphase, werden zunächst marktspezifische Anforderungen an das Produkt definiert, die anschließend, in Abstimmung mit der Technik in das Fahrzeugkonzept einfließen. Die Konzeptphase kann wiederum in die Bereiche Vorentwicklung und Konzepte unterteilt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass sich die vorliegende Arbeit mit Konzeptwerkzeugen und deren Einsatz in der frühen Entwicklungsphase beschäftigt, soll im nächsten Schritt die allgemeine Konzeptphase näher beschrieben werden.

3.4 Konzeptphase

Die Hauptaufgabe der Konzeptentwicklung ist das Sicherstellen eines kundengerechten und wettbewerbsüberlegenen Fahrzeugkonzeptes, das im Produktionsprozess zu marktgerechten Kosten herstellbar ist. Die Konzeptdefinition beginnt bereits sehr früh, parallel zur Produktplanungsphase. Initiiert durch die Produktidee werden auf Basis von Analysen und Benchmarks erste Konzeptideen erarbeitet und als Input in die Produktplanung eingesteuert. Nachdem das Fahrzeug im Rahmen der Produktplanung beschrieben worden ist, wird das Projekt zur weiteren Konzeptdetaillierung freigegeben, vgl. [23].

Die Konzeptentwicklung muss daher ein gesamtheitlicher Prozess sein, an dem alle wertschöpfenden Arbeitsbereiche aktiv und simultan beteiligt sind. Das Bild 3.4 zeigt alle verantwortlichen Abteilungen, die bezüglich eines Fahrzeugkonzepts interaktiv miteinander kommunizieren und gemeinsam Konzepte erarbeiten. Es ist ersichtlich, dass neben den vielen Ingenieuren, die hauptsächlich das physische Fahrzeugkonzept entwickeln, auch Controller bzw. Vertreter des Vertriebs Inputs liefern und am Prozess beteiligt sind. Somit kann bereits sehr früh bewerkstelligt werden, dass in der Konzeptphase wichtige Inputs seitens der Vor- und Serienentwicklung in das Produkt einfließen können. Dadurch sinken die Risiken verspäteter Fehlkonstruktionen, die durch iteratives Durchlaufen der notwendigen Verbesserungsprozesse, hohe Kosten verursachen.

3. Stand der Technik

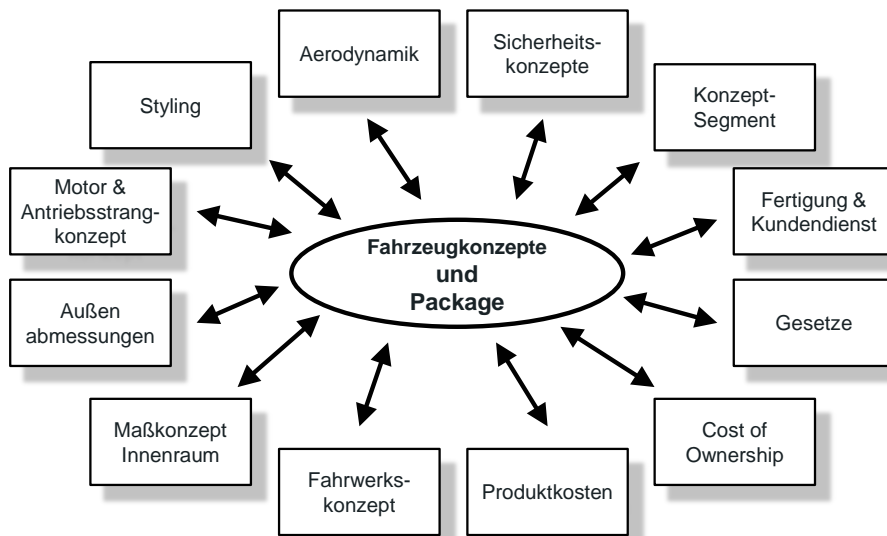


Bild 3.4: Beteiligte Abteilungen in der Konzeptphase, vgl. [2]

Durch die vermehrt eingesetzte Fahrzeugderivatisierung gewinnen Plattform- und Baukastenmodule in der Konzeptentwicklung zunehmend an Bedeutung. Der Grundstein für den Einsatz dieser Module wird in der Phase der Konzeptdefinition gelegt. In der nächsten Übersicht (Bild 3.5) sind, am Beispiel der Plattform PQ35, die im Volkswagen Konzern zahlreichen Fahrzeugen als Basis dient, die unterschiedlichen Fahrzeugarten, die auf einer Plattform aufbauen, abgebildet. Die Bandbreite variiert zwischen Cabriolet, Limousine und Kompakt-Van.

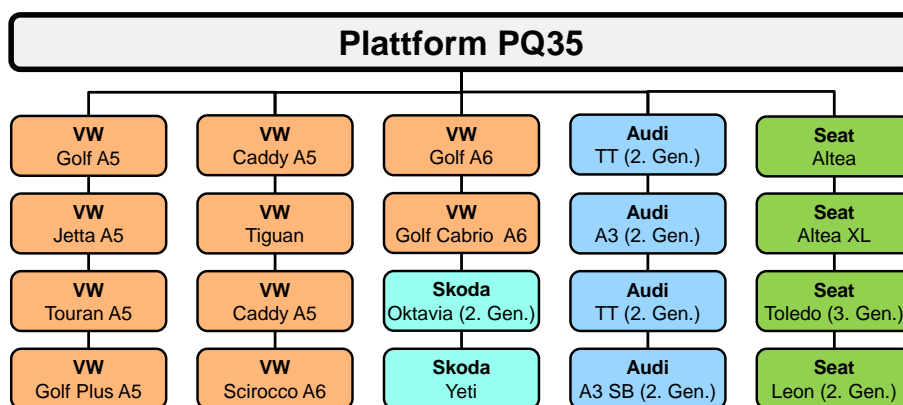


Bild 3.5: Modellvielfalt am Beispiel der Plattform PQ35 des Volkswagen Konzerns

Da durch die daraus resultierende Plattform-Strategie einzelne, kostenintensive Bauteile häufiger in den verschiedenen Fahrzeugklassen verbaut werden, ist in Summe eine

erhebliche Kostenersparnis möglich. Wichtige Eckdaten bei der Definition der Plattform sind beispielsweise Hauptabmessungen, Rädergrößen und Aggregatestränge.

3.5 Gestaltung von Fahrzeugkonzepten

Im Rahmen der Konzeptphase sind konkrete Aufgaben abzuarbeiten, die im vorherigen Kapitel bereits teilweise erklärt wurden. Zum besseren Verständnis werden zusätzlich dazu alle wichtigen Begriffe, die im weiteren Verlauf der Diplomarbeit verwendet werden, näher erläutert. Für umfangreichere Informationen wird auf die entsprechenden Quellen verwiesen.

Fahrzeugkonzeptentwurf

Das Fahrzeugkonzept ist ein konstruktiver Entwurf einer Produktidee, mit dem die grundsätzliche Realisierbarkeit einer Idee abgesichert wird. Die optimale Vorgehensweise ist dabei, sich über das Fahrzeuginnere bis zum Fahrzeugäußeren vorzuarbeiten. Der Entwurf umfasst Hauptmodule, Komponenten, Fahrzeugstyling und beeinflussende Parameter. Die wesentlichen Gestaltungsfelder sind in Bild 3.6 dargestellt.

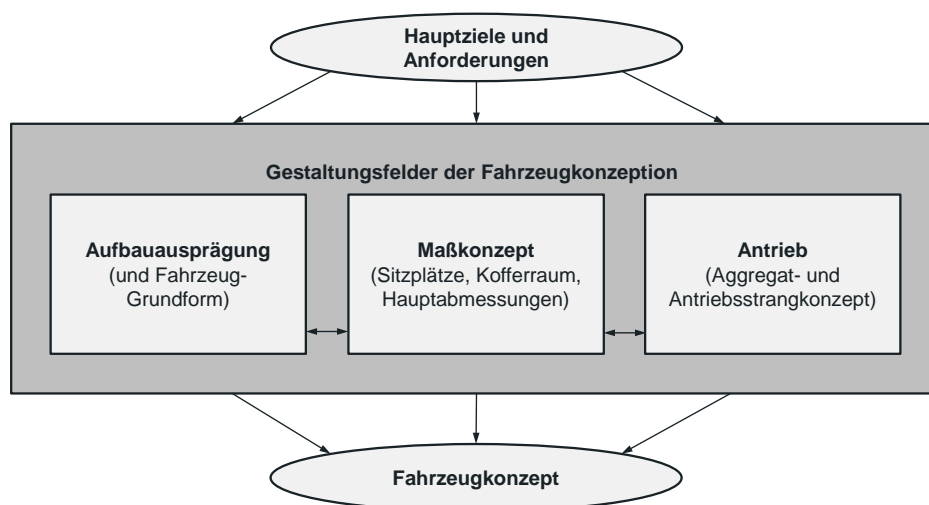


Bild 3.6: Gestaltungsfelder der Fahrzeugkonzeption, vgl. [2]

Der Fahrzeugkonzeptentwurf ist erst dann komplett abgeschlossen, wenn, unter Einhaltung aller Vorgaben, die definierten Ziele zu den nachfolgenden Punkten erfüllt wurden. Dazu zählen laut [24]:

- *Packageplan*
- *Sitzpläne*
- *Aggregateanordnung*
- *Kofferraum*
- *Wichtige Schnitte (2D)*

3. Stand der Technik

- *Erfüllung Gesetzesanforderungen (Sichtwinkel, Crashsicherheit, etc.)*
- *Daten (Wettbewerbsvergleich)*

Auf einige der erwähnten Punkte wird im weiteren Verlauf näher eingegangen.

Fahrzeugkonzepte in der frühen Entwicklungsphase

Die frühe Entwicklungsphase zeichnet sich durch das simultane Erarbeiten aussagekräftiger Lösungsansätze für infrage kommende Konzeptentwürfe aus. Die Zielsetzung, das Ausarbeiten von „Business-Cases“ für das jeweilige Fahrzeugkonzept, ist eine der Hauptaufgaben während dieser Phase. Dies ist unabhängig davon, ob die Entwicklung mit Hilfe von virtueller Unterstützung erfolgt oder nicht. Die funktionalen, betrieblichen und betriebswirtschaftlichen Vorgaben sind hierbei ebenso wichtig wie die umsetzbaren Lösungsmöglichkeiten der Konzeptentwürfe. Das Endergebnis aus den sich ergebenden Iterations- und Integrationsprozessen, das (Grob-) Lastenheft, zu dem die folgenden Vorgaben zählen [2]:

- *Fahrzeugcharakter*
- *Hauptmaße*
- *Proportionen*
- *Crashtauglichkeit*
- *Fahrleistungen*
- *Gewicht*
- *Ausstattungsinhalte*
- *Innovationen*
- *Herstellkosten*
- *etc.*

Durch die immer detailliertere Produktbeschreibung entsteht so ein Produkt mit kontinuierlich fortschreitendem Reifegrad. Zusätzlich steigt der Anspruch an das Konzept, da aus späteren Konzeptänderungen ein großer finanzieller Zusatzaufwand resultieren kann. Aus dieser Erkenntnis heraus sind die genannten Punkte in der Konzeptfindung bzw. in der –evaluierung heute stark in den Vordergrund gerückt. Wesentliche Voraussetzungen für ein änderungsresistentes und damit stabiles Lastenheft sind, laut Braess/Seiffert [2], die gewissenhafte Ausarbeitung von Konzeptalternativen hinsichtlich der geforderten Produktziele, wie beispielsweise

- *Innenraumgröße,*
- *Variabilität,*
- *Komfort,*
- *Fahrleistungen,*
- *Sicherheit,*
- *etc.*

3.5.1 Package

Die Hauptaufgabe eines Packages ist das Finden von geeigneten Bauräumen für alle Komponenten, die in einer Fahrzeugausstattung eingesetzt und verbaut sind. Zur Bildung von Raumkonzeptionen werden zunächst die Abmessungen der angrenzenden Bauteile angeführt und in entsprechende Package-Pläne zusammengefasst (2D-Pläne) [2], [25]. Diese beinhalten in Längs- und Querschnitten angeordnete Grenzkonturen von benachbarten Bauteilen zur Darstellung der Bauraumsituation des gesamten Fahrzeugs. Zur besseren Vorstellung soll dazu Bild 3.7 dienen.

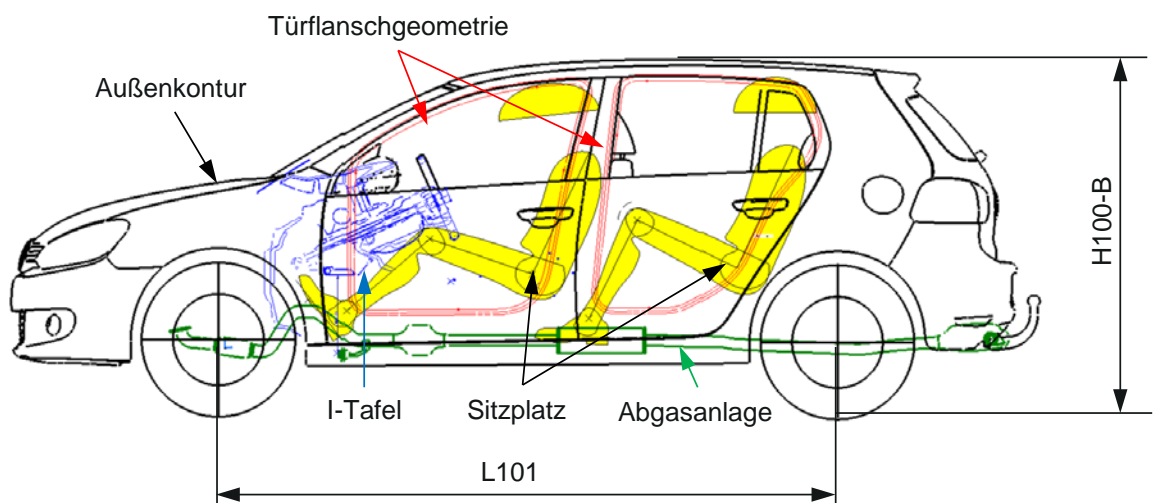


Bild 3.7: Auszüge aus einem Packageplan eines Kompaktfahrzeuges, vgl. [4]

Auf den ersten Blick wirkt die Darstellung durch die Überlagerungen mehrere Detailbereiche sehr unübersichtlich. Die Konturen der angrenzenden Bauteile, sowie die Sitzpositionen des Fahrers und der Insassen, sind deutlich durch die unterschiedlichen Linienfarben bzw. Einfärbung zu erkennen. Zusätzlich sind einige wichtige Maße, wie der Radstand oder die Fahrzeughöhe, angegeben. Markante Kollisionsbereiche können durch eine feinere Darstellung separat analysiert werden. Die Außenkontur des Fahrzeugs gibt zusätzlich Aufschluss über die Fahrzeuggestalt. Zusammenfassend kann das Package als das Bindeglied zwischen den Bauraumanforderungen, der Ergonomie und den Gesamteigenschaften von Fahrzeugen definiert werden. Es begleitet das Fahrzeug von der ersten Idee bis hin zum SOP, vgl. [25].

Bei der Dimensionierung und Anordnung von Systemkomponenten in einem Konzept muss bereits darauf geachtet werden, dass weder ergonomische, noch sicherheitsrelevante Aspekte unberücksichtigt bleiben. Durch die zahlreichen Änderungen, bis hin zum finalen Styling, ergeben sich Iterationsschleifen, welche die räumlichen Einbauzustände der

3. Stand der Technik

Komponenten zueinander beeinflussen können. Nach Wallentowitz [26] ergeben sich folgende drei Betrachtungen, die dabei stets berücksichtigt werden müssen:

- *Fahrgastzelle:*
Dimensionen für Sitzposition der Insassen, Verstell-Wege von Sitzen und Lehnen, Mindestwerte für Kopffreiheit zur Fahrzeugstruktur.
- *Trägerstruktur:*
Verlauf und Größe aller Hauptträger, Gurtverankerungspunkte, Stoßfänger (Höhe und Erstreckung)
- *Funktionseinheiten:*
Umrisskonturen der Aggregate, Motor- und Gepäckraum, Räder und Achsen in Zusammenhang mit der Bodenfreiheit für verschiedene Beladungszustände, Freiräume zur Außenkontur, Tank und Reserverad, Kofferraum und die gesamten Beleuchtungseinrichtungen

Das Package wird parallel zur Fahrzeuggesamtentwicklung ausgearbeitet. Daher ist eine enge kooperative Zusammenarbeit mit den Fahrzeugtechnikern und den Designern wichtig. Um eine stetige Kommunikation zwischen den beteiligten Personen zu ermöglichen, werden die Package-Pläne fortlaufend aktualisiert. Enthalten sind dort unter anderem auch wichtige Informationen zur Gestaltung und Auslegung des Innenraumes, die den Designer allerdings maximal in ergonomischen und sicherheitsrelevanten Punkten einschränken. Als weitere Hilfestellung finden sich in den Package-Plänen außerdem wichtige Maße zur Sitzposition und zusätzliche komfortrelevante Informationen.

3.5.2 Mannequins und Perzentile

Bei der Fahrerplatzgestaltung bzw. Auslegung des Innenraums wird in der Fahrzeugentwicklung auf menschliche Modelle, sogenannte Perzentile, zurückgegriffen. Aufgrund der Tatsache, dass der Mensch durch seine Population unterschiedliche Proportionen und Körpermaße aufweist muss bei der Gestaltung der Fahrgastzelle speziell auf die unterschiedlichen Größenverhältnisse der Menschen eingegangen werden (Bild 3.8). Dabei werden neben der Differenzierung zwischen Mann und Frau auch die ungleichen Längenbetrachtungen von Extremitäten und Körperbau betrachtet. Der Betrachtungsbereich reicht dabei von einer 5% Frau (bedeutet, dass 5% aller betrachteten Frauen kleiner als die Modellabmessungen sind) bis hin zum 95% Mann (bedeutet, dass 95% aller Männer kleiner als die Modellabmessungen sind). Zusammengefasst lassen sich durch die Modellbildung 90% der infrage kommenden Fahrerpopulation erfassen. Eine Untergliederung in Sitzzwerg und -riese vergrößert das Modellspektrum.

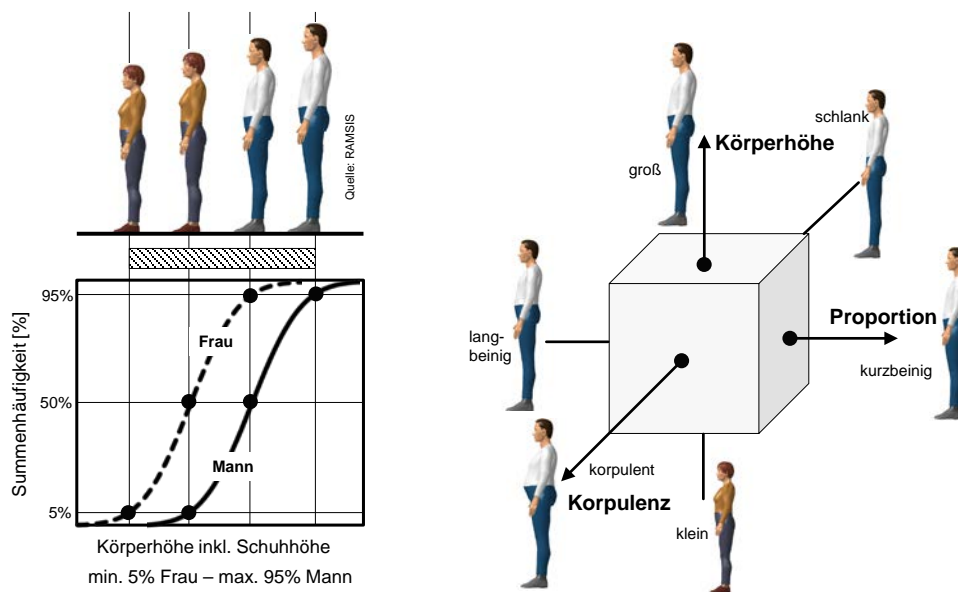


Bild 3.8: Klassifizierung zwischen unterschiedlichen Mannequins und Perzentilen, vgl. [26]

Laut [26] fließt das stetige Größenwachstum der Menschheit in die Modellbildung der Perzentile für zukünftige Fahrzeugkonzepte ein. Im Zeitraum von 1995 bis 2000 ist beispielsweise die 5% Frau um 6mm und der 95% Mann um 10 mm gewachsen.

Der H-Punkt und seine Abwandlungen

Der Hüftpunkt (H-Punkt) beschreibt den Drehpunkt von Rumpf und Bein der zweidimensionalen SAE-Zeichenschablone (SAE J826b) bzw. der dreidimensionalen H-Punkt Maschine [27], mit dessen Hilfe, die tatsächlichen Sitzpositionen des Fahrers und der Insassen am realen Fahrzeug ermittelt werden, vgl. [28].

Der H-Punkt selbst lässt sich durch spezielle Konstruktionslagen noch weiter untergliedern. Als bedeutendere Sitzposition ist der R-Punkt, im englischen auch SgRP (Seating Reference Point) genannt, anzusehen der einer besonderen Konstruktionslage des H-Punktes entspricht. Dieser ist der Bezugspunkt, der

- die zweidimensionale SAE-Zeichenschablone mit einer 95 %-Mann-Beinlänge ausrichtet und
- die hinterste normale Konstruktions-Fahrerposition unter Berücksichtigung aller Verstellmöglichkeiten in waagrechter, senkrechter und geneigter Position für jeden vorgesehenen Sitzplatz des Fahrzeuges festlegt.

Der Fahrerplatz ist in der heutigen Fahrzeugentwicklung als die wesentliche Komponente im Zusammenhang mit dem System „Mensch-Fahrzeug“ und als die Schnittstelle von „Mensch – Maschine“ anzusehen und dient daher als räumlicher Bezugspunkt (R-Punkt) in fast allen Maßketten.

Dieser Referenzpunkt wird von den Fahrzeugherstellern, unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen, als Basis für die Typisierung und die Überprüfung von konstruktiven Vorschriften (z.B. Sicht- und Gurtfelder) definiert. Es können zusätzlich sowohl Innen-, als auch Außenmaße auf den R-Punkt referenziert werden, um eine durchgehende Vereinheitlichung der geometrischen Beschreibung zu erhalten. Die in der vorliegenden Arbeit definierten Maßketten werden zum Großteil an diesen Bezugspunkt verknüpft.

Hackenaufstandspunkt (F-Punkt) und Fußballenberührungspunkt BoF (Ball of Foot)

Der Fahrerpedal-Fersenpunkt, in der Literatur auch als Hackenaufstandspunkt bezeichnet, ist der Schnittpunkt des Hackens der zweidimensionalen Zeichenschablone und dem eingedrückten Bodenbelag. Der Schuh muss am Fahrerpedal, welches nicht getreten werden darf, angelehnt und der Fuß unter einem Winkel von 87° abgestellt sein. Für Fahrzeuge, dessen Abstand vom R- zum F-Punkt größer ist als 457mm, kann das Fahrpedal durch den Fuß als getreten betrachtet werden, da sich ein Fußwinkel von 87° nicht verwirklichen lässt. Der Fuß muss dazu flach auf dem Fahrpedal aufliegen, vgl. [28]. Zur besseren Verständnis ist im Bild 3.9 die Definition des F-Punktes noch einmal skizziert.

Der Kontaktpunkt zwischen Pedalerie und Perzentil wird in der Fahrzeuggestaltung als der Fußballenberührungspunkt, auch BoF (Ball of Foot) genannt, definiert. Dieser Punkt stellt ein wichtiges Maß für die Sitzplatzgestaltung dar und ist somit in der Definition von GCIE mitangeführt. Im Bild 3.9 ist dies schematisch dargestellt. Der Fußballenberührungspunkt stellt den vordersten Bezug des Perzentils in der X-Maßkette dar.

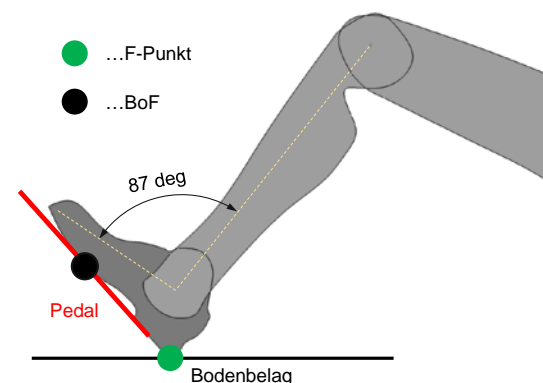


Bild 3.9: Definition des Hackenaufstandpunktes und des BoF

3. Stand der Technik

Bei allen Fahrzeugkonzepten, unabhängig davon welchem Fahrzeugsegment sie angehören, treten ähnliche oder identische Typen (oder Arten) von Bemaßungen auf. Dazu gehören, neben den Hauptabmessungen, auch Maße wie die Sitzhöhe oder die Beinfreiheit. Die Global Car Manufacturers Information Exchange Group (GCIE) ist eine weltweite Organisation, die sich mit der Auflistung fahrzeugsegmentübergreifender Maße beschäftigt. Die OEMs können ihr beitreten und erhalten dadurch einen Zugang zu Package-Plänen der Wettbewerber. Als die europäische Abwandlung der GCIE ist die ECIE anzusehen. In der heutigen Konzeptentwicklung wird ausnahmslos mit den GCIE-Maßen gearbeitet. Dies ermöglicht den problemlosen Vergleich von Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller hinsichtlich der Hauptabmessungen bzw. hinsichtlich Komfort und sicherheits-relevanter Dimensionierungen. Die beiden Fahrzeuge im Bild 3.10 gehören zwar unterschiedlichen Fahrzeugsegmenten an, dennoch wird durch die GCIE-Maße ein Vergleich ermöglicht, vgl. [2].

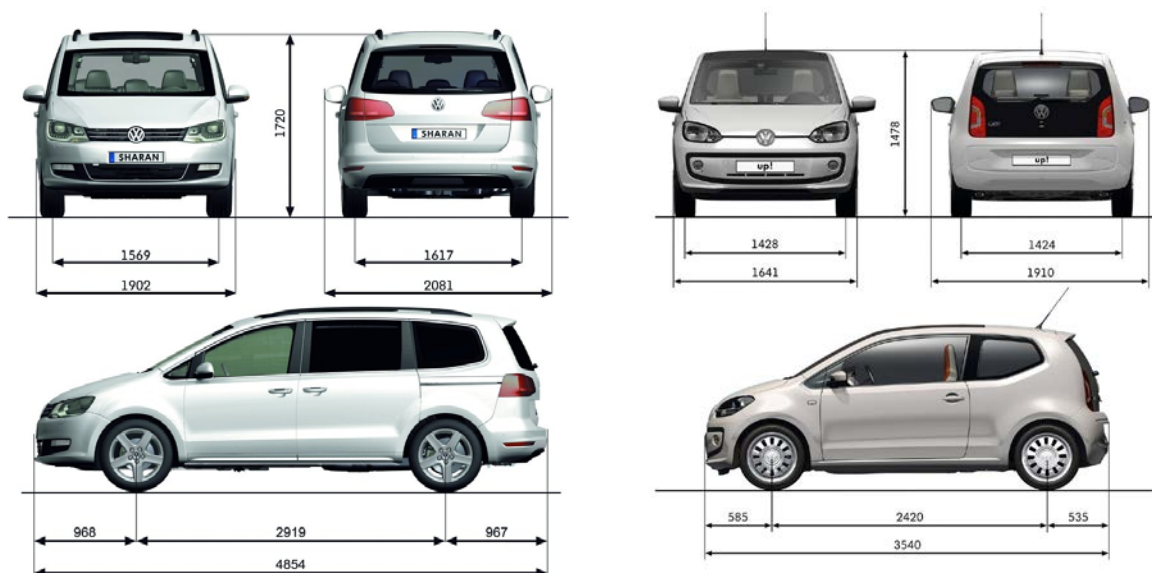


Bild 3.10: Konzeptvergleich unterschiedlicher Fahrzeugklassen durch den Einsatz von GCIE-Maßen, vgl. [29]

In der GCIE-Auflistung erfolgt zum Einen eine Separation zwischen Außen- und Innenmaßen, zum Anderen eine weitere Unterteilung in die drei Koordinatenrichtungen X, Y und Z. Demnach erhalten die Längen-, Breiten- und Höhenabmessungen jeweils die Bezeichnungen L, W bzw. H.

Fahrerplatzgestaltung

Bei der Neuentwicklung eines Fahrzeugkonzepts wird in der Regel von der Fahrerplatzposition aus gestartet [30], welche sich durch Modifikation von drei Maßen beeinflussen lässt. Der horizontale bzw. vertikale Abstand zwischen dem F- und R-Punkt

3. Stand der Technik

sind durch die GCIE-Maße L53 und H30 definiert. Durch die Veränderung der beiden Maße, im Zusammenhang mit der Sitzhaltung, lassen sich konventionelle Sitzpositionen abbilden (Bild 3.11). Durch Verminderung des Maßes H30 kann beispielsweise eine Verlängerung der Sitzlänge L53 resultieren und umgekehrt. Das Maß H5, entscheidet dabei über die Höhe des R-Punktes in Relation zum Boden. Bei einem geringen Maßwert von H5 lässt sich ein niedriges Fahrzeug realisieren, vgl. [2].

Im nachfolgenden Bild 3.11 sind die Vergleiche zwischen fünf aktuellen Sitzpositionen mit den entsprechenden Wertebereichen für die Maße H5 und H30 angeführt.

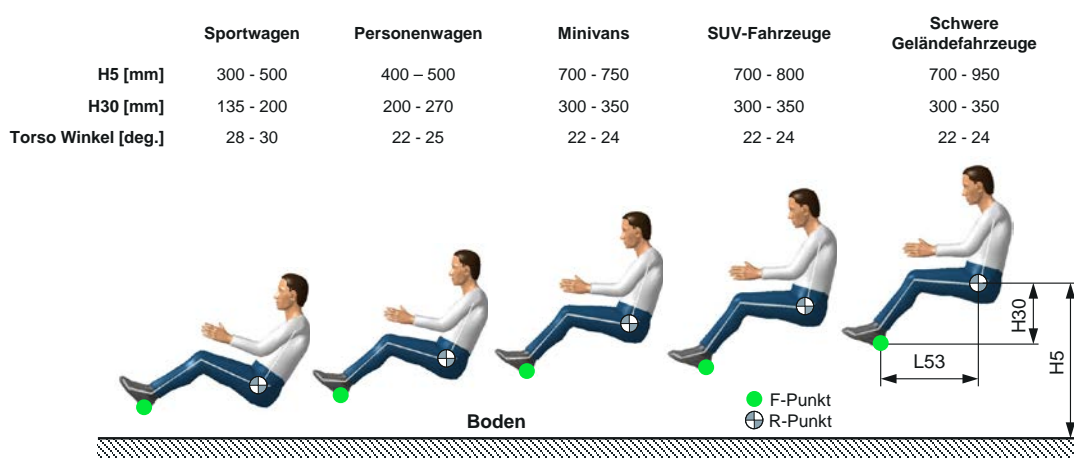


Bild 3.11: Verschiedene Sitzhaltungen aufgrund unterschiedlicher H5 Maße, vgl. [31]

Die Veränderung von H5 zeigt, dass die vertikalen Sitzpositionen variieren können, ohne dass dazu eine Veränderung der Maße H30 und L53 notwendig ist. Bei einer Vergrößerung von H5 ändert sich beispielsweise auch das Maß H30, woraus, aus Komfortgründen, eine aufrechtere Sitzposition abgeleitet werden kann, vgl. [31].

3.5.3 Maßkonzeptionen

Die Beschreibung eines Fahrzeugkonzepts benötigt sowohl Außen-, als auch Innenabmessungen für eine Einteilung in die entsprechende Fahrzeugklasse. Gemäß dem Zusammenwirken vom System Mensch und Fahrzeug wird dabei in der Regel von innen nach außen vorgegangen. Durch Aufreihung der Maße lassen sich, aus den dadurch entstehenden Maßketten, Bauräume ableiten, die für das Wohlbefinden der Insassen zwingend erforderlich sind. Darüber hinaus stellen sich beim Erarbeiten von Maßkonzeptionen, die zur Beschreibung der Positionen von Komponenten und deren Abständen zueinander dienen, verschiedene Maßketten als besonders wichtig heraus. Alle relevanten Maße werden entsprechend ihrer Koordinatenorientierung gemeinsam in einer Kette angeführt. Sowohl Innen-, als auch Außenmaße werden dabei nacheinander angeordnet und bilden so übergeordnete Maße. Dadurch können mögliche gemeinsame

3. Stand der Technik

Abhängigkeiten verschiedener Maße, wie beispielsweise für die Fahrzeuggesamtlänge, erkannt bzw. abgeleitet werden. Als wesentliche Beispiele für Maßketten sind jene drei in der Fahrzeuginnenraumrichtung (X-Maßkette), der Fahrzeugbreite (Y-Maßkette) und der Fahrzeughöhe (Z-Maßkette) zu nennen.

X-definierende Maßkette

Die Fahrzeuglänge L_{103} ergibt sich im Wesentlichen durch die Addition mehrerer (kleiner) Maße. Dabei ist wichtig, in welchem Detaillierungsgrad eine Maßkette angegeben wird. Für Packageuntersuchungen im Frontbereich, in dem sich die Aggregate befinden, ist die Unterteilung beispielsweise feiner zu wählen, da durch die hohe Anzahl an verbauten Komponenten die Platzverhältnisse in diesem Bereich sehr knapp bemessen sind. Im Gegenzug werden für weniger genaue Untersuchungen gröbere Maßketten verwendet (Fahrzeugheck), was die Darstellung vereinfacht bzw. eine bessere Übersicht ermöglicht. Im Bild 3.12 ist die Maßkette in eine beispielhafte X-Richtung abgebildet.

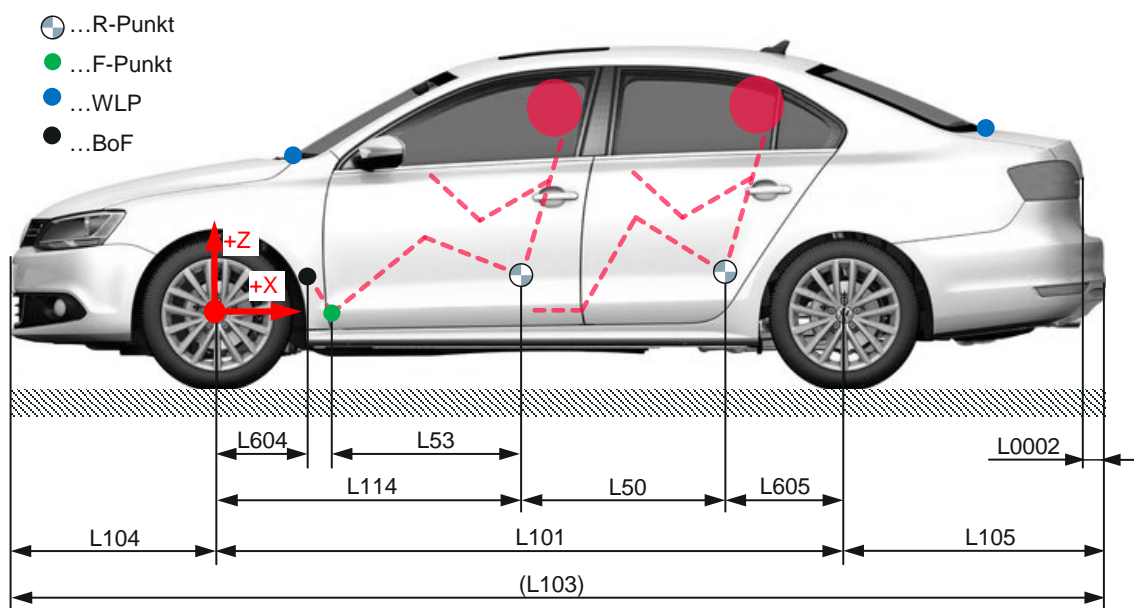


Bild 3.12: Hauptmaßkette in X-Richtung

Das Hauptaugenmerk dieser Maßkette liegt auf der Kombination der wichtigen Längsabmessungen mit der entsprechenden Positionierung des Fahrers und der Insassen, vgl. [2]. Anhand der Darstellung lassen sich unter anderen übergeordnete Maße bilden. Durch entsprechende Addition bzw. Subtraktion bestimmter Maße kann beispielsweise die Fahrzeuggesamtlänge L_{103} ermittelt werden.

$$L_{103} = L_{104} + L_{101} + L_{105}$$

Formel 3-1

3. Stand der Technik

Die Fahrzeuggesamtlänge beinhaltet, neben den Überhängen vorne (L104) und hinten (L105), auch den Radstand L101. Im nächsten Schritt erfolgt eine Detaillierung der Maße.

$$L101 = L114 + L50 + L605$$

Formel 3-2

Y-definierende Maßkette

Bei der Y-definierenden Maßkette wird zwischen vier verschiedenen Betrachtungsebenen unterschieden. Es handelt sich dabei um die Ebenen Mitte Vorderachse (Punkt 1), Fersenpunkt vorne (Punkt 2), R-punkt vorne (Punkt 3) und R-Punkt hinten (Punkt 4). Jede Ebene ermöglicht in sich eine spezifische Darstellung von Maßketten bezogen auf Bauraumuntersuchungen in der jeweiligen Darstellungsebene. Dazu ist im Bild 3.13 auf der linken Abbildung die Y-Maßkette durch die R-Punkt-Fahrer-Ebene skizziert. Der Vollständigkeit halber wird dazu außerdem im rechten Bild die Schnitthanordnung mit der Nummerierung aufgezeigt, vgl. [2].

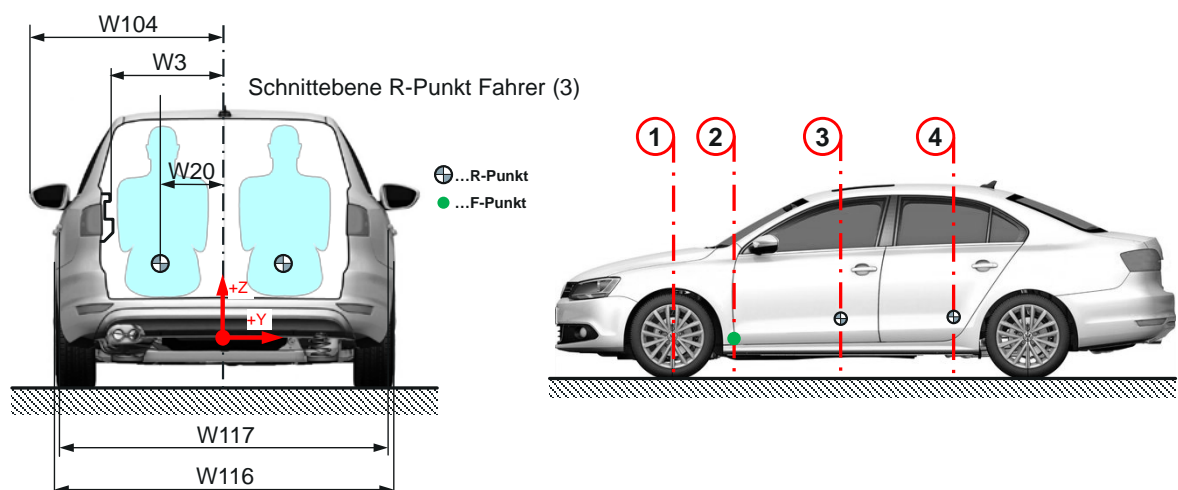


Bild 3.13: Hauptmaßkette in Y-Richtung

Z-definierende Maßkette

Die Gesamtfahrzeughöhe ist als H100-B in der GCIE-Liste vermerkt. Dieses Maß lässt sich ebenfalls durch Addition mehrerer Maße in einer Maßkette beschreiben. Wie das nächste Bild zeigt, dient als Basis dafür die Betrachtung der Sitzpositionen von Fahrer bzw. Fondpassagieren, vgl. [2].

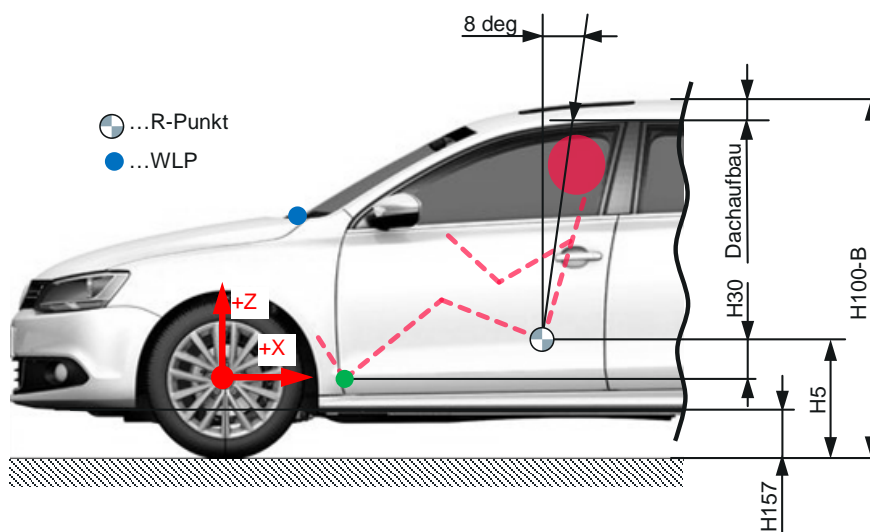


Bild 3.14: Hauptmaßkette in Z-Richtung

$$H100-B = H5 + H61 + \text{Dachdicke}$$

Formel 3-3

Das Maß H61 definiert sich aus dem um 8 deg. zur Vertikalen geneigten Oberkörpermaß der Perzentile, H5 ergibt sich aus der durchgeführten Sitzplatzpositionierung. Die Dachdicke wird aus der entsprechenden Craschanforderung der jeweiligen Fahrzeugklasse ermittelt. Die Maßkette zur Berechnung des Maßes H5 ist im Folgenden beschrieben:

$$H5 = H157 + H30 + \text{Bodendicke}$$

Formel 3-4

Die Bodendicke resultiert aus dem entsprechenden Trägerkonzept und beträgt ca. 80mm [2]. Dadurch ergeben sich auch Konzepte mit einem sogenannten „ebenen Boden“, wodurch beim Einstieg keine Schwellerhöhe ersichtlich ist.

Als historisches Beispiel ist das Bild 3.15 eines Ford Model T angeführt. Die Abbildung zeigt alle notwendigen Ansichten zur Beschreibung der Hauptabmessungen. Wie anfangs bereits erwähnt, war zur Zeit der Entstehung dieses Fahrzeuges die Bedeutung der Fahrersitzposition noch nicht dominierend.

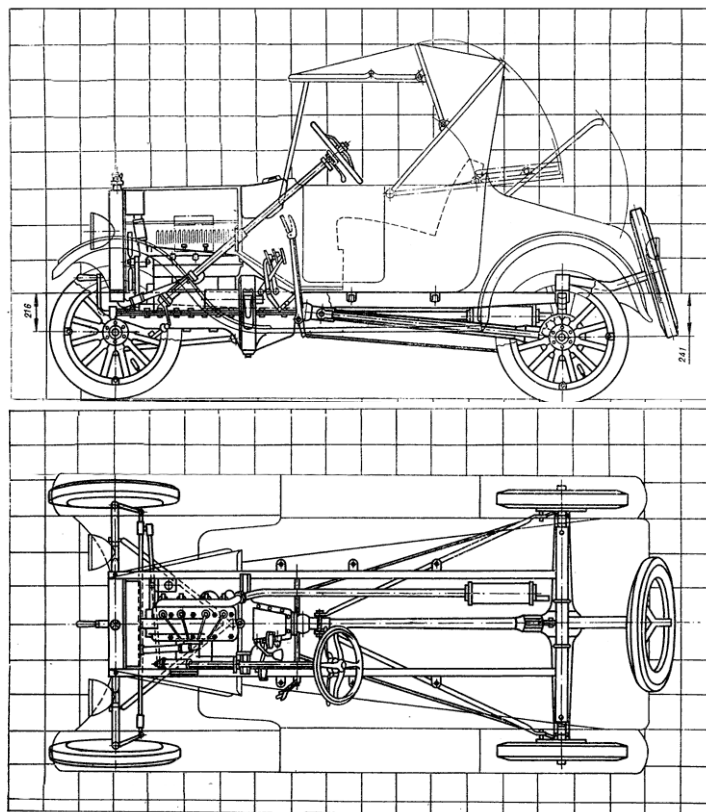


Bild 3.15: Ford Model T-Packageplan, Quelle: www.smcars.net

Die zur Erarbeitung eines Konzeptes notwendigen Ausdrücke und Erläuterungen sind im Verlauf dieses Kapitels sukzessive beschrieben worden. Das nächste Kapitel beschäftigt sich mit dem Einsatz virtueller Werkzeuge im heutigen Fahrzeugkonzeptentwurf. Die beschriebenen Grundlagen und die angestrebte Methodik sollen dazu dienen, eine Verkürzung der Konzeptphase zu erreichen.

3.6 Moderne Werkzeuge für den Fahrzeugkonzeptentwurf

In diesem Kapitel soll zunächst die Bedeutung von rechnergestützter Software während des PEP aufgezeigt werden. Anschließend erfolgt die Vorstellung zweier, voneinander separat entwickelter Fahrzeug-Konzeptauslegungswerkzeuge.

Nach [32] wurde die Produktentwicklung im Automobilbau bis in die 1990er-Jahre sehr stark durch den Bau von physischen Prototypen geprägt. Eine schrittweise Einführung der Digitalisierung begann in den 1970er-Jahren mit der geometriebasierten CAD-Konstruktion, die seit den 1980er-Jahren zusätzlich um den Bereich der computergestützten Berechnung (CAE) erweitert wurde. Von den 1990er-Jahren bis heute wurden große Anstrengungen unternommen, um den digitalen Entwicklungsprozess und die digitalen Entwicklungswerkzeuge zu verbessern. Ein Ziel hierbei war, dadurch insgesamt weniger physische Prototypen zu benötigen. Durch den rasanten Fortschritt der Informations- und Kommunikationstechnologie wurde die computergestützte

3. Stand der Technik

Produktentwicklung als wesentlicher Bestandteil in den allgemeinen Produktentwicklungsprozess eingebunden. Das Wachstum der rechnergestützten Entwicklungsmöglichkeiten in den letzten 50 Jahren ist im Bild 3.16 dargestellt.

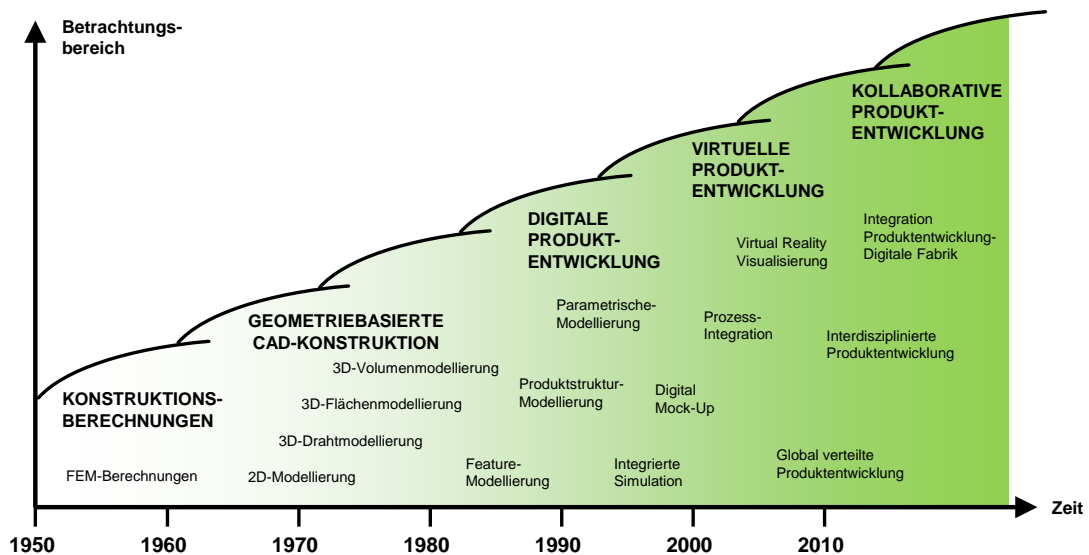


Bild 3.16: Evolutionen in der rechnergestützten Produktentwicklung, vgl. [32]

Der etwas zögerliche Einsatz von neuen Technologien durch Industrieunternehmen hat sich durch die rasante Preissenkung der Hard- und Software schnell gelegt [32]. Viel mehr hat, durch den enormen Wettbewerbsdruck und dem Ziel, Entwicklungskosten zu reduzieren, eine immer stärkere Durchdringung der Prozesse stattgefunden. Eine Virtualisierung der Produktentwicklung trägt demnach laut [17] entscheidend zur Kostenreduktion, zur Verkürzung der Produktentstehungszeiten, sowie zur Steigerung der Produktqualität bei. Die Automobilindustrie hat schon sehr früh diese Vorzüge erkannt und setzt verstärkt die Methoden und Technologien der Virtuellen Produktentstehung (VPE) ein. Laut [32] waren im Jahr 2008 bei allen Automobilherstellern und bei 90 % aller Maschinenbauunternehmen 3D-CAD-Systeme im produktiven Einsatz.

Wie das Bild 3.17 vermittelt, besteht das Ziel im Zeitraum der Produktentstehung darin, durch den Einsatz virtueller Software einen höheren Reifegrad zu erzielen. Durch den erreichten Zeitvorteil beim Einsatz virtueller Techniken ist beispielsweise in der Darstellung eine Vorverlegung des SOP möglich (rote Linie im Vergleich zu schwarz strichpunktierter Linie).

3. Stand der Technik

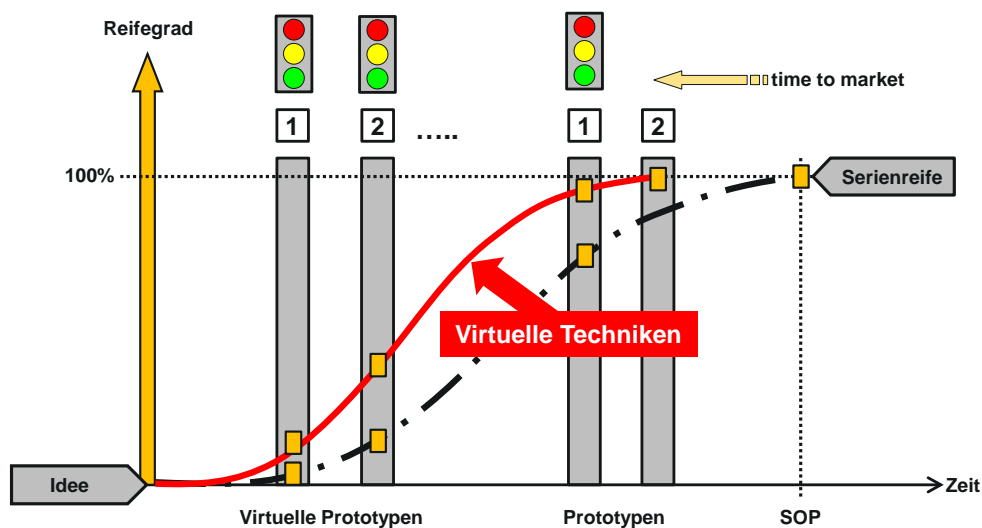


Bild 3.17: Zeitersparnis durch Anwendung von Software in der Entwicklungsphase, vgl. [33]

Dennoch sind auch heute noch Prototypen notwendig, um einerseits gesetzliche Zulassungen zu erlangen und andererseits das Zusammenspiel des komplexen Systems Kraftfahrzeug zu erproben (Hardware in the Loop). Außerdem ist das physische Gefühl des Menschen virtuell sehr schwer abbildbar. Ausgehend davon sind auf diesem Gebiet in den letzten Jahren zahlreiche vertiefende Forschungsthemen entstanden, aus denen sich ergonomische Betrachtungen in der Konzeptfindungsphase ableiten lassen, vgl. [34].

Neben dem vermehrten Einsatz computergestützter Hilfsmittel während des PEPs, hat sich die Digitalisierung sowohl vom Anfang der Produktplanung bis hin zur Produktionsplanung weitestgehend durchgesetzt. Das Bild 3.18 zeigt den Einsatzbereich der Softwareprodukte im PEP. Zudem ist mit dem hellroten Bereich die Phase der Konzeptentwicklung gekennzeichnet. Sowohl die horizontale als auch die vertikale Zusammenarbeit wird, teils durch optimierte Abläufe, so effizient wie möglich gestaltet. Als eine wesentliche Herausforderung ist jedoch der Datenaustausch bei Produktpaletten, beispielsweise zwischen CAD- und CAE-Systemen anzusehen. Dies kann durch die unzähligen Dateiformate der Programme begründet werden. Durch die notwendigen Konvertierungen in neuere und weiterführende Programme gehen wichtige Informationen, wie Konstruktionshistorie bzw. Parametrik, verloren, vgl. [17], [35].

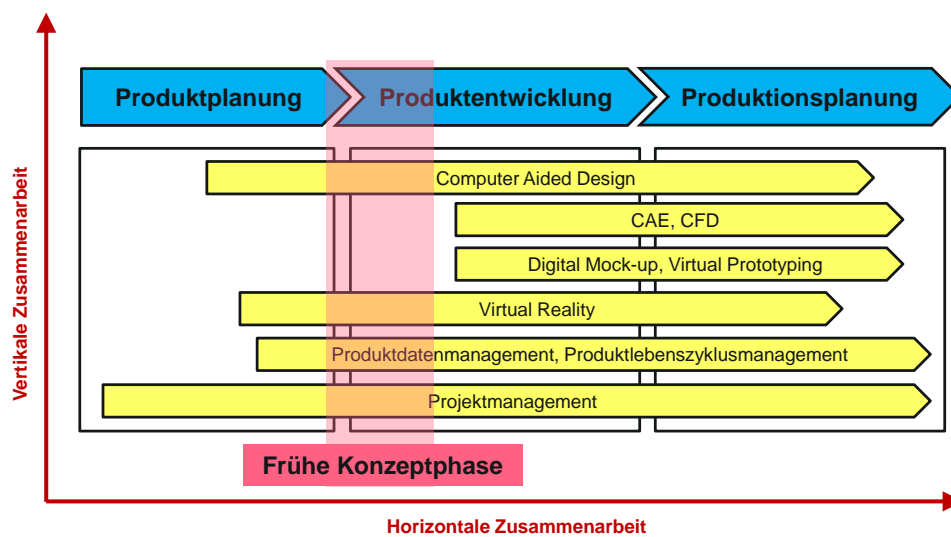


Bild 3.18: IT-Unterstützung entlang des PEPs, vgl. [17]

Ein weiterer bedeutender Punkt für den Einsatz von Software während der Entwicklung ist eine unterstützende Fehler- bzw. Problemerkennung zur Vermeidung von kostenintensiven Verbesserungsschleifen. Eines der langfristigen Ziele muss daher die stärkere Adressierung bzw. Integration dieser in die frühen Konstruktionsphasen bei der Entwicklung neuer Konstruktionsmethoden sein [17].

Nachfolgend sind zwei Konzeptwerkzeuge aufgeführt, die im Rahmen der Diplomarbeit auf ihre Kompatibilität, hinsichtlich einer gemeinsam genutzten Schnittstelle, geprüft werden. Die entsprechende Konzeptwerkzeugbeschreibung in den nächsten zwei Kapiteln ermöglicht einen Einblick in die Arbeitsweise der beiden Programme. Für detailliertere Informationen wird auf die jeweiligen Quellen verwiesen.

3.6.1 Electrical Vehicle Architecture Optimization System (EVA_OS)

Der Name *Electrical Vehicle Architecture Optimization System* (EVA_OS) bezeichnet ein Auslegungswerkzeug für die frühe Phase der Konzeptentwicklung. Es wurde im Rahmen der Dissertation von Kuchenbuch [7] speziell zur optimierten Auslegung zukünftiger Elektrofahrzeugarchitekturen entwickelt. Mit Hilfe dieses Tools, das sich primär auf die Optimierung der Plattformarchitektur fokussiert, soll es in Zukunft möglich sein, durch Eingabe weniger Fahrzeugeigenschaften wie beispielsweise dem Sitzkomforts oder dem Kofferraumvolumen, Zielkonflikte miteinander abzustimmen. Für den Vorgang einer Optimierung ist die genaue Definition der Zielvorstellung aller Größenparameter wichtig.

In dem vorgestellten Tool kommt ein Algorithmus zum Einsatz, dessen Ziel die Ermittlung pareto-optimaler Lösungsräume ist. Der eingesetzte, evolutionäre Algorithmus stammt aus der Softwareumgebung NOESIS Optimus [36] und setzt das Optimierungs-Add-In GAnetXL [37] ein. Der Algorithmus gehört zu den stochastischen Optimierungsverfahren

3. Stand der Technik

und arbeitet nach dem Prinzip der zufälligen Population von Lösungen. Aus dem jeweils stärksten Elemente einer Population lassen sich, nach dem evolutionären Vorbild, auch starke Nachkommens-Generationen „fortpflanzen“. Somit werden aus 300 Milliarden unterschiedlichen Maßkonzepten, die theoretisch möglich sind, durch stetige Fortpflanzung letztlich wenige hundert optimierte Lösungen generiert [7].

Im nächsten Bild (Bild 3.19) ist neben möglichen Fahrzeugkonzeptanforderungen und der pareto-optimalen Lösungsfront der Zielkonflikte, auch die vereinfachte Darstellung der Fahrzeugarchitektur mit Batterietrog abgebildet.

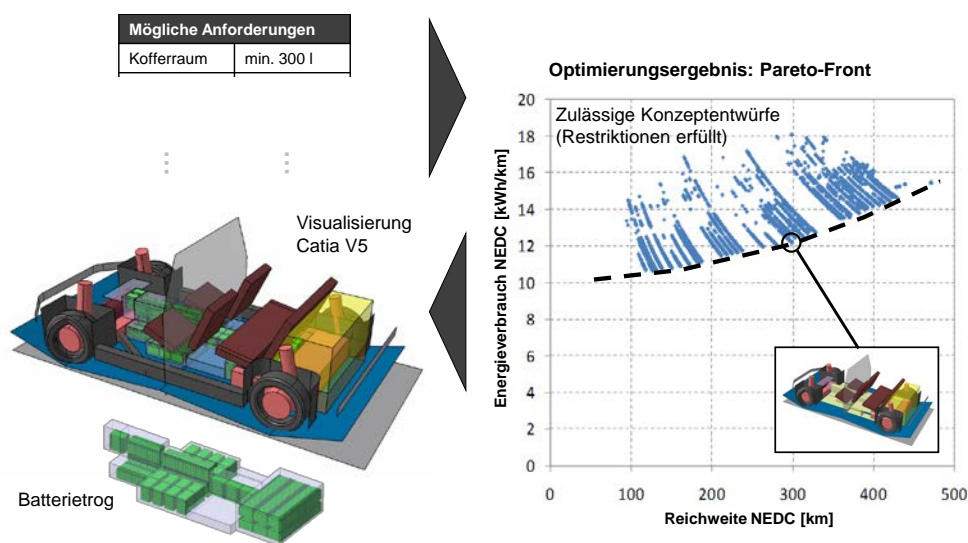


Bild 3.19: Ablauf von EVA_OS unter dem Einsatz evolutionärer Algorithmen, vgl. [7]

Durch eine in CATIA V5 generierte und vereinfachte Fahrzeug-Architektur lässt sich jedes beliebige Parameter-Set aus dem Lösungsraum einfach und schnell visualisieren. Hierzu zählt beispielsweise der Batterietrog mit den einzelnen Batteriezellen, die als eigenständige CAD-Komponente für Untersuchungen ausgeschrieben werden können (Bild 3.19).

Im nächsten Schritt erfolgt die Beschreibung von ConceptCar, dem zweiten, im Zuge der vorliegenden Diplomarbeit behandelten Konzeptauslegungswerkzeug.

3.6.2 ConceptCar

Bei ConceptCar handelt es sich um ein modular aufgebautes Konzeptwerkzeug, das vollständig in der Konstruktionsumgebung von CATIA V5 implementiert ist. Es besteht aus verschiedenen Modulen, die parametrisch assoziativ aufgebaut sind. Dabei variiert die Komplexität der einzelnen Module je nach Aufgabe. Die Modulvarianten reichen dabei von Darstellungen der Fahrzeugaußen- bzw. innengeometrie, über die Restriktionen der gesetzlich einzuhaltenden Vorgaben bis hin zur Geometrie, die ergonomiebeschreibende

3. Stand der Technik

Eigenschaften definiert. Zusammenfassend sind diese mit den erforderlichen Schnittstellen (gekennzeichnet durch Pfeile) im Bild 3.20 dargestellt [8]. Mit deren Hilfe lässt sich eine Überleitung in entsprechende Berechnungs- bzw. Prüfmodule ermöglichen, die eine erste Konzeptbeurteilung der technischen Untersuchungen liefern. Das Gesamtfahrzeugmodell, welches in der Konstruktionsumgebung von CATIA V5 visualisiert ist, beinhaltet für dessen Beschreibung bzw. Parametrisierung insgesamt 639 Parameter. Zusätzlich bietet ConceptCar die Möglichkeit, neue Parameter zu erstellen.

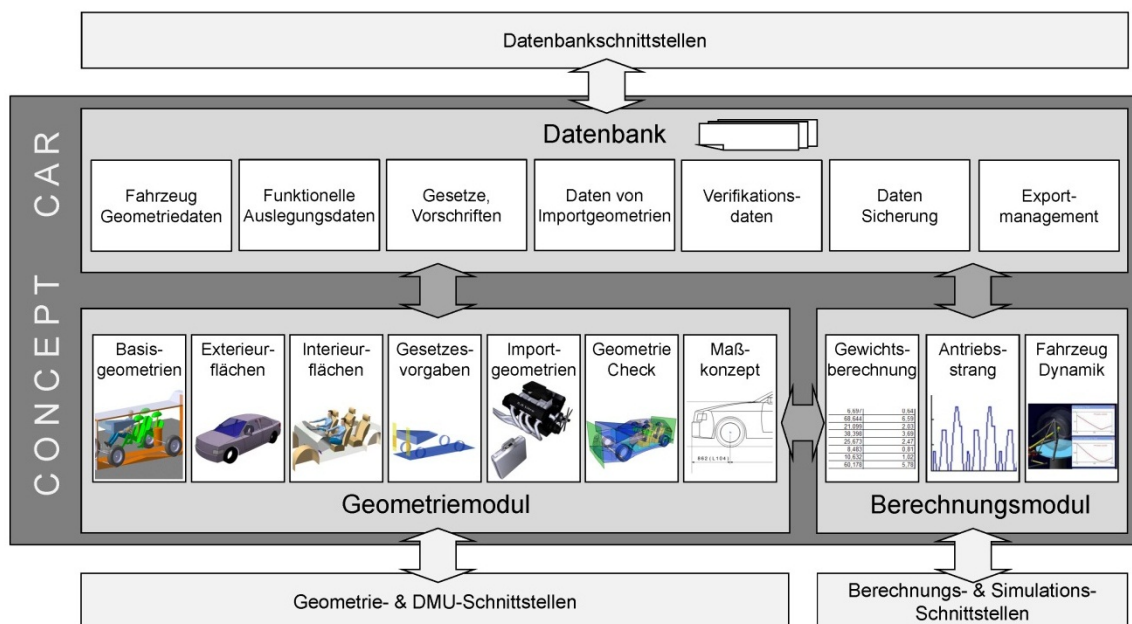


Bild 3.20: Modulübersicht und deren Vernetzung in ConceptCar, vgl. [8]

Zur Erstellung eines Konzeptentwurfs für konventionelle Fahrzeuge wird eine infrage kommende Fahrzeugarchitektur aus der ConceptCar Template-Datenbank geladen. Durch systematisches Ändern der relevanten Maße entsteht daraus schrittweise der geforderte Konzeptentwurf. Die Änderungen der Parameter lassen sich wahlweise über eine GUI, eine grafische Benutzeroberfläche, aber auch durch Einlesen einer Maßtabelle durchführen. Dafür müssen lediglich die zu ändernden Maße, entsprechend der ConceptCar-Vorgabe, in einer passenden Tabelle aufgelistet sein. Einige der bestehenden Parameter sind durch vorgegebene Maßketten von anderen abhängig und werden passiv gesteuert.

In das bestehende CAD-Modell können, je nach Wunsch, aktuelle Package-Komponenten für Bauraumuntersuchung über das Input-Modul eingelesen werden. Der Anstieg des Fahrzeugreifegrades ermöglicht, neben den Packageuntersuchungen, auch hohe Detaillierung des Fahrzeugkonzeptentwurfs (2D-Package-Plan). Dadurch können mögliche Kollisionen im späteren Verlauf des PEPs bereits im Vorfeld vermieden werden.

Die angesprochenen Schnittstellen zu externen Berechnungsmodulen, wie beispielsweise SFE-Concept, sind ebenso von Vorteil, wie die Verbindung zu einem Fahrleistungs- und Verbrauchsabschätzungstool. Aufgrund der Gesetzes- und Ergonomieanforderungen erfolgt vorbereitend eine Einbindung in CAVA [12] und RAMSIS [13]. Dadurch ist, ab dem Start des Werkzeugeinsatzes, stets eine Untersuchung der Vorgaben möglich, ohne eine Modellvorbereitung durchzuführen.

3.6.3 Zusammenfassung

Die beiden beschriebenen Konzeptwerkzeuge sind für den jeweiligen Einsatzzweck (Optimierung bzw. Visualisierung von Konzeptfahrzeugen) eine durchaus zweckmäßige Ergänzung zum bisherigen Fahrzeugkonzeptentwurf. ConceptCar bietet darüber hinaus durch die implementierten Schnittstellen, noch weitere Vernetzungen zu gesetzlichen Prüf- bzw. Komfortuntersuchungsprogrammen. Im nächsten Kapitel erfolgt die Beschreibung der entsprechenden Vorteile und eine damit verbundene Möglichkeit, beide Tools zu kombinieren. Anschließend kann eine detailliertere Aussage über eine Verkürzung der Konzeptfindungsphase, mit Hilfe der angestrebten Methodik getroffen werden.

4 Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Das Hauptziel in diesem Kapitel besteht in der Zusammenführung der beiden Konzeptwerkzeuge EVA_OS und ConceptCar, wobei zusätzlich ein Lösungsvorschlag für, die sich daraus ergebende Parametrierungsproblematik, erarbeitet werden soll.

Zu Beginn wird die Ausgangsbasis definiert, worin, neben der tabellarischen Gegenüberstellung der Vorteile, auch stellenweise auf detailliertere Aspekte der Konzeptwerkzeuge eingegangen wird. In der anschließenden Festlegung der Problemstellung wird mit Hilfe einer schematischen Darstellung, die unterschiedliche Anzahl der zur Verfügung stehenden Parameter näher beschrieben. Im darauf folgenden Lösungsansatz ist ein mathematisches Verfahren aufgezeigt, das zur Definition relevanter Fahrzeugmaße verwendet und dessen Gültigkeit wiederum mittels zwei exemplarischer Beispiele nachgewiesen werden soll. Die sich, aus der Vorgehensweise ableitende Methodik ist am Ende dieses Kapitels anhand eines Ablaufbildes detailliert erklärt.

Mit Hilfe einer schematischen Darstellung sollen die, durch die Schnittstelle geforderten, Parametereingaben und die anschließende -übergabe von EVA_OS zu ConceptCar veranschaulicht werden.



Bild 4.1: Abstrakte Darstellung der Kombination beider Konzeptwerkzeuge

4.1 Ausgangsbasis

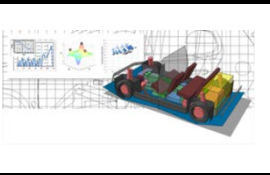
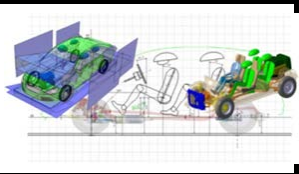
Die erste Teilaufgabe der Diplomarbeit, sowie die ersten Punkte im definierten Lastenheft, beinhalten das Auflisten von Vorteilen, die für eine Kombination der beiden Tools EVA_OS und ConceptCar sprechen. Hierzu wird zunächst eine Übersichtstabelle mit einigen wichtigen Eigenschaften beider Tools aufgezeigt (Tabelle 4-1), die einerseits zum besseren Verständnis der jeweiligen programmspezifischen Schwerpunkte dienen, andererseits die bei der Erstellung der Schnittstelle wichtigen Aspekte liefern soll.

Grundsätzlich handelt es sich sowohl bei EVA_OS, als auch bei ConceptCar um zwei, separat voneinander entwickelte, Konzeptwerkzeuge mit unterschiedlichen Aufgabengebieten während der Konzeptphase. Der erste Vorteil einer Kombination dieser

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

ist somit eine Vernetzung der Aufgabengebiete, wodurch sich Synergien ergeben können und eine Zeitersparnis dadurch ermöglicht wird.

Tabelle 4-1: Auflistung der Eigenschaften beider Konzeptwerkzeuge

	EVA_OS	ConceptCar
		
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • „Übersetzen von Eigenschaften“ in plausible Maßkonzepte 	<ul style="list-style-type: none"> • Schneller Aufbau von Konturen und Schnitten
	<ul style="list-style-type: none"> • Schnelle Berechnung von >500.000 Fahrzeugkonzepten 	<ul style="list-style-type: none"> • Manueller Detail-Vergleich unterschiedlicher Packagevarianten
	<ul style="list-style-type: none"> • Schneller Variantenvergleich der pareto-optimalen Lösungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Detaillierte Ergonomie- & Sichtprüfungen
	<ul style="list-style-type: none"> • Übergabe eines optimalen Erst-Maßkonzeptes 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung & Tracking von Varianten und Datenständen
	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Erweiterbarkeit durch Findung geeigneter Kriterien 	<ul style="list-style-type: none"> • Integration/Anbindung von funktionalen Methoden
	Gemeinsame Datenbank in MS Excel	
Parameteranzahl	Ca. 70 (versionsabhängig)	639
Darstellung	Plattformorientierte Fahrzeugarchitektur	Gesamtfahrzeug

Im nächsten Schritt ist anhand der dargestellten Vorteile bzw. Fakten ein Konzept zu erarbeiten, anhand dessen die Schnittstelle aufgebaut werden soll. Dazu wird im weiteren Verlauf auf einzelne Punkte der Tabelle näher eingegangen.

Die gemeinsam genutzte Datenbankplattform in MS Excel liefert einen der größten Vorteile bei der gewünschten Kombination. Einerseits besteht die Möglichkeit, die bereits optimierten Fahrzeugparameter ohne Konvertierung von EVA_OS zu ConceptCar programmintern zu übertragen, andererseits können die Datenverwaltung, sowie die integrierten Berechnungsfunktionen von MS Excel genutzt werden. Die von beiden Werkzeugen genutzte, direkte Schnittstelle zwischen MS Excel und der 3D-Konstruktionsumgebung CATIA V5 stellt, für die zu entwickelnde Schnittstelle selbst keinen wesentlichen Vorteil dar, da diese Verbindung bereits von beiden Tools genutzt wird.

Für eine bessere Integration der beiden Konzeptwerkzeuge, wird die Plattform der Schnittstelle selbst direkt in die Datenbankstruktur von EVA_OS implementiert, was einerseits eine deutliche Vereinfachung des Parameterzugriffs, andererseits die Möglichkeit für weitere Berechnungen von Maßen bedeutet. In Anbetracht dessen, dass EVA_OS, durch Definieren geeigneter Optimierungskriterien und deren Einbindung in die

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Programmstruktur, beliebig erweitert werden kann, ist dieser Punkt beim Erstellen der Schnittstelle bzw. zur Erweiterung der Methodik, zwingend umzusetzen.

Durch die Möglichkeit des schnellen Konturabgleichs und des Erstellens von Schnitten, können die übertragenen Fahrzeugparameter zu ConceptCar einerseits in einem Gesamtfahrzeugkonzept dargestellt und andererseits detailliert bezüglich Ergonomie- bzw. Sichtvorgaben untersucht werden. Dazu ist allerdings die Fahrzeugaußenform entscheidend, dessen relevante Maße nicht im Umfang der EVA_OS Parameter enthalten sind. Eine Beschreibung dieser wäre somit über die Schnittstelle durchzuführen.

Mit Hilfe eines visualisierten Fahrzeugmodells, basierend auf einer plattformorientierten Fahrzeugarchitektur, in der 3D-Konstruktionsumgebung von CATIA V5, ist einerseits ein Variantenvergleich der pareto-optimierten Fahrzeugkonzeptlösungen aus EVA_OS möglich, andererseits wäre bereits bei der Selektion in MS Excel eine visuelle Darstellung sehr hilfreich. Mit einer möglichen Vorabdarstellung, bereits in der Schnittstelle implementiert, kann somit schnell und einfach das gewählte Fahrzeugkonzept in MS Excel erzeugt werden, bevor es nach ConceptCar übertragen wird.

Aus den angeführten Konzepttoolvorteilen und den beschriebenen Punkten ergeben sich einige Anforderungen an die Schnittstelle, die bei deren Umsetzung einfließen sollten. Diese lauten wie folgt:

- *Die Schnittstelle sollte in der Datenbankstruktur von EVA_OS implementiert sein.*
- *Ermöglichung einer Übertragung der Fahrzeugparameter von EVA_OS zu ConceptCar.*
- *Eine 2D-Vorabdarstellung des gewählten Fahrzeugkonzeptes in der Schnittstelle.*
- *Die Beschreibung relevanter Exterieurmaße, die zur Darstellung der konzeptionellen Fahrzeugsilhouette benötigt werden.*

Im Rahmen des nächsten Kapitels wird das angesprochene Problem der unterschiedlichen Anzahl an Parameter genauer behandelt.

4.2 Problematik

Wie in der vorherigen Tabelle bereits ersichtlich ist, besteht zwischen den beiden Konzeptwerkzeugen eine unterschiedliche Anzahl an zugrundeliegenden Parametern, die für die jeweiligen Anwendungen eingesetzt werden.

Der erwähnte plattformorientierte Aufbau der EVA_OS Fahrzeugarchitektur liefert nur einen Bruchteil jener Parameter (70), die in ConceptCar zur parametrischen Beschreibung einer Gesamtfahrzeugdarstellung (639 Parameter) benötigt werden.

Als einleitendes Beispiel ist im Bild 4.2 der angesprochene Parameterkonflikt schematisch abgebildet.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

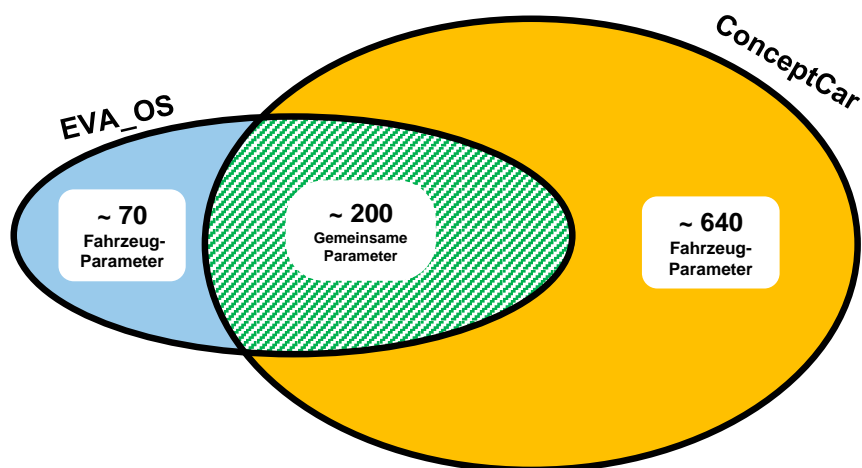


Bild 4.2: Ausgangsbasis der Fahrzeugparameter beider Konzeptwerkzeuge

In der blauen Blase (links) befinden sich die, von EVA_OS bereitgestellten, Fahrzeugparameter. Diese beschreiben einerseits die Fahrzeughauptabmessungen bzw. die Fahrer- und Insassensitzpositionen, andererseits auch programmspezifische Maße, wie beispielsweise die Positionierung des Batterietrags und dessen Abmessungen. Da speziell diese relevanten Bauteilbemaßungen in ConceptCar nicht definiert sind, ergibt sich eine Teilmenge an Parametern, die nicht durch die Schnittstelle übertragen werden kann. Um diese trotzdem verwenden zu können, muss die Batteriezellstruktur dafür zunächst als eigene DMU-Komponente in ConceptCar erstellt und über die angesprochenen Parameter verknüpft und mit Hilfe der Schnittstelle angesteuert zu werden. Dazu müssen alle Parameter in ConceptCar vorab generiert werden (dies ist allerdings nicht Ziel dieser Diplomarbeit).

In der gelben Blase sind alle Fahrzeugparameter von ConceptCar abgebildet, die zur Beschreibung des programminternen Gesamtfahrzeugs benötigt werden. Dazu zählen, neben Interieur- und Exterieurmaßen, auch Parameter, die Fahrzeugeigenschaften wie beispielsweise den Wendekreis oder die Anzahl an Türen bzw. Sitzen definieren.

Dazwischen liegt ein grüner Überschneidungsbereich mit jenen Parametern, die von beiden Konzeptwerkzeugen verwendet werden und, ohne weitere Bearbeitung, direkt in ConceptCar übertragen werden können. Dazu zählen Maße wie beispielsweise Fahrzeuglänge, -breite und -höhe. Hinzu kommen außerdem Parameter für Radstand, Sitzpositionen und Karosserieüberhänge vorne und hinten. Die direktübertragbaren Maße aus EVA_OS können zum Einen für mehrere ConceptCar-Parameter gleichzeitig verwendet werden, zum Anderen ist mit ihrer Hilfe eine Berechnung neuer Maße aus entsprechenden Maßketten möglich. In Summe ist eine Anzahl von 200 Maßen in ConceptCar steuerbar.

Zur kompletten Beschreibung des ConceptCar-Modells fehlen noch ca. 440 Parameter, die einerseits zur Übertragung als konstant gesetzt, andererseits auch mit Hilfe von

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Parametrisierung berechnet werden können. Dazu ist im nächsten Kapitel eine Möglichkeit aufgezeigt, wie Parameter mit Hilfe von mathematischen Beziehungen und in Abhängigkeit zu anderen Maßen ausgedrückt werden können.

4.3 Lösungsansatz

Bevor eine detaillierte Beschreibung der Arbeitsweise erfolgen kann, muss zunächst geklärt werden, bei welchen Maßen eine Parametrisierung möglich und vor allem sinnvoll ist. Das primäre Ziel dieses Ansatzes soll sein, relevante Maße zur Darstellung einer Fahrzeugaußenkontur durch Parametrisierung zu steuern. Als weniger sinnvoll wird die Parametrisierung bei bereits standardisierten Bauteilabmessungen, wie beispielsweise dem Lenkraddurchmesser, erachtet. Unter dem Gesichtspunkt eine, sich mit den optimierten plattformorientierten Maßen ändernde, Außenkontur zu erstellen, kann die Liste der dafür infrage kommenden Maße drastisch minimiert werden.

4.3.1 Definition von fahrzeugrelevanten Exterieur-Abmessungen

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass mit dieser parametrischen Maßbeschreibung lediglich eine schnelle und einfache Möglichkeit aufgezeigt werden soll, ein Gesamtfahrzeug mit Hilfe einer Auswahl an Außen- bzw. Innenabmessungen zu beschreiben, die sich automatisch bei Maßvariationen mitverändern. Die parametrisierten Maße können vom Entwickler nach der Aktualisierung der Fahrzeugdarstellung in ConceptCar entsprechend adaptiert werden. Es soll damit der Darstellungsproblematik bei der Aktualisierung entgegen gewirkt werden, zumal sich das gesamte Modell mit den übertragenen Parametern folglich verändert. Im Falle von sich nicht mitveränderten Maßen besteht die Gefahr, dass programminterne Fehler auftreten können. Die Programmphilosophie von ConceptCar setzt eine Variabilität des Modells für die Konzeptphase voraus. Der konventionelle Konzeptentwurf sieht vor, alle Maße voneinander unabhängig zu steuern. Dies sollte durch die Schnittstelle nicht beeinflusst bzw. gestört werden.

Zunächst müssen jene Maße definiert werden, die die Karosserieaußenform abbilden und somit einen Einfluss auf die Formgebung haben. Das Ziel sollte sein, eine stark konzeptlastige Fahrzeugsilhouette zu schaffen, die möglichst alle Karosserieformen der Fahrzeugsegmente abdecken kann. Im Rahmen des Lösungsansatzes ist dazu eine, zunächst beliebige, Fahrzeugform mehrmals iterativ vereinfacht worden, und so letztlich eine abstrakte Form entstanden, die dennoch eine akzeptable Aussagekraft hinsichtlich der Fahrzeugformgebung aufweist. Hierbei handelt es sich um zwei simple rechteckig übereinander positionierte Elemente von denen ausgegangen wird. Die Vorgehensweise der iterativen Veränderung ist im nächsten Bild 4.3 schematisch nachgestellt und zeigt, wie die schrittweise Annäherung an die gewünschte Außenform erfolgt.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

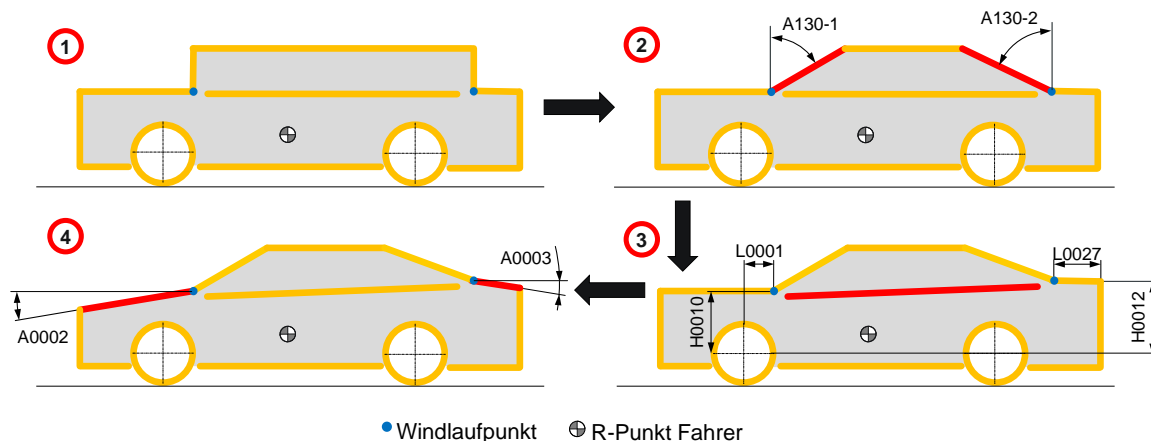


Bild 4.3: Vorgehensweise bei der konzeptionellen Abbildung einer Fahrzeugaußenkontur

Die sich ändernden Konturen sind in rot und mit dem entsprechend steuernden Parameter gekennzeichnet. Die Bezeichnung der Maße bezieht sich zum Einen auf bekannte GCIE-Maße und zum Anderen auf die Maßbenennung, die auch in ConceptCar verwendet wird. Die Ausgangsform für die Transformation besteht primär aus der groben Abbildung der Fahrzeughauptabmessungen (1). Zunächst erfolgt die Neigung der Front- bzw. Heckscheibe (2), die von den Maßen A130-1 bzw. A130-3 gesteuert werden. Anschließend steigt die Brüstungskontur nach hinten an (3), gesteuert durch die Y-Koordinaten der Windlaufpunkte vorne und hinten. Dieser Schritt ist nicht zwingend notwendig, da es auch Karosserieformen mit flachverlaufender Brüstungslinie gibt, er wird jedoch für den allgemeinen Fall aufgezeigt. Der letzte Schritt in der Formgestaltung ist die Neigung der Motorraumabdeckung, wie auch der Heckklappe (4).

Die Überprüfung auf allgemeine Anwendbarkeit der Vorgehensweise erfolgt in Bild 4.4 durch Nachbildung der Fahrzeugform eines, sich aktuell auf dem Markt befindlichen, Fahrzeugs (Volkswagen Jetta). In der oberen Abbildung ist dabei ersichtlich, dass sich die konzeptionelle Fahrzeugaußenform an die Silhouette des Fahrzeugs anpassen lässt und eine Verbindung zur Fahrzeugklasse nach wie vor erkennbar ist.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

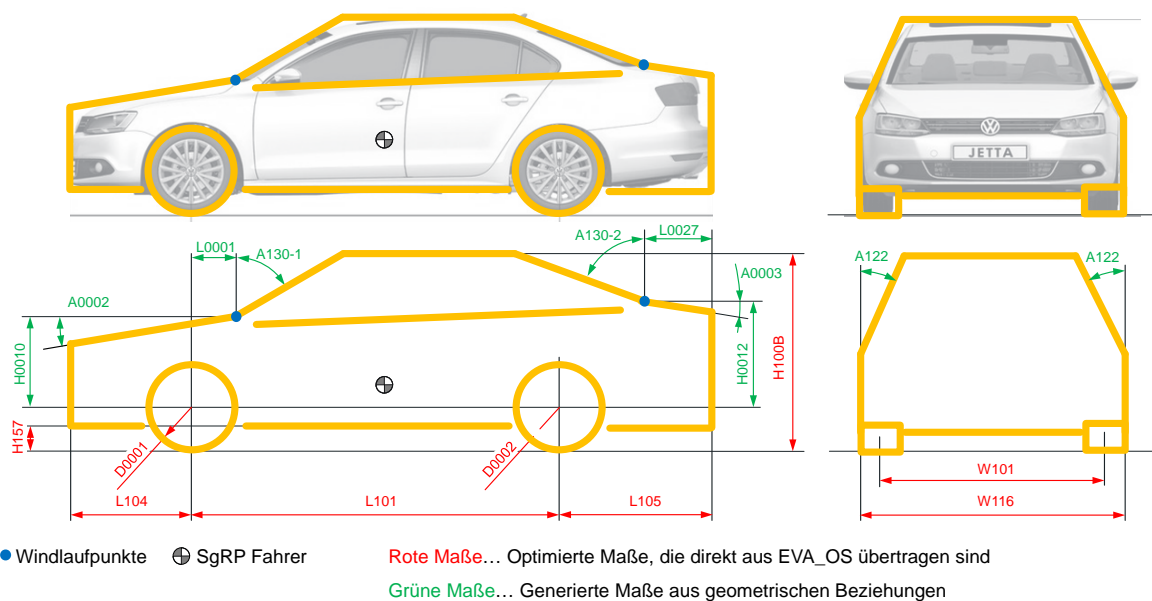


Bild 4.4: Abstrahierte Fahrzeugaußenform in Anlehnung an ein reales Fahrzeug

Bei den rot markierten Maßen handelt es sich um die von EVA_OS bereitgestellten Maße, die ohne Zwischenrechnung über die Schnittstelle an ConceptCar übertragen werden können. Die grünen Maße stellen die zum Einen über die parametrische Maßgenerierung definierten, zum Anderen die als konstant gesetzten Maße, dar. Mit Hilfe aller eingetragenen Maße lassen sich, durch individuelle Variation dieser, alle heutzutage gängigen Fahrzeugsilhouetten konzeptionell nachbilden.

Als weitere Überprüfung der allgemeinen Anwendbarkeit dieser Vorgehensweise, sind in der nächsten Abbildung (Bild 4.5) zusätzlich zum bereits nachgebildeten Fahrzeug aus Bild 4.5 (A), drei weitere Fahrzeugklassen, ebenfalls in vereinfachter Form, dargestellt. Bei den zusätzlichen Fahrzeugtypen handelt es sich um einen Van (B), ein Cabriolet (C) und einen Sportwagen (D).

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

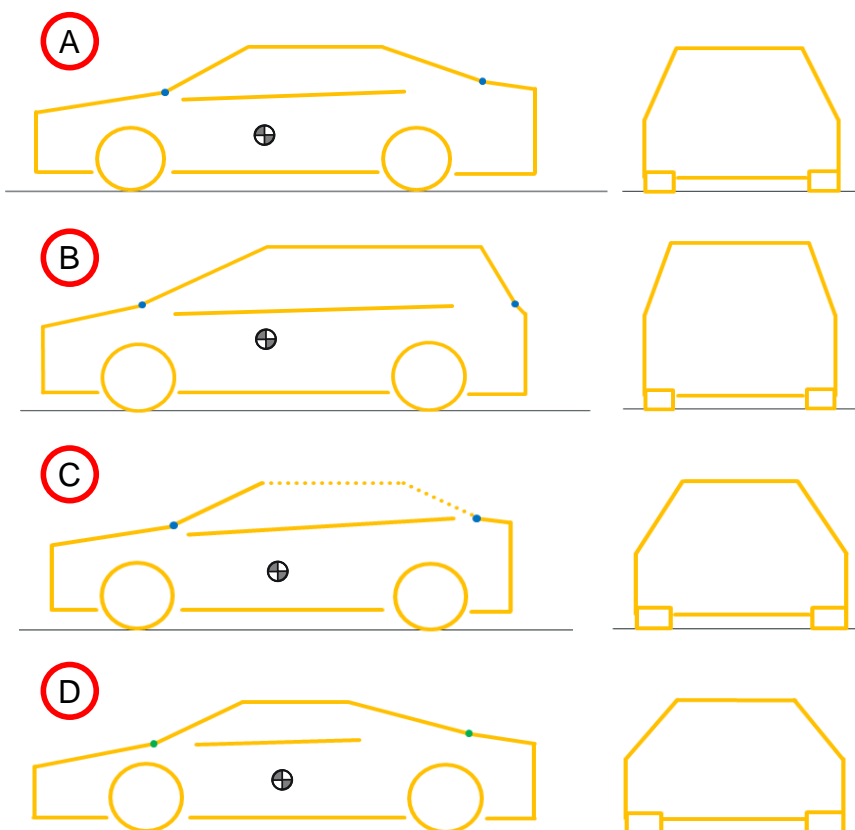


Bild 4.5: Unterschiedlich abstrakte Fahrzeugaußenkonturen

Bei genauerer Betrachtung der Fahrzeugsilhouetten ist erkennbar, dass bestimmte Maße einen stärkeren Einfluss auf die Karosserieformgebung aufweisen, als andere. Dazu zählen beispielsweise neben, den X-Koordinaten des vorderen und hinteren Windlaufpunktes, auch deren Z-Koordinaten. Als weitere Maße mit starkem Einfluss können die Neigungswinkel der Front- bzw. Heckscheibe angesehen werden. Hingegen der Neigungswinkel der Motorraumabdeckung bei den vier dargestellten Fahrzeug-Klassen eher weniger Einfluss hat, da dieser annähernd konstant bleibt. Ebenso kann die Neigung der Heckklappe als konstant angesehen werden. Diese Erkenntnis stammt aus einer eigens durchgeführten Untersuchung verschiedener Fahrzeuge der unterschiedlichen Fahrzeugklassen, bei denen die erläuterten Maße genau analysiert und als annähernd konstant entschieden wurden. Dies verdeutlicht, dass nicht alle angeführten Maße den bereits erwähnten Einfluss auf die Fahrzeugsilhouette aufweisen und dadurch die Anzahl der zu parametrisierenden Maße minimiert werden kann. Zur Beschreibung einer entsprechend detaillierteren Fahrzeugform ist neben den im Bild 4.5 eingezeichneten Maßen, auch das Zusammenspiel mit allen anderen karosseriebestimmenden Maßen bedingungslos notwendig.

Tabelle 4-2 gibt einen Überblick darüber, welche Maße im Rahmen dieser Betrachtung parametrisiert und welche als Konstante gesetzt werden können. Für die bereits erwähnten

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Maße, bei denen eine Parametrisierung sinnvoll erscheint, wird im weiteren Verlauf der Diplomarbeit eine Möglichkeit zur einfacheren Findung geeigneter Referenzmaße aufgezeigt.

Tabelle 4-2: Auflistung der zusätzlich-relevanten Maße zur Beschreibung der konzeptionellen Fahrzeugsilhouette

Maßbezeichnung	Maßbezeichnung
L0001	A0002
L0027	A0003
H0010	A130-1
H0012	A130-2
A122	

Es soll nun, am Beispiel des vorderen Windlaufpunktes, die Parametrisierung der dazugehörigen Koordinatenwerte aufgezeigt werden. Die Position des vorderen Windlaufpunktes wird laut [28] konkret durch die Maße L0010 und H0010 beschrieben. Zusätzlich sind in der Schnittstelle, neben den angeführten Maßen in Tabelle 4-2, auch weitere Abmessungen enthalten, die, teilweise durch Abhängigkeit anderer, beschrieben worden sind. Eine detaillierte Beschreibung wird in dieser Arbeit nicht weiter vorgenommen.

4.3.2 Der Windlaufpunkt

Der vordere Windlaufpunkt (v-WLP) beschreibt die physische Grenze zwischen der Motorhaube und dem unteren Startpunkt der Windschutzscheibe, bezogen auf die Fahrzeugmitte (in der XZ-Ebene bei $y=0$). Er hat zum Einen großen Einfluss auf das Sichtfeld des Fahrers, da er die untere Grenze der Sichtpyramide bildet (Bild 4.6) und zum Anderen beeinflusst er die optische Formgebung des Fahrzeugs durch die Lage der Gürtellinie. Im Bild 4.6 ist dazu ein Vergleich zwischen zwei Fahrzeugarten dargestellt, um den beschriebenen Einfluss auf die Sicht des Fahrers zu verdeutlichen.

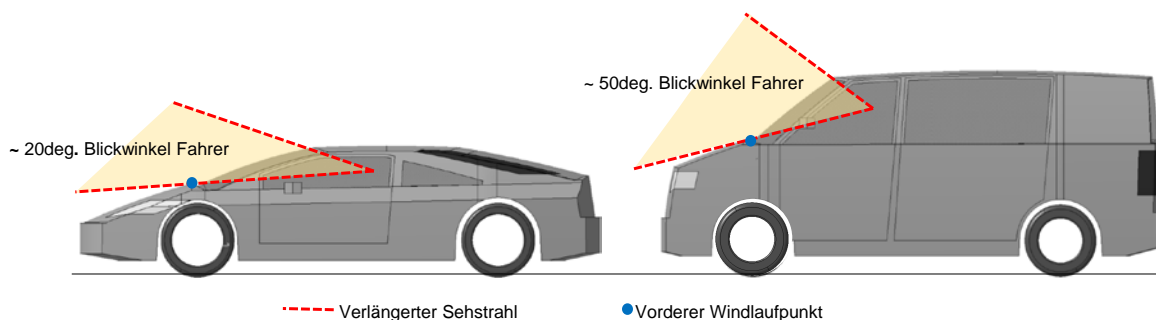


Bild 4.6: Einfluss des vorderen Windlaufpunktes auf das Blickfeld des Fahrers bei unterschiedlichen Fahrzeugklassen

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Die beiden Fahrzeugklassen weisen eine unterschiedliche Position der WLP auf. Dabei kann, anhand von Referenzfahrzeugen, eine Untersuchung dieser, erfolgen, um die möglichen Grenzen der Koordinaten, sowohl des vorderen als auch des hinteren Windlaufpunktes, durch einen Raster aufzuzeigen. So unterscheidet sich ein Van beispielsweise von einem Cabriolet und einem Sportwagen. Die erwähnte Rasterung der WLP-Koordinaten ist im Bild 4.7 ersichtlich. Auf die eingezeichneten Grenzen und ihre Restriktionsmaße wird im weiteren Verlauf nicht näher eingegangen. Die Untersuchung sollte lediglich dem Nachweis dienen, dass die WLP-Koordinaten bei der Gestaltung der Fahrzeugsilhouetten einen wesentlichen Einfluss haben.

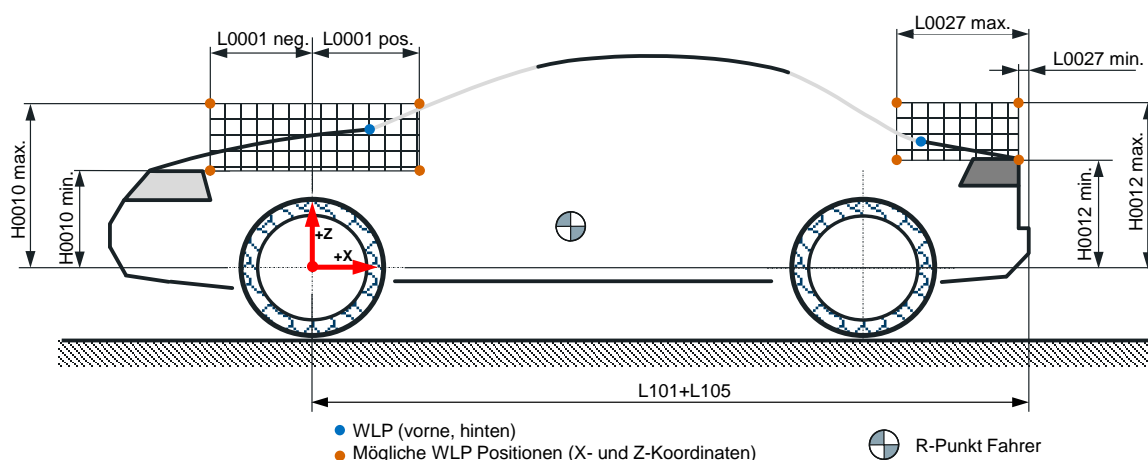


Bild 4.7: Rasterbereich des vorderen und hinteren Windlaufpunktes für deren mögliche Positionen

Bei näherer Betrachtung kann darauf geschlossen werden, dass es eine Abhängigkeit zwischen den WLP-Koordinaten und der Fahrzeugform selbst gibt. [30] zeigt, dass der Ansatz der funktionsbehafteten Vorgehensweise bereits bei der Fahrerplatzgestaltung eingesetzt wird. Aber auch für Außenabmessungen, wie der Fahrzeuggesamthöhe, kann die Methode laut [30] eingesetzt werden.

Bei der Findung geeigneter Referenzmaße sollten folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- *Das Maß sollte denselben Bezugspunkt aufweisen.*
- *Das Maß sollte in dieselbe Koordinatenrichtung zeigen.*
- *Das Maß sollte vorzugsweise ein optimiertes Maß aus EVA_OS sein.*

Speziell der letzte Aspekt, ist hinsichtlich der sich mitverändernden Fahrzeugsilhouette äußerst wichtig.

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit soll nun am Beispiel der v-WLP Maße H0010 und L0001 auf die Findung von Referenzmaßen und deren mathematischen Bezug zu den Koordinaten eingegangen werden.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Z-Koordinate des vorderen Windlaufpunktes (H0010)

Für die Z-Koordinate des v-WLP sind, gemäß der drei Forderungen, sowohl Maße mit derselben Koordinatenrichtung, als auch aus dem plattformorientierten Erst-Maßkonzept von EVA_OS zu wählen. Im Bild 4.8 sind die möglich, infrage kommenden Referenzmaße, zusammen mit dem Maß H0010 abgebildet.

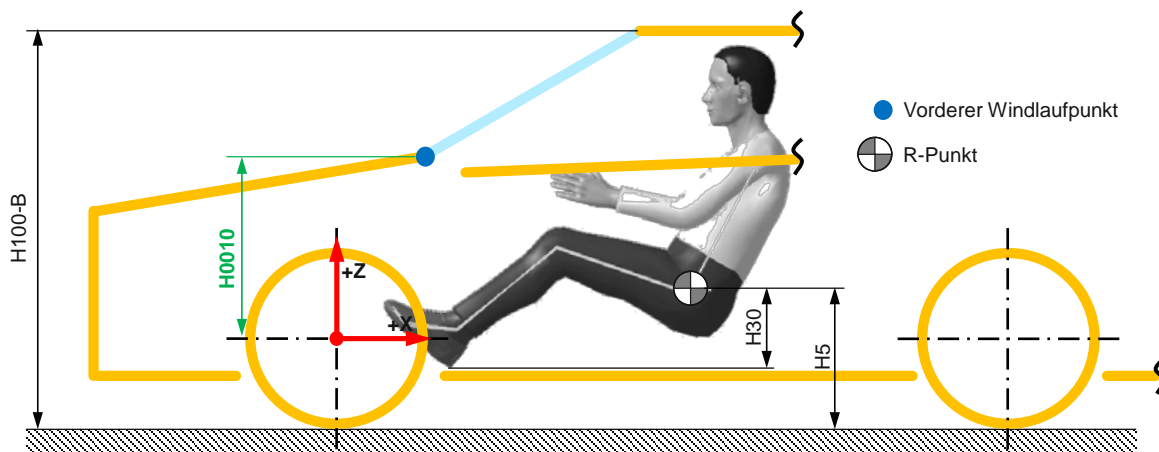


Bild 4.8: Referenzmaße für H0010

Bei den abgebildeten Maßen handelt es sich zum Einen um Maße, die in dieselbe Koordinatenrichtung zeigen, zum Anderen sind es zum Teil optimierte Maße aus EVA_OS. Alle Maße, die zumindest zwei der Aspekte erfüllen, sind in der nachfolgenden Tabelle 4-3 aufgelistet. Dazu zählen, neben der Außenabmessung H100-B, auch die beiden Innenmaße H5 und H30.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Tabelle 4-3: Referenzmaße für H0010

Maßbezeichnung	Selber Bezugspunkt	Selbe Koordinatenrichtung	Optimiertes Maß
H5	✗	✓	✓
H30	✗	✓	✓
H100-B	✗	✓	✓

Laut Tabelle 4-3 können alle drei Maße der Forderung nach demselben Bezugspunkt nicht nachkommen, was sich aber im Verlauf der Untersuchung als nicht weiter problematisch herausstellte. Als einen der ersten Schritte werden zunächst die aufgelisteten Maße und die Z-Koordinate des v-WLP aus den GCIE-Package-Plänen der entsprechenden Referenzfahrzeuge vermessen und in einer Tabelle aufgelistet. Bei den in die Betrachtung einfließenden Referenzfahrzeugen handelt es sich, neben Fahrzeugen der Volkswagen AG, auch, um weitere sich auf dem Markt befindliche Fahrzeuge anderer Fahrzeughersteller bzw. -Klassen, auf die jedoch im Folgenden nicht weiter eingegangen werden soll.

Die weitere Untersuchung beinhaltet lediglich die Maße H100-B und H5, da das Maß H30 nur teilweise aus den GCIE-Plänen ermittelt werden konnte. Laut [30] stellt dies kein Problem dar, da die beiden anderen Maße für die Berechnung des v-WLP wesentlich entscheidender sind. Im Folgenden werden zwischen den Maßen und der Z-Koordinate des v-WLP Verhältnisse hergestellt und in einem Diagramm eingezeichnet. Im Bild 4.9 ist das erforderliche Diagramm dargestellt und beinhaltet auf den beiden senkrechten Achsen die abhängigen Maße H5 und H100-B. Auf der waagrechten Achse ist das Maß H0010 des v-WLP aufgetragen.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

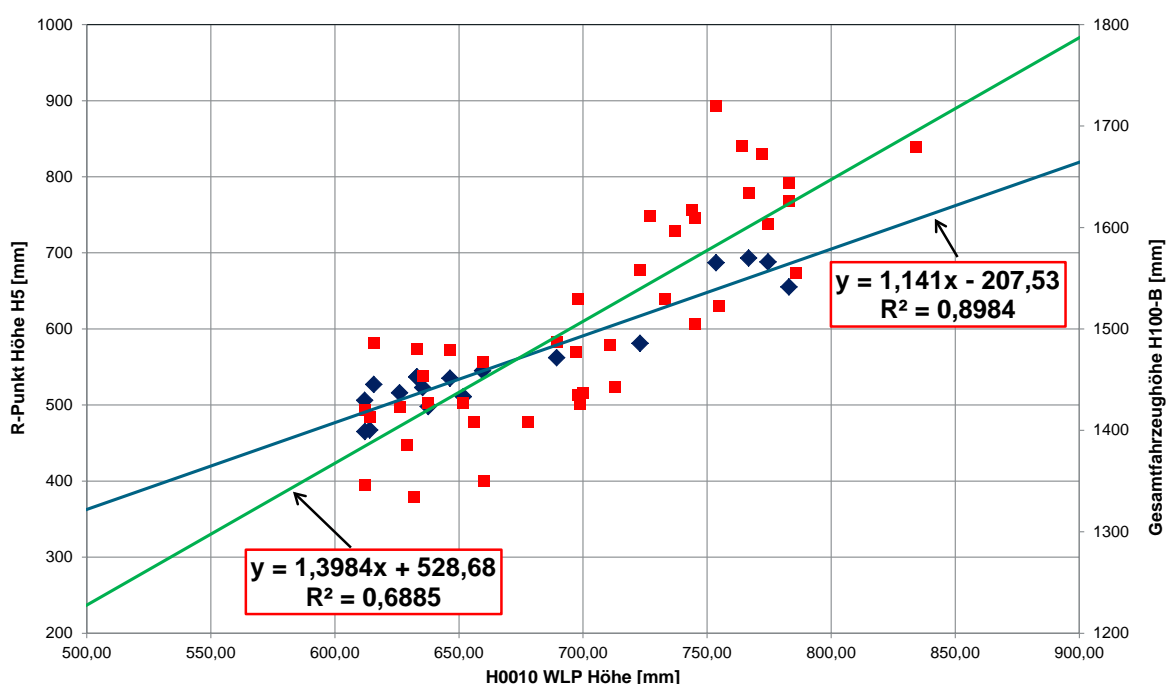


Bild 4.9: H0010 in Abhängigkeit von H5 bzw. H100-B

Zusätzlich dazu sind die linearen Regressionsgeraden der beiden Verhältnisse H0010 zu H5 (blau) bzw. H0010 zu H100-B (rot) eingetragen. Damit lässt sich eine mögliche mathematische Abhängigkeit der Maße zueinander in Form einer linearen Gleichung, beschreiben. Für die Entscheidung, welche der beiden Verhältnisse in die Maßbestimmung von H0010 einfließen, wird das Bestimmtheitsmaß der Regression R^2 betrachtet. Es gibt an, in wie weit ein linearer Zusammenhang zwischen der errechneten Kurve und einer idealen linearen Gleichung besteht. Im vorliegenden Beispiel ist eine Parametrisierung von H0010 daher vorzugsweise mit dem Maß H5 anzustreben (rot), da das Bestimmtheitsmaß R^2 , im Gegensatz zur Regression mit H100-B (grün), deutlich besser ausfällt. Es soll an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Gleichung der linearen Regressionsgeraden bezogen auf die Referenzpopulation der verwendeten Fahrzeuge entstanden ist. Das bedeutet, dass bei einer größeren Anzahl dieser, das Ergebnis sich dementsprechend verändert. Daraus ergibt sich zur Berechnung von H0010 folgende (empirisch ermittelte) Formel:

$$H0010 = (H5 + 207,53) / 1,141$$

Formel 4-1

Die Tatsache, dass in die Berechnung der linearen Regression von H0010 das Maß H5 miteinfließt, lässt sich durch das bereits beschriebene Blickfeld des Fahrers zusätzlich belegen. Hierzu soll Bild 4.10 einen Zusammenhang zwischen der vertikalen Position des v-WLP und der vertikalen Fahrersitzposition zeigen.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

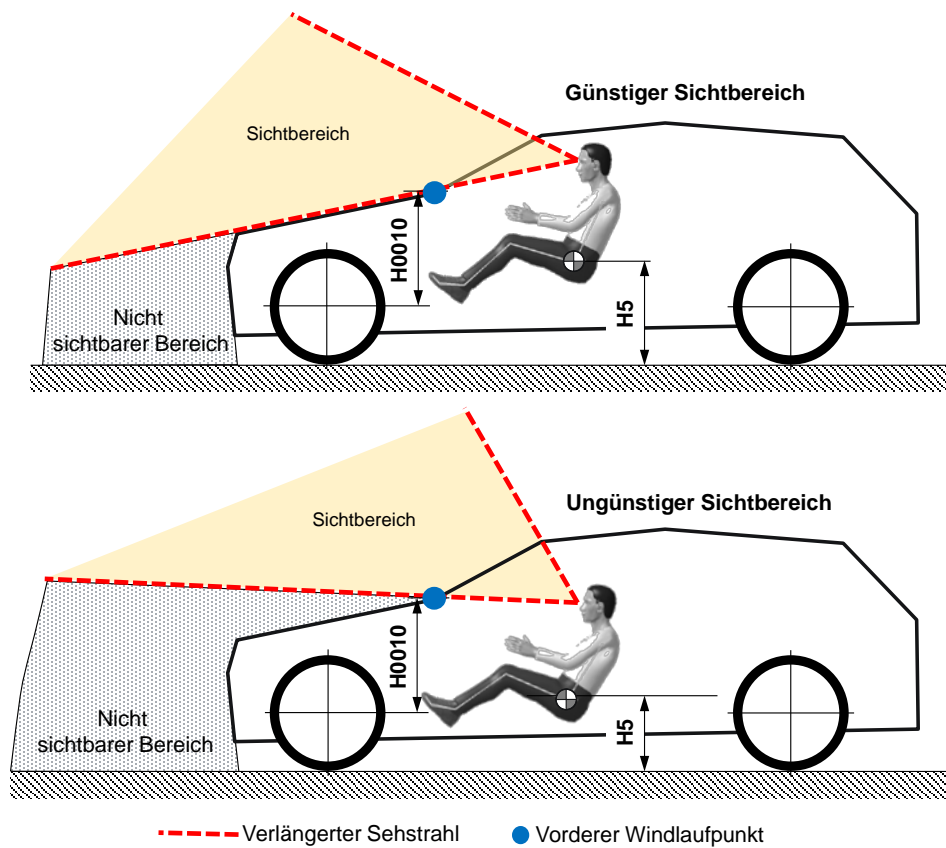


Bild 4.10: Günstige und ungünstige Sichtbereiche des Fahrers

X-Koordinate des vorderen Windlaufpunkts (L0001)

Ein ähnlicher Ansatz wird auch bei der mathematischen Beschreibung der X-Koordinate des v-WLP, dem Maß L0001, angestrebt. Zur Findung geeigneter Referenzmaße werden, entsprechend nach den Aspekten, zunächst infrage kommende Maße im Bild 4.11 dargestellt.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

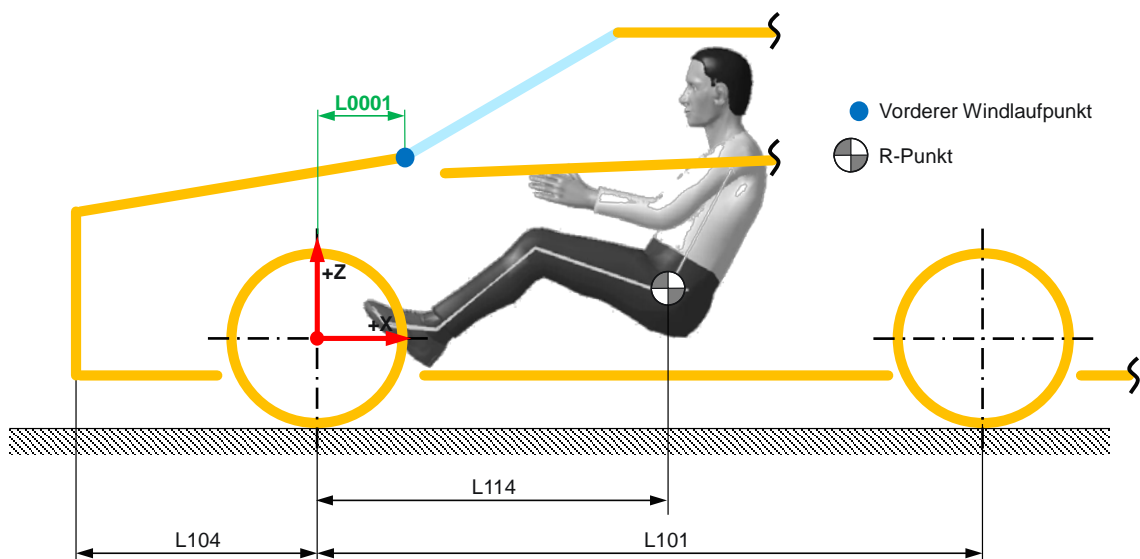


Bild 4.11: Referenzmaße für L0001

Aus der oberen Darstellung lassen sich drei geeignete Maße erkennen, die ebenfalls in einer Tabelle (Tabelle 4-4), mit der entsprechenden Kennzeichnung, eingetragen werden.

Tabelle 4-4: Referenzmaße für L0001

Maßbezeichnu	Selber	Selbe	Optimiertes
L114	✓	✓	✓
L104	✓	✗	✓
L101	✓	✓	✓

Alle drei Referenzmaßen sind optimierte Maße aus EVA_OS und haben denselben Bezugspunkt. Bis auf das Maß L104 sind alle in dieselbe Koordinatenrichtung orientiert. Die Maße sind, nach derselben Vorgehensweise aus den GCIE-Plänen der Populationsfahrzeuge ermittelt worden, wie sie bereits bei der Findung geeigneter Referenzmaße für H0010, zum Einsatz kamen. Im nächsten Bild sind die Verhältnisse abgebildet.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

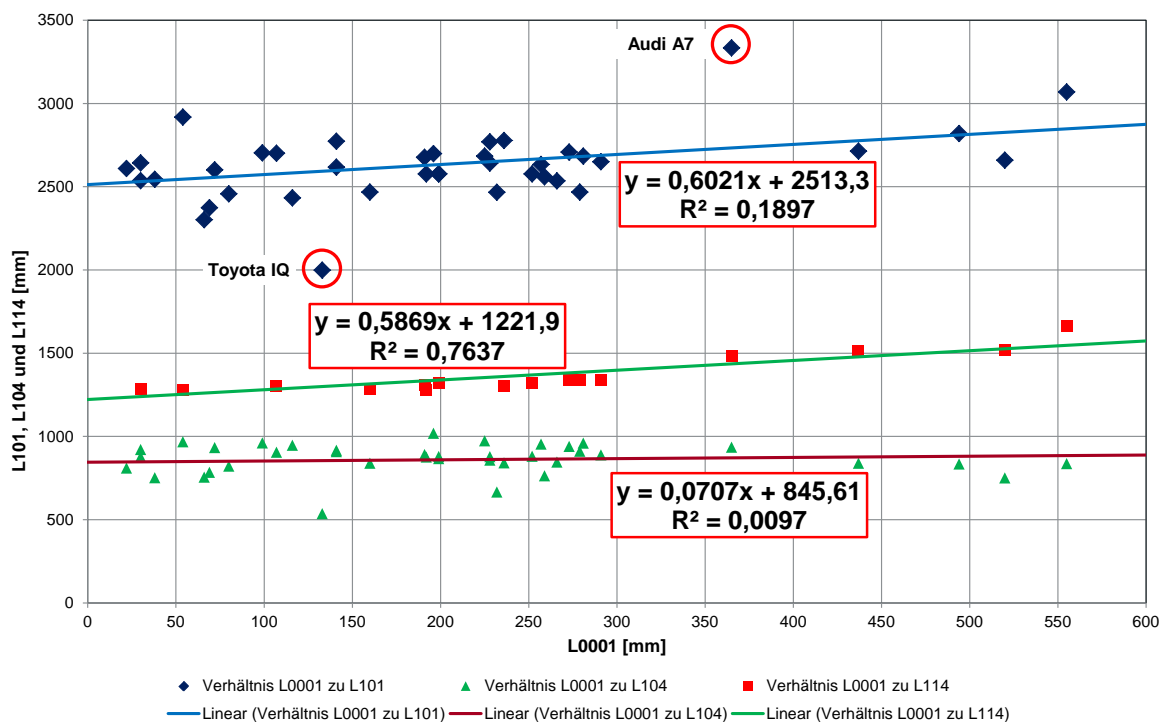


Bild 4.12: L0001 in Abhängigkeit von L101, L104 bzw. L114

Das Diagramm beinhaltet wiederum die linearen Regressionsgeraden zur Definition einer mathematischen Beziehung zwischen den vertikal angeordneten Maßen und dem horizontalen Maß. Zur Ermittlung des geeigneten Referenzmaßes für L0001 wird abermals das Bestimmtheitsmaß der Regression R^2 herangezogen. Die Aussagekraft dieser Größe ist bereits im vorherigen Kapitel beschrieben worden. Beim Verhältnis L0001 zu L104 ist $R^2 = 0,0097$ und somit minimal gegenüber den anderen Bestimmtheitsmaßen. Dies zeigt somit, dass kein linearer Zusammenhang besteht (rote Regressionsgerade) und es daher ungeeignet ist. Zum Einen folgt dies aus den unterschiedlichen Fahrzeugklassen der verwendeten Populationen und zum Anderen aufgrund der entgegengesetzten Orientierungsrichtung des Maßes bezogen auf L0001. Des Weiteren lässt sich auch das niedrige Bestimmtheitsmaß der Regression vom Verhältnis L0001 zu L101 durch die unterschiedlichen Fahrzeugklassen der Population begründen. Es gibt Fahrzeuge, bei denen die Proportionen zwischen dem Radstand und der horizontalen Positionierung der Motorraumabdeckung sehr unterschiedlich ausfallen. Als eine weitere Einflussgröße in dieser Betrachtung fließt das Antriebskonzept bzw. die Positionierung der Antriebseinheit ein. Dabei muss zwischen einem front- bzw. heckangetriebenen Fahrzeug bzw. einem längs- oder quereingebauten Motor unterschieden werden. Diese Berücksichtigung ist in der Parametrisierung nicht miteingeflossen. Die dadurch entstandene Ungenauigkeit ist für die frühe Phase der Konzeptentwicklung bzw. bei der Berechnung des Maßes überschaubar gering.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Schlussendlich bleibt als letzte mögliche Abhängigkeit die lineare Regression des Verhältnisses von L0001 zu L114. Neben dem guten Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,7637$ besteht zusätzlich eine Verbindung zur horizontalen Fahrerplatzpositionierung über das Maß L114. Somit wird ein weiterer Bezug zur Fahrersitzplatzposition hergestellt, was in Hinblick auf den erwähnten Stellenwert des Windlaufpunktes und dem Blickfeld des Fahrers zusätzlich ein Vorteil ist.

Ein weiterer Aspekt, der für die Wahl dieses Verhältnisses spricht, kann mit Hilfe der Einführung eines Differenzmaßes ΔL begründet werden. Es handelt sich dabei um die errechnete Differenz von L114 zu L0001. Zur besseren Erläuterung dient dazu die Skizze in Bild 4.13.

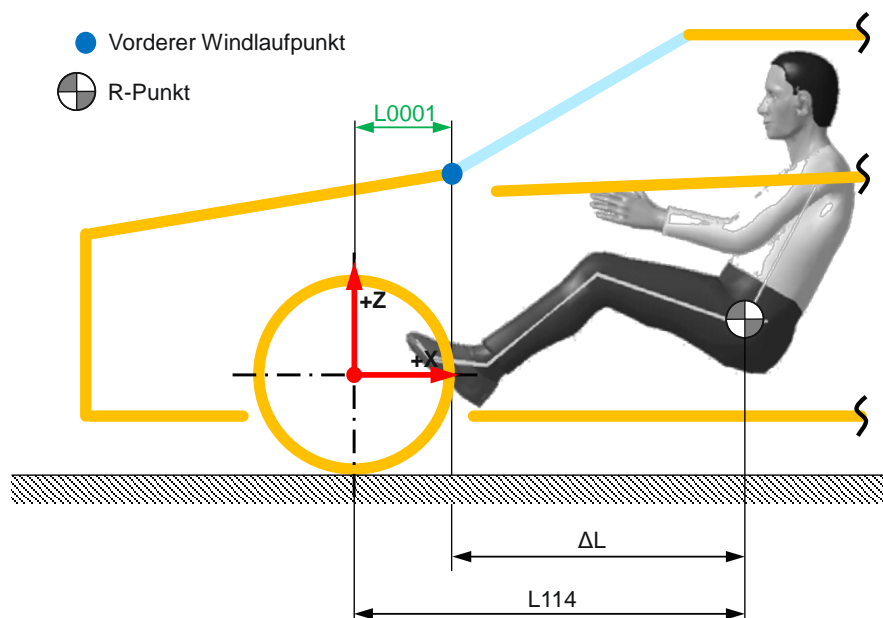


Bild 4.13: Differenzmaß ΔL in Zusammenhang mit L114 und L0001

Wie in Bild 4.13 ersichtlich, gibt das Differenzmaß den horizontalen Abstand zwischen dem R-Punkt und dem vorderen Windlaufpunkt an und bildet somit ebenso einen horizontalen Zusammenhang zwischen der Fahrersitzposition und dem v-WLP. Dies bedeutet, dass dieses Maß annähernd konstant ist. Es ist eher ungeeignet, wenn sich das Differenzmaß ΔL mit dem Maß L114 stark ändert, da dies zwangsläufig eine Veränderung mit dem Abstand zwischen Fahrer und Bedienelementen bedeutet, was aus Sicht der Ergonomie nicht verändern werden sollte.

$$\Delta L = L114 - L0001$$

Formel 4-2

Dazu ist im Bild 4.14 nochmals das Verhältnis von L114 und L0001 in einem Diagramm aufgetragen. Zusätzlich ist auf der Sekundärachse das Differenzmaß ΔL aufgetragen.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

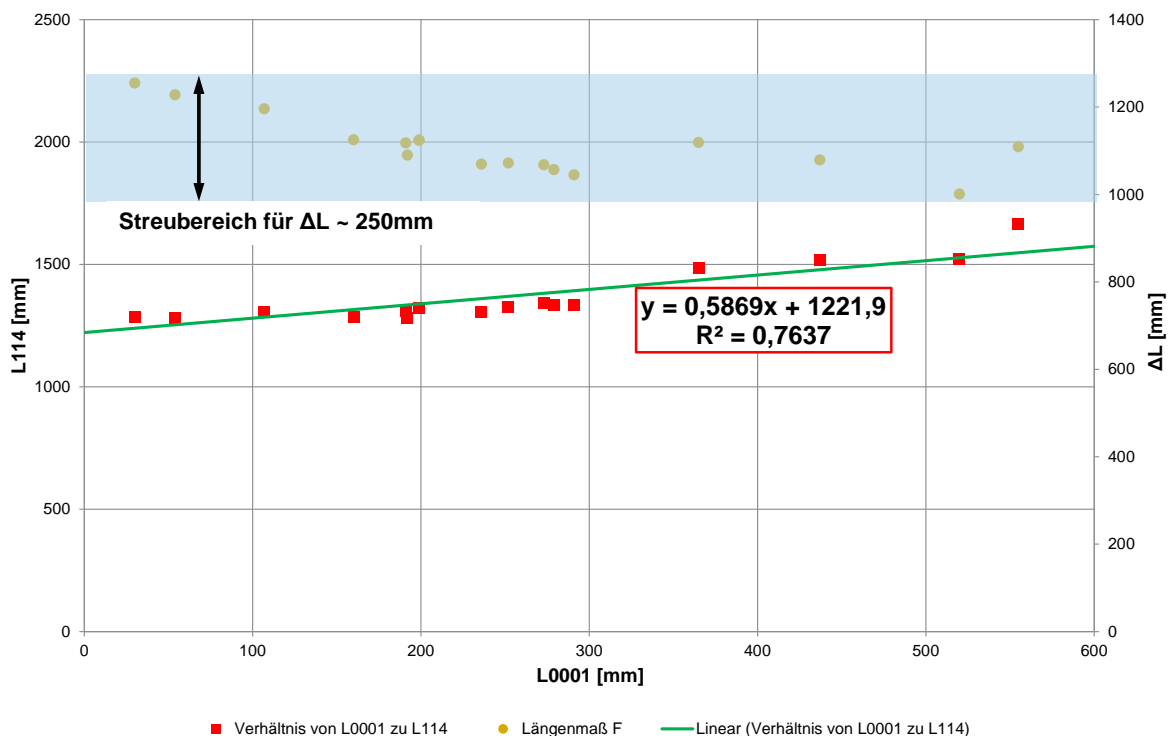


Bild 4.14: Verhältnis L0001 zu L114 in Anbetracht vom Differenzmaß ΔL

Zum besseren Verständnis ist neben der linearen Regression der Verhältnisse auch das Differenzmaß ΔL entlang der vertikalen Sekundärachse (rechts) aufgetragen. Der Streubereich, der sich aus der Differenz des größten bzw. kleinsten Differenzmaß ΔL errechnet, ist im Diagramm blau markiert ist. Dieses Maß bleibt über dem Maß L0001 annähernd konstant. Dies widerspiegelt auch den bereits erwähnten Zusammenhang mit dem Abstand zwischen dem Fahrer und den Bedienelementen wieder.

Aus der mathematischen Formulierung der linearen Regressionsgeraden lässt sich die nachfolgende Formel zur Beschreibung der horizontalen v-WLP-Koordinate wie folgt definieren:

$$L0001 = (L114 - 1221,9) / 0,5869 \quad \text{Formel 4-3}$$

Auch an dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass sich die einzelnen Faktoren in dieser Gleichung aufgrund der verwendeten Fahrzeugpopulation ergeben.

4.4 Definition der zu übertragenden Maße

Mit Hilfe der Vorgehensweise zur mathematischen Formulierung lassen sich unbekannte Maße für eine erste Abschätzung aus bekannten Maßen generieren. Unter Einhaltung der genannten Punkte ist die Findung weiterer Maßabhängigkeiten möglich. Ein großer Teil der relevanten Maße für die Fahrzeugsilhouette aus dieser Arbeit konnte durch Anwendung

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

dieser Arbeitsfolge so definiert werden. Darüber hinaus sind auch weitere Maße aus dem Exterieur- bzw. dem Interieurbereich generiert worden, wie beispielsweise die Sitzabmessungen aller Insassen. Jene Maße, bei denen sich eine parametrische Definitionen des Maßes als nicht zielführend erwies, wurden als konstante Maße gesetzt. In der nächsten Tabelle sind dazu die Maße aus Tabelle 4-5 nochmals einerseits mit der entsprechenden Abhängigkeit, andererseits mit dem konstant gesetzten Maßwert aufgelistet.

Tabelle 4-5: Parametrisierte bzw. konstante Maße

Maßbezeichnung	Abhängige Maße	Konstante Maße
L0001	F(L114)	X
L0027	F(L101; L105)	X
H0010	F(H5)	X
H0012	F(H100-B)	X
A122	F(W116; H100-B; W20-1; H5-1; H25-1; D0001)	X
A0002	X	7 deg.
A0003	X	7 deg.
A130-1	X	45 deg.
A130-2	X	40 deg.

Neben der angeführten Maße in Tabelle 4-5 konnten auf diese Weise noch weitere unbekanntes Maße, die durch EVA_OS nicht beschrieben werden, für die Übertragung zu ConceptCar, bestimmt werden.

Im Bild 4.15 ist dazu eine aktualisierte Übersicht der Parameter nach der Anwendung der beiden Varianten aufgezeigt.

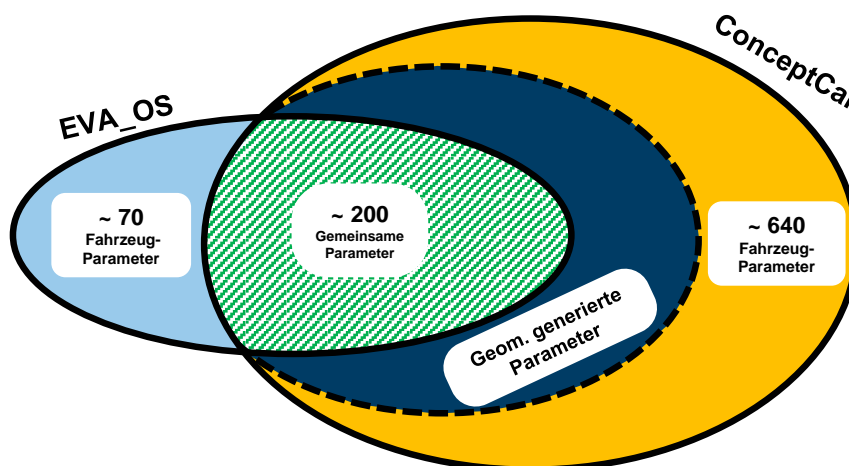


Bild 4.15: Aktualisierte Übersicht bestimmter Parameter durch die Schnittstelle

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Darin stellt, neben den bereits in Bild 4.2 erwähnten Bereichen, die graue Teilmenge jene durch die Parametrisierung bestimmten Maße dar. Die in orange gefärbte Teilmenge der Parameter sind die zum Anfang als konstant gesetzte Maße.

Im nächsten Kapitel soll nun auf den Aufbau der Schnittstelle detaillierter eingegangen werden.

4.5 Aufbau der Schnittstelle

Durch die enorme Anzahl an von seitens EVA_OS betroffenen Parametern in ConceptCar (ca. 640 Parameter) ist eine gesamtheitliche Vorstellung eines Gesamtfahrzeuges nicht möglich. Als geeignete Hilfestellung hat sich eine Vorabdarstellung der Fahrzeugaußenkontur in der Schnittstelle gezeigt, die in Bild 4.16 dargestellt ist. Die Darstellung zeigt neben der Fahrzeugform auch die Sitzposition der Insassen bzw. den erforderlichen Sandwich-Boden zur Platzierung der Batteriezellen. Es handelt sich dabei um den Zwischenraum zwischen dem Fahrzeuginnenboden und der Fahrzeugunterseite. Darüber hinaus sind, in Anlehnung an [7], die beiden Zielkonflikte, Reichweite und Verbrauch, des gewählten Fahrzeugkonzeptes mitangeführt.

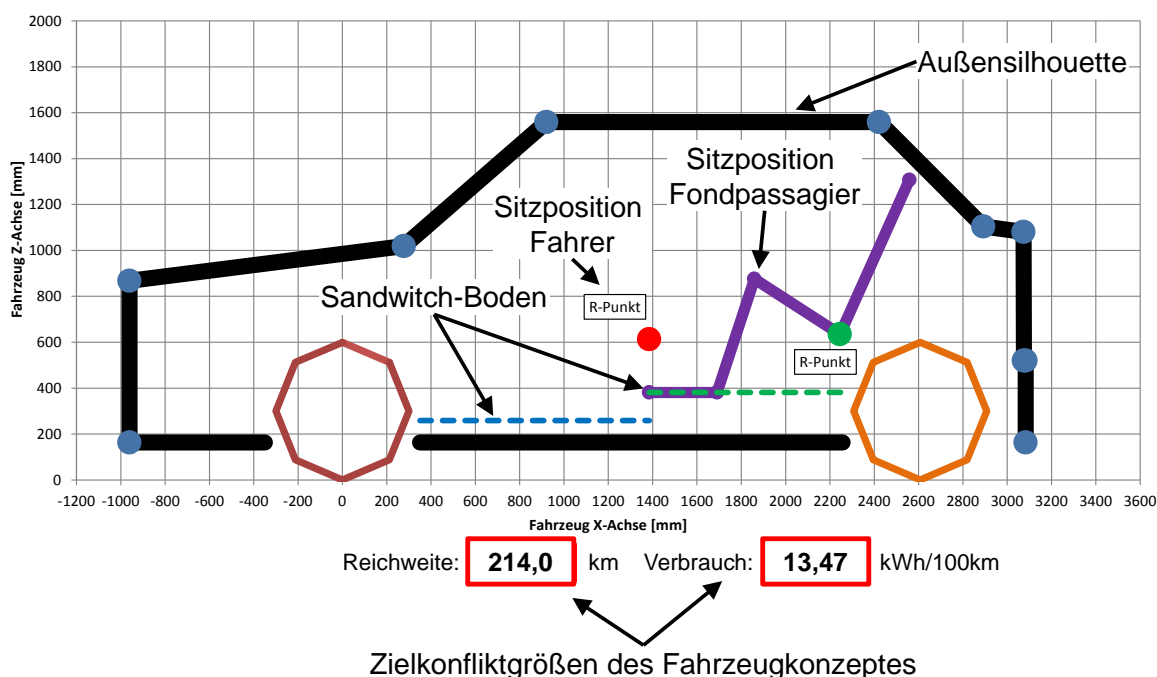


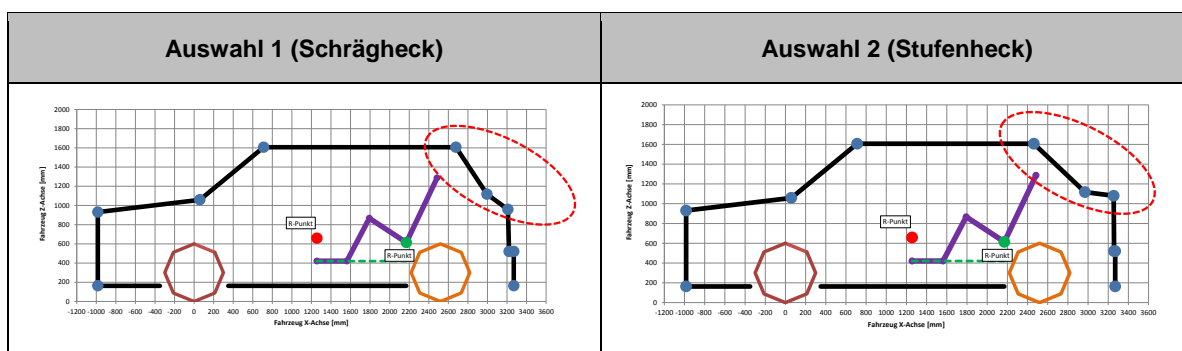
Bild 4.16: Visualisierung der automatisch generierten Parameter über eine Vorabdarstellung des Gesamtfahrzeuges in der Schnittstelle

Die Schnittstelle soll, wie bereits in der Aufgabenstellung definiert, zwischen den beiden Konzeptwerkzeugen platziert werden. Die Vorgehensweise sieht vor, dass zuerst eine Optimierung der Fahrzeugeigenschaften in EVA_OS durchgeführt wird. Der Entwickler

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

sucht sich aus den Ergebnissen infrage kommende Fahrzeugkonzepte anhand der Pareto-Front des Zielkonflikts (z.B. Reichweite bzw. Energieverbrauch), aus. Diese werden anschließend einzeln nacheinander mit der Schnittstelle in eine, für ConceptCar angemessene Form, aufgelistet. Der derzeitige Stand der Schnittstelle sieht vor, dass der Entwickler aus zwei infrage kommenden Karosserieaufbauten wählen kann. Durch eine entsprechende Auswahl in der Schnittstelle kann dadurch zwischen den in Tabelle 4-6 aufgelisteten Fahrzeugaußenformen selektiert werden. Diese sind an die von EVA_OS optimierten Fahrzeugklassen angelehnt.

Tabelle 4-6: Auswahl der Karosserieform



Für die Übertragung aller Parameter von der Schnittstelle in das Werkzeug ConceptCar gibt es zwei Möglichkeiten:

- 1) *Exportieren aller Parameter in eine Textdatei und Importieren dieser über das Einlese-Modul von ConceptCar.*
- 2) *Kopieren der Parameter in der Schnittstelle und Einfügen in ein ConceptCar-Template.*

Bei Variante 1 handelt es sich um den konventionellen Weg zum Importieren von Parameter in ConceptCar, der primär auch empfohlen wird. Bei Variante 2 hingegen ist ein zeitlicher Vorteil beim Aktualisieren bzw. beim Einlesen der Parameter gegenüber Variante 1 ersichtlich. Daher wird hinsichtlich einer Minimierung der Übertragungszeit auf Variante 2 zurückgegriffen. Bei diesem Vorgang müssen alle Parameter zunächst in der Schnittstelle selektiert und kopiert werden, bevor diese im Anschluss in die Datenbankoberfläche von ConceptCar in die dafür vorgesehene Template-Spalte „EVA_OS“ eingefügt werden, wobei dazu kein Programmwechsel notwendig ist. In der ConceptCar-Umgebung von CATIA V5 lässt sich nun das Gesamtfahrzeugmodell mit den neuen Parametern aus der Template-Spalte „EVA_OS“ in einem Schritt aktualisieren. Parallel dazu kann der Entwickler den Batterietrog als DMU-Bauteil aus der EVA_OS-Visualisierung ausschreiben und unmittelbar nach der ConceptCar Aktualisierung als eigenes DMU-Bauteil importieren und entsprechend positionieren. Dazu ist einerseits die Vernetzung mit vorhandenen ConceptCar-Parametern, andererseits auch die Verkettung mit neuen Parametern möglich. können alle, über ConceptCar möglichen, Untersuchungen angewendet werden.

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

Zum Aufzeigen der Genauigkeit zwischen der Vorabdarstellung und dem Gesamtfahrzeugmodell in ConceptCar soll die nächsten Darstellung (Bild 4.17) dienen.

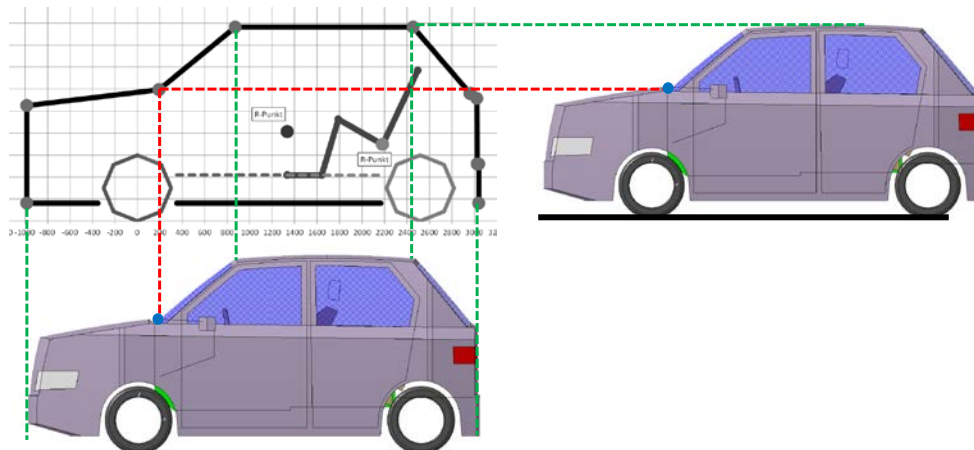


Bild 4.17: Vergleich der Außenkontur zwischen der Vorabdarstellung in der Schnittstelle und dem Gesamtfahrzeugmodell in ConceptCar

Mit Hilfe der eingezeichneten grünen bzw. roten Linien lässt sich die Übereinstimmung der Fahrzeugaußenkonturen eindeutig nachweisen.

Erweiterte Darstellung der Methodik durch die Schnittstelle

Im Bild 4.18 ist die Vorgehensweise nochmals grafisch dargestellt (eine vergrößerte Darstellung ist dem Anhang beigefügt).

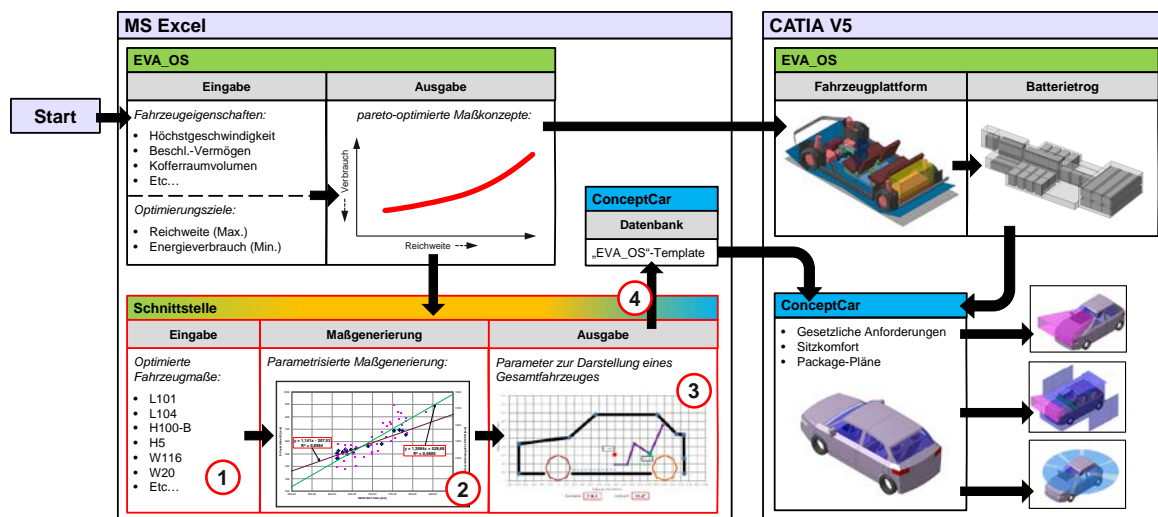


Bild 4.18: Integration der Schnittstelle in die Methodik

Die Schnittstelle sieht als Eingabegrößen die optimierten Fahrzeugmaße aus EVA_OS vor (1). Mit deren Hilfe lassen sich, durch eine parametrisierte Maßgenerierung, sowohl die

4. Zusammenführen der beiden Konzeptwerkzeuge

relevanten Maße der Fahrzeugsilhouette, als auch die entsprechenden Interieurmaße zur Sitzplatzauslegung bestimmen (2). Die erwähnte Vorabdarstellung, der erwartenden Fahrzeugsilhouette, dient dem Entwickler als eine Darstellungshilfe bei der Auswahl infrage kommender Fahrzeugkonzepte (3). Zur finalen Darstellung des Gesamtfahrzeugmodelles in CATIA V5, ist lediglich die Übertragung aller Parameter, durch den Entwickler, in die ConceptCar-Datenbank notwendig (4). Die tabellarische Reihenfolge der Parameter zur korrekten Übertragung, wird seitens der Schnittstelle bewerkstelligt.

Im nächsten Kapitel erfolgt nun eine Erweiterung der Methodik hinsichtlich der Definition neuer Optimierungskriterien und der dazu benötigten Restriktionen. Darüber hinaus sollen die neu generierten Parameter einerseits in ConceptCar erzeugt, andererseits mit Hilfe der Schnittstelle angesteuert werden können.

5 Erweiterung der Methodik zur Konzepttoolkombination durch ergonomische Optimierung der Türflanschgeometrie

Im vorherigen Kapitel wurde gezeigt, dass sich die recherchierten Vorteile beider Konzeptwerkzeuge durch eine Kombination dieser umsetzen lassen, um so schnell und mit akzeptablem Aufwand Fahrzeugkonzepte hinsichtlich der beiden Packageaspekte, Ergonomie und gesetzlichen Bestimmungen, zu analysieren.

Im Zuge der Konzepttoolkombination und der daraus abgeleiteten Methodik wird im Verlauf dieses Kapitels die Erweiterbarkeit der Parameteroptimierung exemplarisch aufgezeigt. Ziel ist es, dem Entwickler eine Herangehensweise bei der Wahl geeigneter Optimierungsgrößen und den dazugehörigen Restriktionen am Konzeptfahrzeug zu vermitteln. Als Beispiel dient dazu die ergonomische Beurteilung des Einstiegvorganges. Durch Ableiten von ergonomischen Beurteilungskriterien sind die Geometrieabmessungen des Türflansches hinsichtlich bestehender Restriktionen zu optimieren. Dies ermöglicht wiederum eine Berücksichtigung gewisser ergonomischer Anforderungen bereits in der frühen Konzeptphase. Dazu sind die, aus EVA_OS stammenden, Maßen in das implementierte Türflanschmodell des ConceptCar Gesamtfahrzeuges zur Einbindung in die Fahrzeugstruktur zu übertragen. Aus diesem Kontext heraus ist bereits ein wichtiger Vorteil der abgeleiteten Methodik erkennbar. Nach der Optimierung von Fahrzeugeigenschaften in EVA_OS ermöglicht die Schnittstelle eine schnelle Übertragung der Fahrzeugparameter zur anschließenden Visualisierung und Beurteilung der Ergebnisse in ConceptCar. Die Anregung bzw. Herausforderung, das exemplarische Beispiel auf die ergonomische Beurteilung der Türflanschgeometrie anzuwenden, erfolgte bei der Recherche zu neuartigen Türkonzepten zukünftiger Fahrzeuge. In der Literatur wird mehrmals auf die Bedeutung des Einstiegvorganges verwiesen. Im Anschluss sind zwei Statements angeführt.

„Der Ein-/Ausstiegskomfort definiert eine kundenwerte Eigenschaft des Fahrzeugs und setzt damit die Festlegung der entsprechenden Ziele während der Fahrzeugentwicklung voraus. Die Positionierung des Fahrzeugs am Markt und im Wettbewerbsumfeld bestimmt die Ausprägung bzw. die Zielsetzung im Produkteigenschaftsprofil.“ (Cherednichenko, [38])

„Die ergonomische Gestaltung eines Fahrzeugmodells ist heute ein wichtiges Kaufkriterium für den Kunden und somit ein entscheidender Wettbewerbsfaktor. Das Schweizer Internet-Portal bluewin beispielsweise empfiehlt, vor jedem Autokauf zu prüfen, ob ‚die Instrumente nicht zu klein oder zu verspielt sind‘, oder ob man ‚fünfmal hintereinander bequem ein- und aussteigen kann‘.“ (Seidl, [34])

Beide Aussagen lassen erahnen, welchen großen Stellenwert die Ergonomie, speziell der angesprochene Ein- und Ausstiegskomfort, auf das Gesamtfahrzeug hat, schließlich erfolgt der Zugang in ein Fahrzeug über den Türflansch. Speziell für ältere und körperlich beeinträchtigte Menschen haben diese Aspekte beim Fahrzeugkauf einen großen Stellenwert.

Bevor die Durchführung der Methodikerweiterung erörtert wird, erfolgen einleitend theoretische Grundlagen der Ergonomie, die für die weitere Betrachtung wichtig sind.

Im Rahmen der Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit wird nur die Geometrie des fahrerseitigen Türflansches berücksichtigt. Die Herangehensweise zur Einbindung weiterer Optimierungskriterien ist im exemplarischen Beispiel erkennbar.

5.1 Ergonomie

In diesem Kapitel wird die Ergonomie, zuerst allgemein und anschließend bezogen auf die Automobilindustrie aufgezeigt.

Die Ergonomie ist laut Duden [39] die Wissenschaft der Leistungsmöglichkeiten und –grenzen des arbeitenden Menschen, sowie der optimalen, wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen und seinen Arbeitsbedingungen.

Die gegenwärtige Problematik liegt in den immer komplexer werdenden Produkten und ihren Eigenschaften. Seitens der Menschen existiert ein Widerspruch zwischen den wahrgenommenen Funktionen eines Produktes und den damit verbundenen Erwartungen. Es ist daher äußerst sinnvoll, bereits in der Entwicklungs- bzw. Konstruktionsphase der Produkte über Leitlinien zu verfügen und eine Vergleichbarkeit zwischen Produkten zu ermöglichen, vgl. [2].

Laut [40] ist die Ergonomie geschichtlich gesehen erstmals im Jahre 1857 durch den Polen Jastrzebowski in der Fachzeitschrift „Natur und Industrie“ erwähnt worden. Der dortige wissenschaftliche Ansatz handelte von der geringeren Anstrengung im Leben bei gleichzeitig höheren Leistungen und mehr Zufriedenheit.

Im Bild 5.1 sind die vier Teilwissenschaften, auf denen die Ergonomie aufbaut, dargestellt.

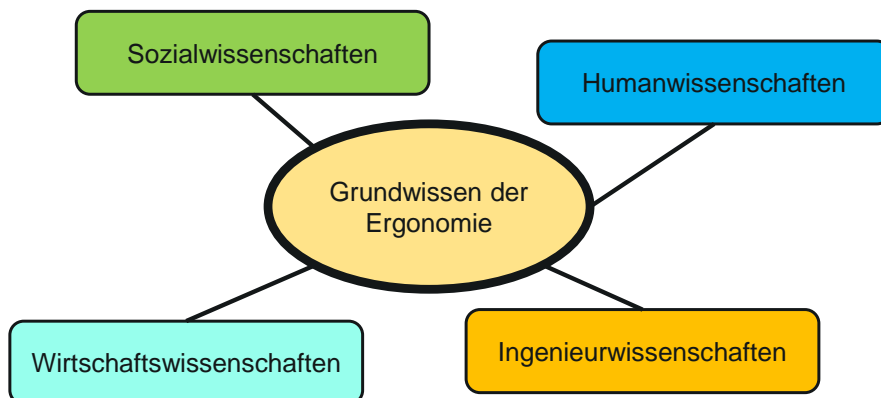


Bild 5.1: Teilwissenschaften im Grundwissen der Ergonomie, vgl. [40]

Der zentrale Gegenstand der Ergonomie, im Sinne des deutschen Sprachgebrauchs ist, durch Analyse der Aufgabenstellung in der Arbeitsumwelt und durch Analyse der Mensch-Maschine-Interaktion sowohl zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des gesamten Arbeitssystems, als auch zur Minderung der auf den arbeitenden Menschen einwirkenden Belastungen beizutragen, vgl. [40].

5.1.1 Ergonomie im Fahrzeug

Die Relevanz der Ergonomie wurde bereits sehr früh in der Automobilentwicklung erkannt und als wichtig empfunden. Beispielsweise werden bei der Betrachtung der Ergonomie im Fahrzeug hauptsächlich die Definition des Ergonomiekonzeptes für Fahrer und Insassen behandelt. Ausgehend von der für die Sitzposition relevanten Maße kann untersucht werden, wie ergonomisch der Fahrer bzw. die Insassen Platz finden.

Laut [40] ist bei der Produktergonomie beispielsweise ein vorrangiges Ziel, einen möglichst benutzerfreundlichen Gebrauchsgegenstand für eine größtenteils unbekannte Kundschaft anzubieten. Für die Entwicklung solcher Produkte ist es also wichtig, die Variabilität des Menschen sowohl hinsichtlich seiner anthropometrischen Eigenschaften, als auch seiner kognitiven Eigenschaften zu kennen und in der Gestaltung zu berücksichtigen. Hingegen geht es bei der Produktionsergonomie darum, menschengerechte Arbeitsplätze in Produktions- und Dienstleistungsbetrieben zu schaffen. Hier ist es das Ziel, die Belastung des Mitarbeiters zu reduzieren und zugleich die Leistungsabgabe zu optimieren. In den meisten Fällen geht es hierbei um die Frage der Zumutbarkeit und Erträglichkeit.

Die Ergonomie ist also nicht nur für das Produkt selbst, sondern auch für dessen Herstellung von ausgesprochen wichtiger Bedeutung. Dafür muss während der Entwicklung eines Fahrzeuges nicht nur an die ergonomischen Aspekte gedacht, sondern auch die ergonomische Gestaltung von Fertigungsstraßen berücksichtigt werden. Die Probleme aus der Fertigung sind bereits während des PEPs einzubeziehen, um in die Produktentwicklung einfließen zu können.

5. Erweiterung der Methodik

Im Laufe der Zeit hat die Ergonomie einen immer größeren Stellenwert in der Fahrzeugentwicklung eingenommen. Im nächsten Bild 5.2 ist der Einfluss auf verschiedene Bereiche des Fahrzeuginnenraums durch entsprechende Kennzeichnung hervorgehoben (Fahrertür und Mittelkonsole). Über die Jahre wurde die Anordnung und Anzahl der Bedienelemente aufgrund ergonomischer Einflüsse stark verändert. Die roten Kreise stellen die Verschiebung der Türgriffe innen dar, die gelben Kreise zeigen die Neupositionierung der Fensterheber-Bedienung. Als einer der stärksten Veränderungen ist die Verschiebung des Radios in Richtung Mittelkonsole zu sehen, wodurch sich, im Gegensatz zu vorher, eine bessere Bedienbarkeit der Instrumente ermöglichen lässt (grün).

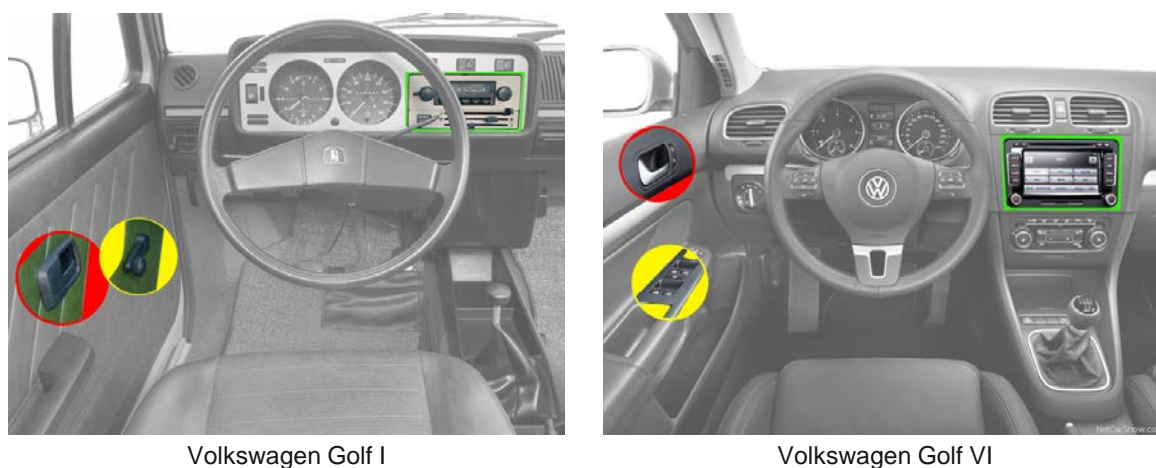


Bild 5.2: Ergonomie am Beispiel Innenraum der verschiedenen Volkswagen Golf Modelle, vgl. [29]

Die Ergonomie hat heutzutage bereits einen großen Einfluss auf die Fahrzeugentwicklung, unter anderem getrieben durch den wachsenden Bedarf nach immer „bequemeren“ Fahrzeugen, der neben den hochpreisigen Fahrzeugen auch immer mehr im unteren Preissegment mehr an Relevanz gewinnt. Daraus folgt, dass die Entwicklungsschwerpunkte in der Raumgeometrie selbst und/aber auch in der Mensch-Maschine-Schnittstelle liegen. Laut [2] geht es dabei konkret um:

- *Oberflächenbeschaffenheit,*
- *Instrumentenanordnung,*
- *Raumgeometrie,*
- *Zugänglichkeit (Ein-/Ausstieg),*
- *Akustik und*
- *Schwingungen.*

Nach [2] ist das Ziel der Raumgeometrie, sowohl die objektiven als auch die subjektiven Erwartungen der Kunden zu erfüllen. Schlussendlich soll daraus die optimale Belastung

des Fahrers als Auslegungsziel der Mensch-Maschine-Interaktion gefunden werden (keine Über-, aber auch keine Unterforderung). Die Arbeitsweise der Ergonomie wird somit durch die optimale Anpassung aller Kriterien definiert. Dazu ist im nächsten Bild 5.2 die Arbeitsweise der Ergonomie dargestellt.

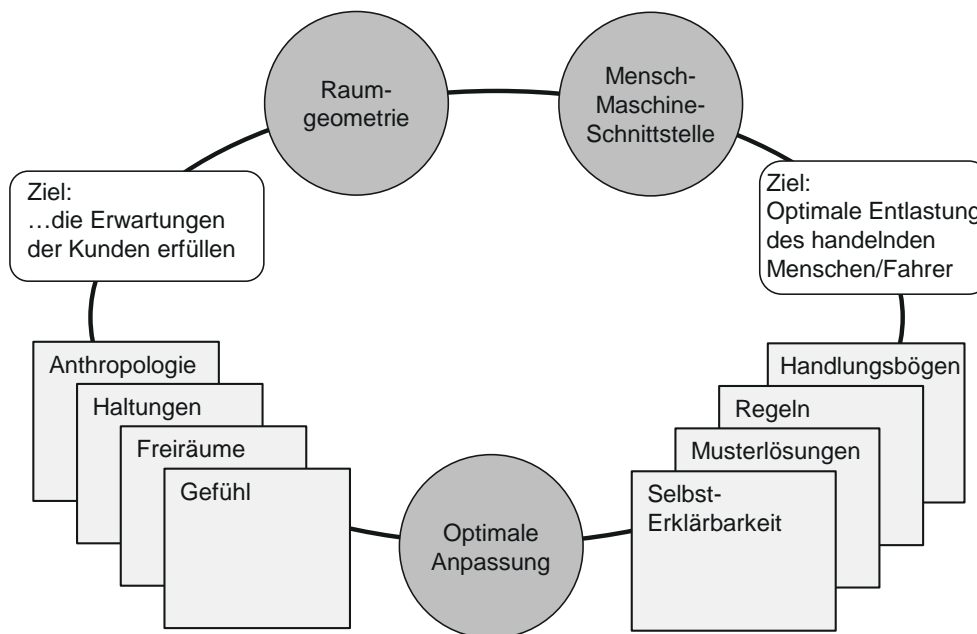
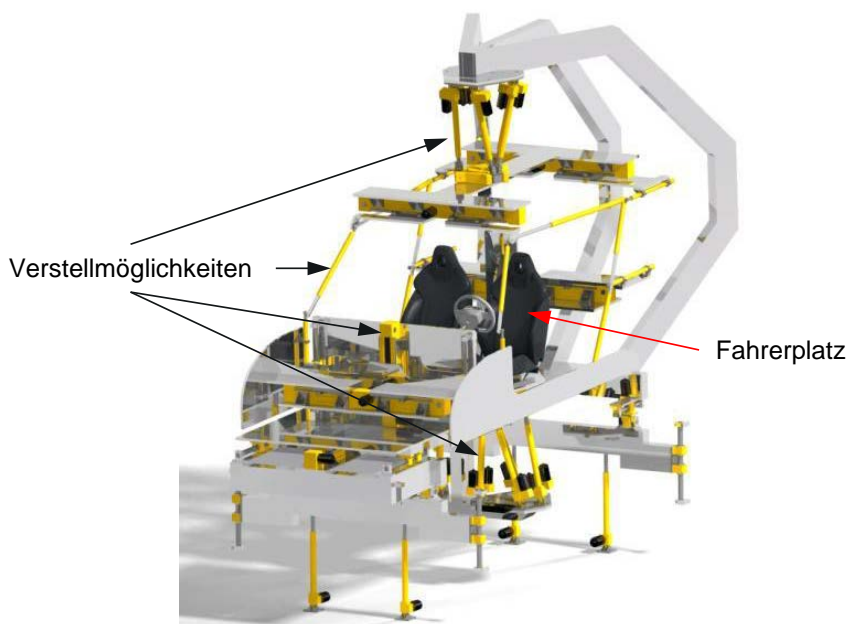


Bild 5.3: Arbeitsweise zur Berücksichtigung ergonomischer Einflüsse, vgl. [2]

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit soll speziell der Bereich Einstieg betrachtet werden.

5.1.2 Bedeutung der Ergonomie während des PEPs

Nach [23] werden in der Regel in der Fahrzeugentwicklung die Ergonomie und der Komfort des Gesamtfahrzeuges mit Hilfe eines Innenraummodells, einer sogenannten Sitzkiste, vermittelt und bewertet. Den Entwicklern erlaubt das Sitzkistenmodell darüber hinaus, vergleichbare Darstellungen von verschiedenen Geometrievarianten über variable Modellaufbauten zu erstellen, die im Rahmen der Konzeptentwicklung angedacht werden. Dazu ermöglichen elektromotorische Verstellungen von Komponenten, dass der Insasse im direkten Vergleich unterschiedliche Raumgeometrien erleben kann um diese subjektiv entsprechend zu beurteilen. Im Bild 5.4 ist ein solches Sitzmodell dargestellt. Die erwähnten Verstellmöglichkeiten (gelb) sind ebenso ersichtlich wie die konzeptionelle Innenraumdarstellung.



Quelle: <http://cdn.x-technik.com/upload/images/65121.jpg>

Bild 5.4: Variable Sitzkiste für die Konzeptentwicklung

Neben der konventionellen Methode, Eindrücke bezüglich Ergonomie und Komfort durch eine Sitzkiste zu vermitteln, kommt seit Mitte der 90er Jahre mehr und mehr spezielle Software zum Einsatz. Dadurch kann der Entwickler bereits während der Konzept- und Entwicklungsphase Aussagen zu den relevanten Punkten der Konzeptvorgaben tätigen. Durch kontinuierliche Weiterentwicklung der Software, getrieben durch die Automobilhersteller selbst, kann das anthropologische Empfinden immer konkreter bewertet werden. Allerdings ist der Entfall einer Sitzkiste noch auf längere Zeit nicht möglich, da das subjektive, menschliche Gefühl letztlich für die Ergonomie entscheidend ist und nur sehr schwer digitalisiert werden kann [2].

Die Ergonomie spielt von Beginn an eine bedeutende Rolle während des Produktentstehungsprozesses. Nach Erber [41] bestehen die Aufgaben der Ergonomie in verschiedenen Phasen aus:

- *der Erstellung von Konzept- und Positionierungsvorgaben für z. B. Schaltung, Kombiinstrumente, Lenkrad und Sitz und*
- *der Untersuchung von z. B. Fußräumen oder Spiegelungen, die das Design überprüfen und Unterstützung für die Konstruktion und Simulation liefern* [41].

Hierzu dient Bild 5.5, das die eingebundene Ergonomie in den Phasen des PEPs der AUDI AG zeigt.

5. Erweiterung der Methodik

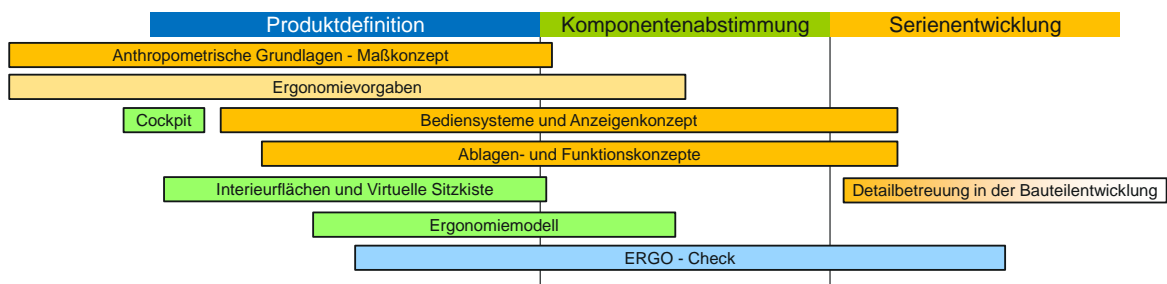


Bild 5.5: Ergonomie im Produktentstehungsprozess der AUDI AG, vgl. [41]

Nach [42] konnte mit Hilfe anthropologischer Beurteilungssoftware bereits während der Entwicklung des Volkswagen Golf VI eine Neupositionierung der Fensterheber-Schalter und somit eine erhebliche Verbesserung bezüglich deren Erreich- und Bedienbarkeit erzielt werden. Im Bild 5.6 ist auf der linken Seite das Vorgängermodell Golf V mit einer deutlich größeren Verschränkung des Handgelenks zu sehen. Im Gegensatz dazu ist im rechten Bild die verbesserte Ausführung dargestellt. Der untersuchte Bereich ist mit einem roten Kreis gekennzeichnet.

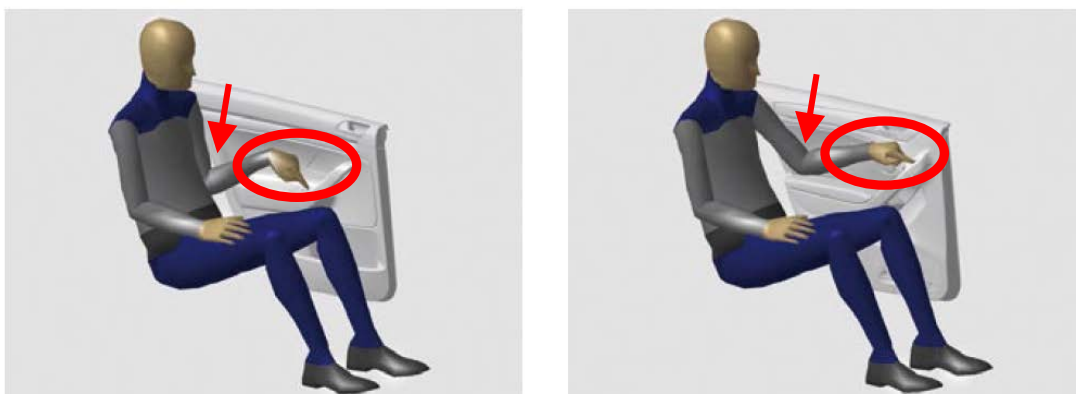


Bild 5.6: Ermöglichte verbesserte Bedienbarkeit durch Einsatz virtueller Software, vgl. [42]

Durch die immer stärkere Einbindung von virtueller Software in den Produktentstehungsprozess werden gleichzeitig auch zu einem früheren Zeitpunkt präzisere und detailliertere Aussagen gefordert. Wie bereits erläutert, bringt jede späte Konzeptänderung kostenintensive Änderungsschleifen mit sich. Daher ist die Einbindung der Simulationssoftware in der frühen Phase am effizientesten. Neben der ergonomischen Beurteilung vorhandener Bewegungsabläufe können mit Hilfe der Simulation die bestehenden Arbeitsabläufe verbessert werden.

Im Folgenden wird nun das rechnergestützte anthropologisch-mathematische System zur Insassen-Simulation „RAMSIS“ näher vorgestellt. Begleitend dazu werden in der Fahrzeugentwicklung auch andere Programme zur ergonomischen Beurteilung von Arbeitsabläufen angewendet, die im Rahmen dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden.

5.1.3 RAMSIS

Das Programm RAMSIS beinhaltet ein drei-dimensionales Menschenmodell zur Auslegung und Analyse von Fahrzeugen [42]. Es entstand durch die verstärkten Anforderungen aus der Automobilindustrie und kam schlussendlich 1996 auf den Markt [34]. Durch die angebotene Schnittstelle, zu den in der Automobilindustrie standardmäßig verwendeten drei-dimensionalen Konstruktionsprogrammen, lässt sich die Einbindung in den PEP problemlos realisieren. Eine detaillierte internationale Körpermaßdatenbank ermöglicht es dem Entwickler für verschiedene Anwendungen das entsprechende Menschmodell (5% Frau bis 95% Mann) zu verwenden. Aus den in Kapitel 3.5.2 beschriebenen Zusammenhängen, die RAMSIS als Grundlage dienen, lassen sich unter Zusatzangabe der geforderten Haltungsrestriktionen, die sich am wahrscheinlichsten ergebenden Körperhaltungen bestimmen. Die Bewertung der eingenommenen Haltung lässt sich mit Hilfe ermittelter Messdaten aus Probandenversuchen problemlos durchführen [34]. Die Bewertung selbst beruht auf dem Maß des Diskomforts. Darunter wird das gegenteilige Befinden des Komforts verstanden, das sich laut Sabbath [43] als durchaus hilfreich bewährt hat. Im Bild 5.7 ist das menschliche Modell, wie es zur Analyse von Bewegungsabläufen eingesetzt wird, am Beispiel der Erreichbarkeitsbewertung der Bedienelemente, dargestellt.

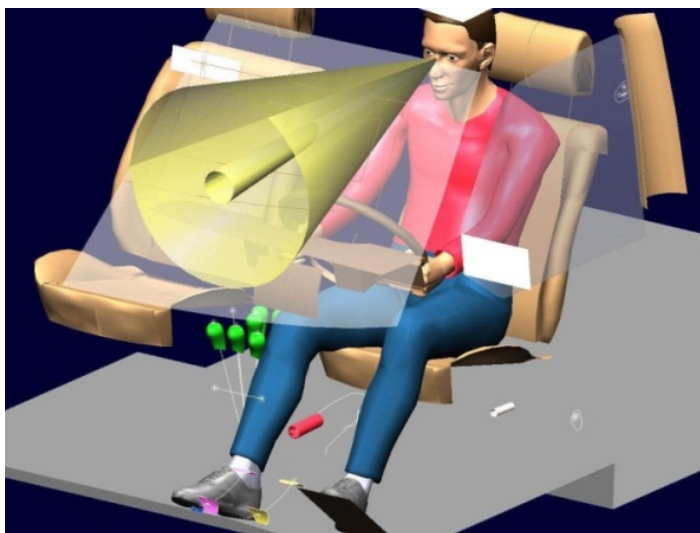


Bild 5.7: RAMSIS-Untersuchung von Bewegungsabläufen im Fahrzeuginnenraum, vgl. [13]

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Programm RAMSIS zur Ermittlung ergonomischer Referenzdaten verwendet. Die genaue Vorgehensweise wird in Kapitel 5.4.4 erklärt.

5.2 Vereinfachte Darstellungen für die frühe Konzeptphase

Die Darstellung eines exakten menschlichen Abbilds (hoher Detaillierungsgrad) ist (deshalb) nicht notwendig, da für die konzeptionelle Betrachtung ein angenähertes (vereinfachtes) Menschenmodell ausreichend genaue Aussagen liefern kann. Zudem kann durch die Reduzierung von Freiheitsgraden die für die Optimierung benötigte Rechenzeit eingespart werden.

In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, dass in der frühen Phase der Konzeptentwicklung weder ein Arbeiten mit exakten menschlichen Abbildungen, noch mit detaillierten Türflanschgeometrien zwingend notwendig ist.

Bei der Wahl der passenden Einstiegsstrategie ist nach einer Häufigkeitsanalyse die am meisten angewendete zu wählen, da eine Komplettbetrachtung aller Szenarien im Rahmen der Diplomarbeit nicht möglich ist.

5.2.1 Geometrische Abbildung des Türflansches

Im Folgenden soll ein Überblick über die geometrische Abbildung des Türflansches für eine konzeptionelle Betrachtung gegeben werden, dessen Geometrie im Rahmen der Methodikerweiterung untersucht wird. Hierzu erfolgt zunächst eine Analyse vorhandener Fahrzeugtüren bzw. -flansche verschiedener Fahrzeugklassen. Daraus soll eine vereinfachte Geometrie abgeleitet werden, die eine hinreichend genaue Aussagekraft zu den ergonomischen Untersuchungen in der frühen Konzeptphase liefert.

Die Anforderungen an die geometrische Abbildung sind neben einer vereinfachten Geometrie auch die Anwendbarkeit der Türflanschabbildungen auf alle Fahrzeugklassen (Bild 5.8). Bei der Betrachtung der verschiedenen Türflanschformen ist erkennbar, dass die Flanschkontur sich sehr stark an der Sitzposition der Insassen orientiert (Bild 5.8). Daraus abgeleitet, lässt sich ein optimales Ein- bzw. Ausstiegsszenario finden: Für eine aufrechte Sitzposition ist ein möglichst hoher, eher schmaler Türflansch notwendig. Für eine sehr flache Sitzposition wird hingegen ein niedrigerer, aber dafür deutlich längerer Türflansch benötigt.

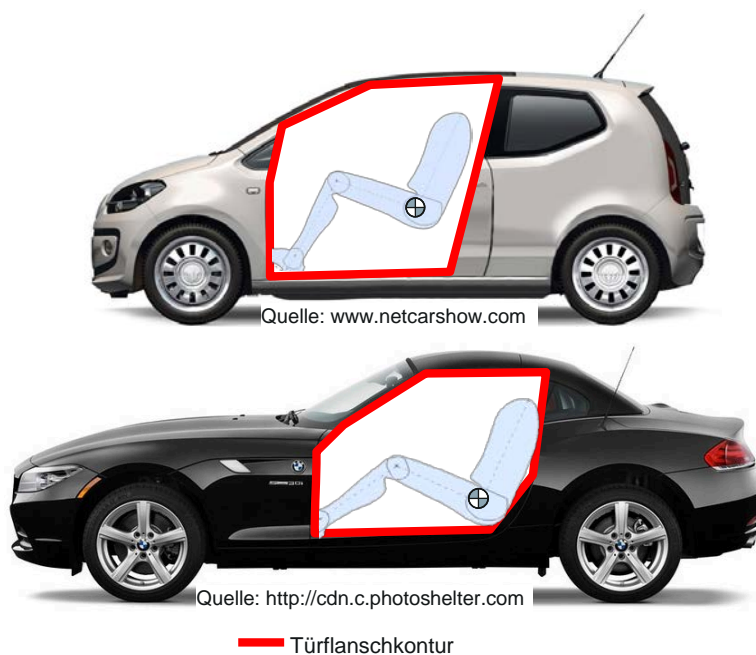


Bild 5.8: Türflanschgeometrie in Relation zur Sitzposition

Obwohl die beiden dargestellten Fahrzeuge im Bild 5.8 eine unterschiedliche Gestaltung der Türflanschgeometrie aufweisen, finden sich dennoch Gemeinsamkeiten in deren Formgebung. Im Bild 5.9 ist erkennbar, dass sowohl die obere als auch die untere Kante sich aus den angrenzenden Karosserieförmungen wie Dach (1) und Unterboden (2) ergeben. Die vordere (3) als auch die hintere (4) Kante sind durch die Sitzplatzposition definiert, wobei die hintere wahlweise geneigt sein kann. Die obere schräge Neigung vorn (5) ergibt sich aus der parallelen Kontur der vorderen Windschutzscheibe.

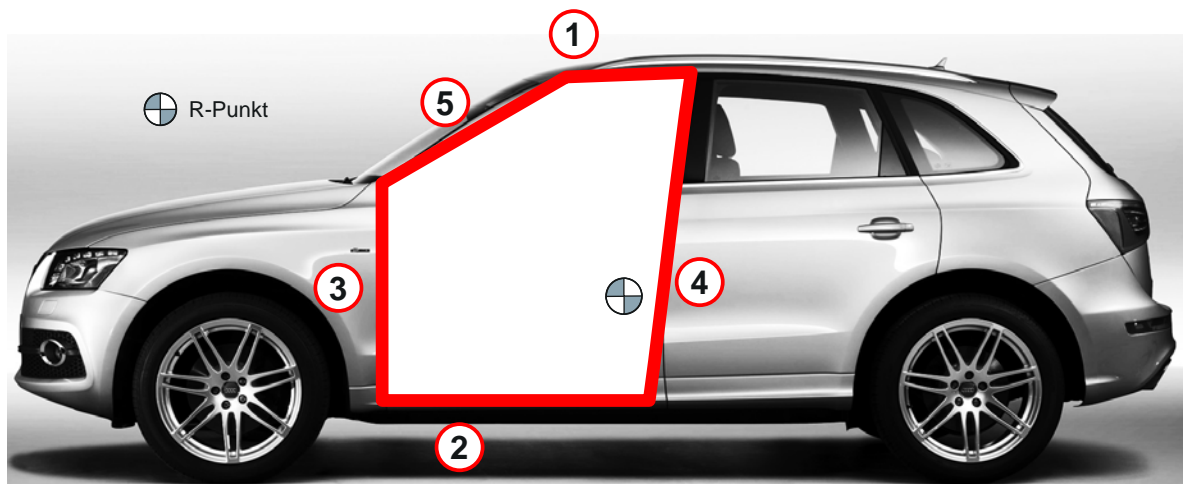


Bild 5.9: Ableitung einer einfachen Türflanschgeometrie für die frühe Konzeptphase,
 Quelle: http://www.ausmotive.com

5. Erweiterung der Methodik

Dadurch resultiert eine vereinfachte Türflanschgeometrie, die für den Konzeptentwurf genügend Aussagekraft aufweist. Der größte Unterschied in der Darstellung einer konzeptionellen gegenüber einem realen Türflansch besteht im Vereinfachen der Geometrie von einer Raumkurve zu einem ebenen fünfeckigen Profil. Die Anforderung, eine vereinfachte Geometrie des Türflansches abzuleiten, ist somit erfüllt. Es zeigt sich, dass, bezugnehmend auf die beiden Fahrzeugklassen im Bild 5.8 und des Fahrzeugs im Bild 5.9, eine ausreichend exakte reale Abbildung der Türflanschgeometrie mit Hilfe einer konzeptionellen Geometrie möglich ist.

Die geometrische Beschreibung bzw. die Anpassung an die entsprechenden Fahrzeugformen ist durch neu generierte Maße möglich. Dabei ist, wie bereits nach GCIE beschrieben, ein Zusammenhang zwischen der Türflanschgeometrie und dem R-Punkt sehr wichtig, da der Türflansch mit der Sitzposition des Fahrers zusammenhängt. Speziell bei der Ermittlung von Abhängigkeiten ist entscheidend, die entsprechenden Konturen durch Maße und Maßketten miteinander zu verbinden. Für die Türflanschgeometrie selbst wurden fünf neue Maße in EVA_OS generiert. Im Bild 5.10 sind diese, gemeinsam mit bereits bestehenden Maßen, skizziert. Damit besteht eine Verbindung zu den bereits vorhandenen Maßketten in EVA_OS.

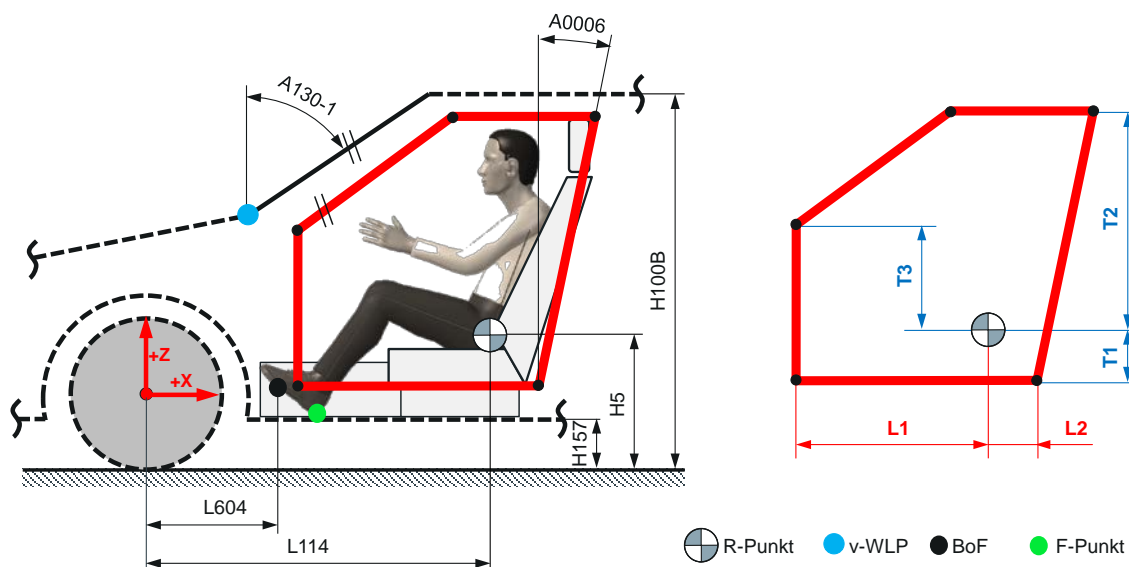


Bild 5.10: Maße und Maßketten der Türflanschgeometrie

Zur besseren Übersicht ist im linken Bild zunächst die allgemeine Positionierung der Flanschgeometrie im Fahrzeug inklusive der infrage kommenden Maße aufgezeigt. Im rechten Bild ist dazu separat die Geometrie (rot) mit den neu generierten Maßen (blau und rot) dargestellt.

5.2.2 Konzeptionelle Vereinfachung des Menschen

Der Mensch besitzt eine hohe Anzahl an Gelenken mit denen er sehr viele unterschiedliche Körperhaltungen einnehmen kann. Zum Beispiel beansprucht er für die Ein- und Ausstiegsbewegung in ein Fahrzeug nahezu alle Körperteile, was sich direkt auf den Komfort auswirkt. Da sich bei der konzeptionellen, ergonomischen Untersuchung des Einstiegsvorgangs die Analyse auf bestimmte Körperhaltungen beschränkt, ist es nicht notwendig, alle Gelenke zu berücksichtigen. In diesem Fall ist eine Vereinfachung des menschlichen Körpers durch ein einfaches Modell vorzuziehen. Bezugnehmend auf die bereits vereinfachte Kontur des Türflansches, ist die Reduzierung der Gelenke auf lediglich sieben im Rahmen der Diplomarbeit möglich, um eine ausreichend genau Aussage zu erhalten. Es handelt sich dabei um das Hüft-, sowie beide Knie- und Fußgelenke (sowohl des linken als auch des rechten Beines). Für die Betrachtung des Einstiegs sind die Bewegungsabläufe der Arme nicht ausschlaggebend und können somit vernachlässigt werden. Allerdings dienen die Arme zum besseren Verständnis der eingenommenen Körperhaltungen. Im Bild 5.11 ist die im Zuge der vorliegenden Arbeit vorgenommene Vereinfachung des menschlichen Körpers in einem Modell dargestellt.

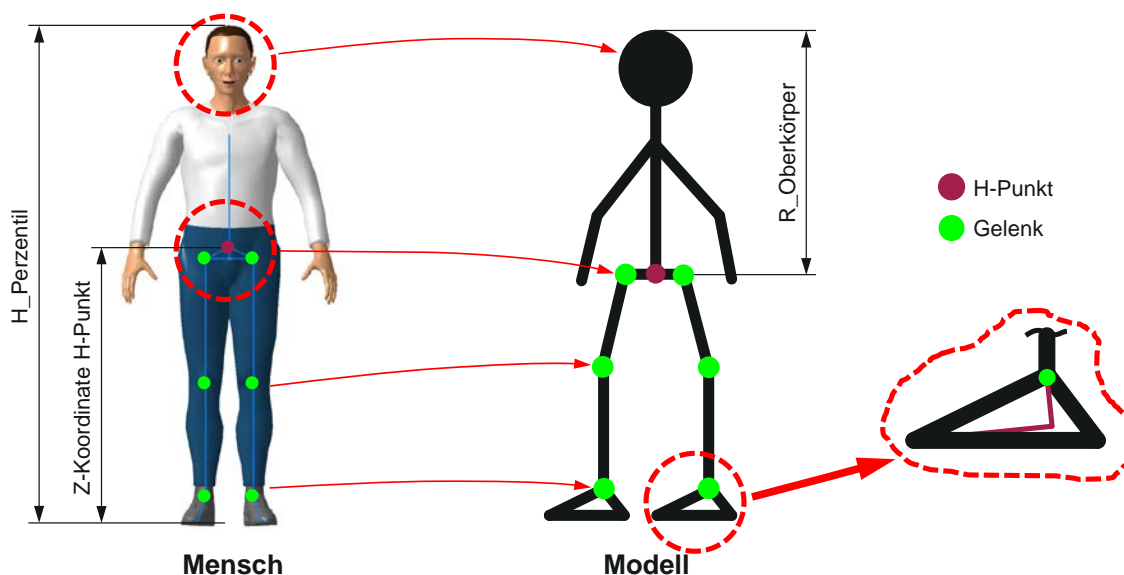


Bild 5.11: Vereinfachung der Gelenksanzahlen vom Menschen zum Modell

Die einzelnen Körpermaße stammen vom männlichen 95%-Perzentil. Es handelt sich im Detail um die Längen der Ober- und Unterschenkel, sowie die Maße des Oberkörpers mit Kopf, wobei deren exakten Maße aus [27] zu entnehmen sind.

5.2.3 Unterschiedliche Einstiegsszenarien

Als nächstes ist die Untersuchung der infrage kommenden Einstiegsszenarien durchzuführen. Zu diesem Zweck werden die in der Literatur erwähnten Einstiegsszenarien dargestellt und hinsichtlich kritischer Bereiche analysiert. In den nächsten vier Abschnitten sind dazu die vier häufigsten Szenarien aufgeführt und kurz erklärt. Dazu dienen unter anderem jeweils sechs Abbildungen zur grafischen Darstellung des Weg-Zeit-Verlaufs. In der Erklärung wird speziell auf die markanten Besonderheiten eingegangen. Die Vorlagen dafür stammen aus einer, am Lehrstuhl für Ergonomie an der TU München, verfassten Dissertation von Stefan Riegel [44]. Die Erkenntnisse bauen auf unterschiedliche Ein- und Ausstiegsbewegungen von Probanden auf. Daraus lassen sich folgende vier Szenarien ableiten [44]:

- „Schlüpf“-Strategie
- „Fädel“-Strategie
- „Plumps“-Strategie
- „Hürden“-Strategie

Wie anfangs bereits erwähnt, zählt der Einstieg in ein Fahrzeug zu einem der wichtigsten Entscheidungskriterien beim Autokauf. Aus diesem Grund wird für die Betrachtung ein männlicher 95%-Perzentil herangezogen, da die Ergebnisse, bei dessen komfortablem Einstieg, auch auf kleinere Menschen übertragen werden können.

An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass für diese ergonomische Untersuchung auf einen konventionellen Türflansch bzw. ein Türkonzept zurückgegriffen wird. Eine Betrachtung von neuartigen Türrahmen und dem dazugehörigen Einstiegsverhalten ist für den Rahmen einer Diplomarbeit zu komplex, bietet aber Potential für zukünftige Arbeiten.

„Schlüpf“-Strategie

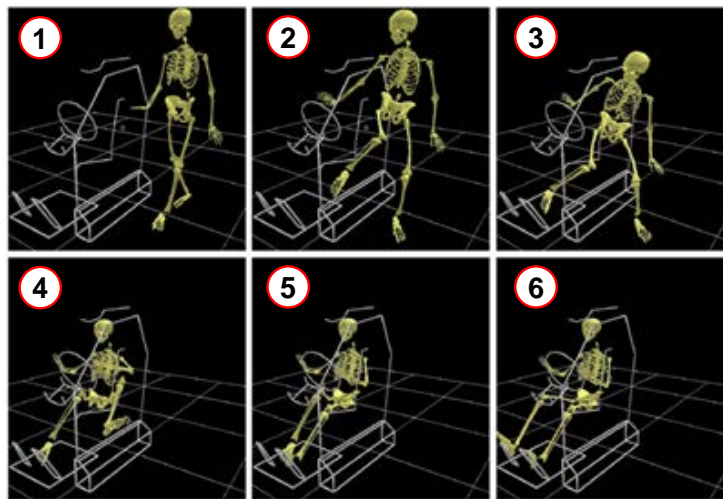


Bild 5.12: „Schlüpf“-Strategie, vgl. [44]

Bei der „Schlüpf“-Strategie wird beim Einstiegsvorgang zunächst das rechte Bein ins Fahrzeug gehoben (2), wobei das rechte Knie vorerst auf der linken Seite des Lenkrads bzw. der Lenksäulenverkleidung verbleibt (3). Nach dem Absenken des Rumpfs auf den Sitz wird nun das linke Bein ins Fahrzeug gehoben (4). Zeitgleich wird das rechte Knie unter dem Lenkrad bzw. der Lenksäulenverkleidung hindurchbewegt (5) und der rechte Fuß auf das Fahrpedal gestellt (6), vgl. [44].

„Fädel“-Strategie

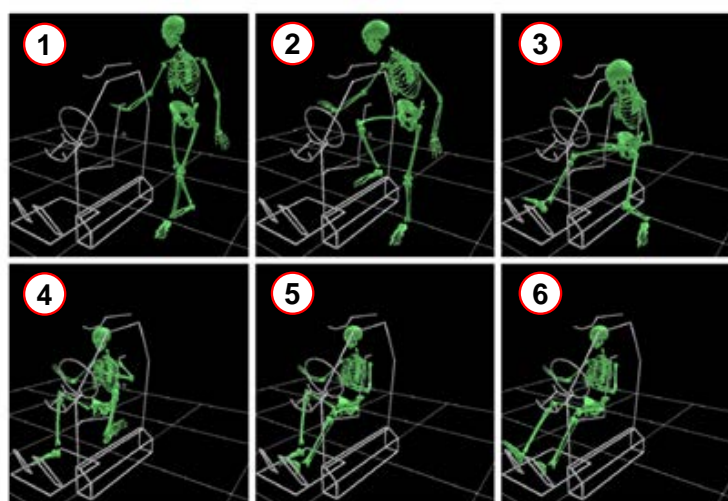


Bild 5.13: „Fädel“-Strategie, vgl. [44]

5. Erweiterung der Methodik

Ein „Fädler“ hebt ebenfalls zuerst den rechten Fuß ins Fahrzeug (2). Dabei wird das rechte Knie nach außen gedreht (3), so dass es sofort unter dem Lenkrad „durchgefädelt“ werden kann. Der rechte Fuß steht somit bereits auf bzw. vor dem Fahrpedal, bevor der Rumpf vollständig auf den Sitz abgesenkt worden ist. Der Bewegungsvorgang wird mit dem Heben des linken Beins ins Fahrzeug abgeschlossen (4), vgl. [44].

„Plumps“-Strategie

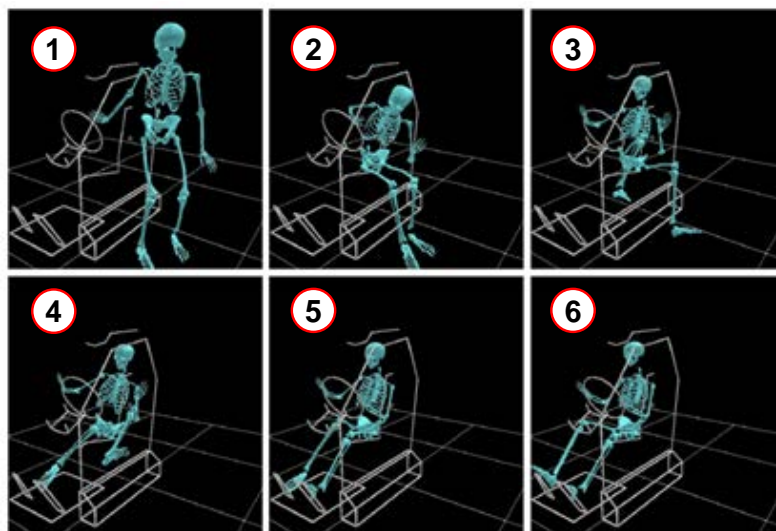


Bild 5.14: „Plumps“-Strategie, vgl. [44]

Im Gegensatz zu den ersten beiden Strategien wird bei der „Plumps“-Strategie als erstes der Rumpf auf den Sitz abgesenkt. Dazu steht die Person zunächst rückwärtig zum Sitz und neigt beim Absenken den Rumpf nach vorne (2). Sitzend werden zuletzt beide Beine (3) ins Fahrzeug gehoben und das rechte Knie unter dem Lenkrad hindurchbewegt (4), vgl. [44].

„Hürden“-Strategie

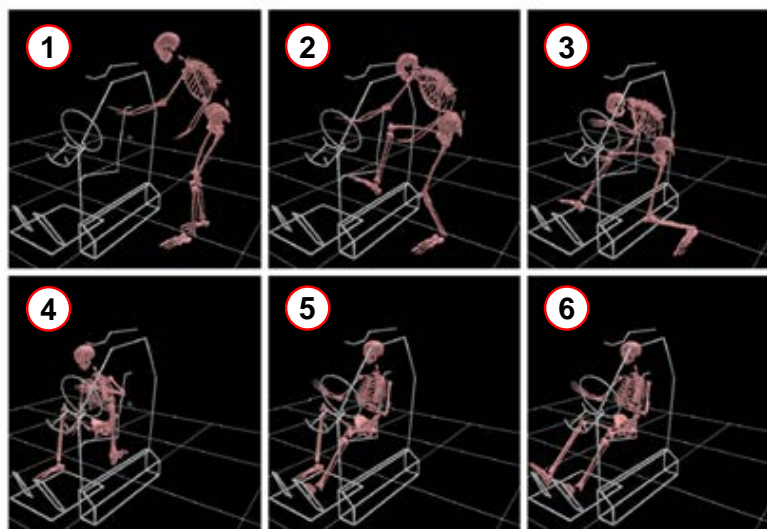


Bild 5.15: „Hürden“-Strategie, vgl. [44]

Bei der vierten Variante, der „Hürden“-Strategie, bewegt sich die Person ähnlich einem Hürdenspringer mit dem Kopf voraus in das Fahrzeug(2), wobei der rechte Fuß gleichzeitig am Lenkrad vorbei in Richtung Fahrpedal gesetzt wird (3). Der Rumpf wird mit der linken Hand am Lenkrad, mit der rechten auf der Mittelkonsole oder dem Sitz stabilisiert (4). Anschließend wird das Becken durch eine Drehbewegung über den Sitz geschwenkt und dann abgesenkt. Nachdem der linke Fuß in das Fahrzeug gehoben wurde (5), ist der Einstiegsvorgang beendet, vgl. [44].

5.2.4 Zusammenfassung der Einstiegszenarien

Nach [44] ist die mit Abstand am häufigsten angewendete Strategie der aufgezählten Einstiegsvarianten die „Schlüpf“-Strategie. Sie findet bei ca. 70% der Männer und knapp 97% der Frauen Anwendung. Die Wahl der Einstiegsmethode ist zudem auch körpergrößenabhängig. Bei Männern beispielsweise nimmt der Anteil der „Schlüpf“-Strategie mit wachsender Körpergröße eher ab.

Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die Betrachtung von nur einer Einstiegsvariante ausreichend ist. Die Entscheidung fällt somit eindeutig auf die „Schlüpf“-Strategie.

5.3 Konzeptionelle Betrachtung der Einstiegsbewegung

Die Darstellung der einzelnen Einstiegszenarien gibt einen Einblick in die Komplexität der menschlichen Bewegung während des Ein- und Ausstiegs. Diese so exakt wie möglich abzubilden, ist Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte der Automobilhersteller. Generelles Ziel ist es, durch die gewonnenen Daten Bewegungsabläufe zu simulieren, um

bereits während der Entwicklung auf mögliche unkomfortable Körperhaltungen mittels virtueller Technik aufmerksam gemacht zu werden, vgl. [43].

Für die konzeptionelle Untersuchung des Einstiegs ist nicht zwingend notwendig, eine detaillierte Untersuchung des Einstiegsvorgangs durchzuführen. Zum Einen bringt jede ergonomische Analyse eines Konzeptvorschlages mit Hilfe von RAMSIS einen erheblichen zeitlichen Aufwand mit sich, zum Anderen ist der Detaillierungsgrad der vorhandenen Geometrie sehr grob gehalten und dadurch, bezogen auf kritische Körperhaltungen, eher ungeeignet. Zielführender wäre es beispielsweise nur markante Bereiche, sogenannte Schlüsselstellen, die während des Einstiegs durchlaufen werden, zu betrachten und anhand dieser eine Beurteilung abzugeben. Im Rahmen des nächsten Kapitels soll die Darstellung der markanten Stellen erfolgen.

5.3.1 Markante Bereiche am Türflansch

Bei genauerer Betrachtung des Türflansches wird ersichtlich, dass nicht alle Bereiche beim Einstieg problematisch sind bzw. im direkten Zusammenhang mit dem Türflansch stehen. Dazu ist im Bild 5.16 ein entsprechender Türflansch dargestellt.

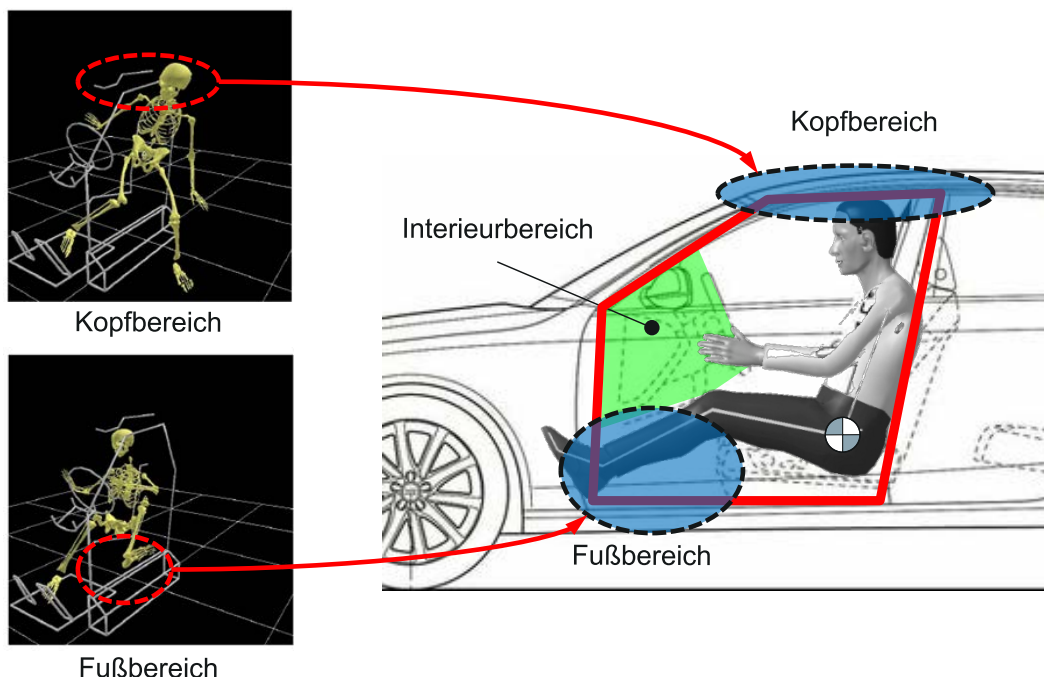


Bild 5.16: Markante Bereiche im Türflansch nach [44]

Der grün gekennzeichnete Interieurbereich verdeckt zum Teil den Türflansch. Dieser beinhaltet neben der I-Tafel (Instrumententafel) auch das Lenkrad. Somit entfällt ein erster Bereich, der mit der Untersuchung nicht analysiert werden kann. Das Lenkrad bzw. die I-Tafel beeinflussen zwar den Einstiegsvorgang, werden aber im Rahmen dieser

konzeptionellen Betrachtung nicht berücksichtigt. Die beiden linken Bilder zeigen die markanten Bereiche im Türflansch, die im rechten Bild blau gekennzeichnet sind. Die Person setzt zuerst den rechten Fuß in den Fußraum und senkt anschließend die Hüfte und den Oberkörper in Richtung der äußeren Sitzkante ab. Um leichter in das Fahrzeug zu gelangen, wird der Rumpf leicht nach vorne geneigt in den Fahrzeuginnenraum gedreht. Zum Schluss wird der linke Fuß in das Fahrzeug nachgezogen. Eine detailliertere Beschreibung, wie die einzelnen Bereiche in die Untersuchungen einfließen, erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

Im nächsten Schritt folgt zunächst die Definition der Ziele, die im Rahmen einer Optimierung erreicht werden sollen.

5.3.2 Hintergrund einer Optimierung

Im Falle einer Optimierung müssen zwangsläufig mehrere Kriterien berücksichtigt werden („multi-objective“). Die Optimierung der Türflanschgeometrie erfolgt über den gleichen genetischen Algorithmus wie er bereits beim Konzeptwerkzeug EVA_OS im Einsatz ist (GAnetXL). Durch das Hinzufügen weiterer Optimierungskriterien zu dem in [7] gezeigten Ansatz stellen sich die Ergebnisse als eine pareto-optimale Fläche dar. Zur Bestimmung einer solchen Fläche ist auf den Non-dominated Sorting Generic Algorithm II (NSGA) zurückgegriffen worden [45]. Wie die Bezeichnung schon andeutet, werden bei der Fortpflanzung der Chromosomen jene bevorzugt, die nicht von anderen dominiert werden, d.h. auf der pareto-optimalen Front liegen [7].

Durch die steigende Anzahl an zu optimierenden Kriterien steigt auch gleichzeitig der Rechenaufwand proportional an. Demzufolge ist gezielt darauf zu achten, die Anzahl so gering wie möglich zu halten. Im Falle der Methodikerweiterung ist jedoch mit einer Zunahme von weiteren Kriterien zu rechnen. Eine Lösung für diese Problematik wäre, alle neu hinzukommenden Kriterien im Rahmen der Erweiterung zu einem übergeordneten Kriterium, dem sogenannten „Ergonomie-Index“, zusammenzufassen. Daraus ergibt sich zum Einen der Vorteil, dass sich die Optimierungszeit nur minimal verschlechtert, zum Anderen können die Kriterien in einem drei-dimensionalen Koordinatensystem als Pareto-Fläche dargestellt werden. Der detaillierte Aufbau des dritten Optimierungskriteriums wird im nächsten Kapitel beschrieben, woraus hervorgeht, dass sich die multi-objektive Optimierung in jedem Fall zumindest um ein Kriterium erweitern müsste.

Im Bild 5.17 ist dazu in der linken Abbildung eine Pareto-Front mit zwei Kriterien dargestellt (2D Pareto-Front). Die Achsen eins und zwei stellen mögliche Optimierungskriterien dar, wie beispielsweise die Reichweite und den erforderlichen Energiebedarf [7]. Das Optimierungsziel ist in diesem Fall eine Minimierung des Energieverbrauchs bei gleichzeitiger Maximierung der Reichweite. In der rechten Abbildung ist zusätzlich die, für die Arbeit vorgesehene Achse der Optimierung (Ergonomie), eingezeichnet (3D Pareto-Fläche).

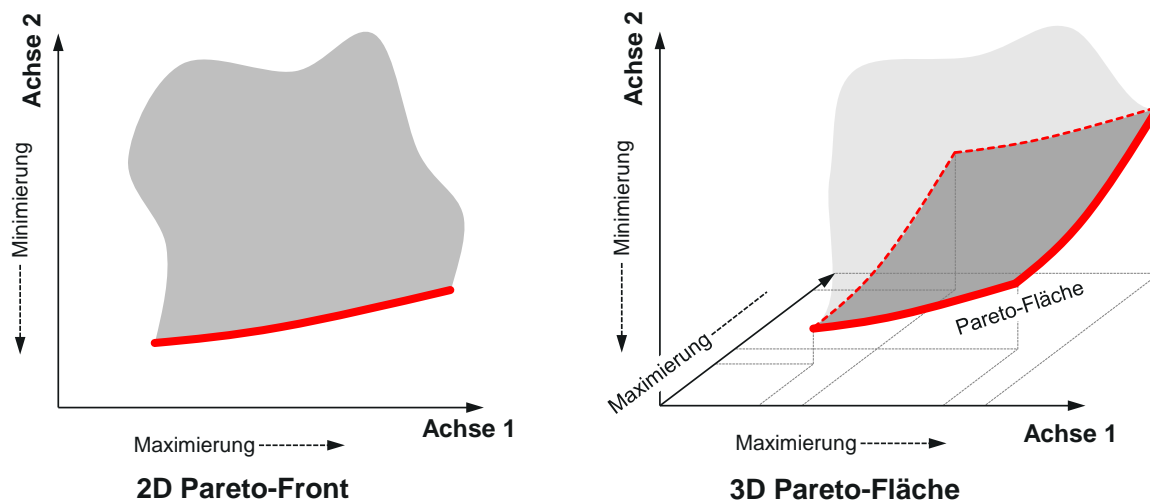


Bild 5.17: Ebener und räumlicher Pareto-optimaler Lösungsraum

Diese dritte Achse steht repräsentativ für den Ergonomie-Index, dessen Optimierungsziel ein Maximum darstellt. Im Rahmen des nächsten Kapitels wird der Index genauer beschrieben. Das angestrebte Gesamtziel der Optimierung ist ein Fahrzeugkonzept, das neben hoher Reichweite und niedrigen Energieverbrauch gleichzeitig auch einen hohen Komfort hinsichtlich des Einstiegverhaltens aufweist.

5.4 Der „Ergonomie-Index“

In diesem Kapitel wird erläutert, aus welchen Teilkriterien der Ergonomie-Index zusammengesetzt ist.

Der Ergonomie-Index soll im Zuge der Methodikerweiterung ein zusätzlich zu optimierendes Kriterium darstellen. Dabei bezieht er sich auf untergliederte Einzelkriterien, um die Anzahl an Zielkonflikten bei der Optimierung so gering wie möglich zu halten. Damit eine Vergleichbarkeit der Teilbewertungen möglich ist, muss eine Transformation in Form einer Normierung erfolgen. Mit Hilfe der Normierung wird ein beschränkter Wertebereich, bestehend aus dem Intervall $A = [A_{\min}, A_{\max}]$, in das Einheitsintervall $[0, 1]$ umgewandelt. Im Fall der ergonomischen Beurteilung des Einstiegvorganges stammen diese Beschränkungen aus technischen Ergonomie-Maßen. Dabei wird, entsprechend der Vorgabe, beispielsweise dem kleinsten Skalenwert die Ziffer 0 und dem größten Skalenwert die 1 zugeordnet. Alle Normierungen werden anschließend mit einem, vom Entwickler festgelegten, prozentualen Gewichtungsfaktor versehen. Dadurch können bestimmte Teilkriterien stärker bzw. schwächer in den Ergonomie-Index einfließen. Im Rahmen dieser Arbeit wird zunächst von einer Gleichverteilung ausgegangen, was beispielsweise bei drei Teilkriterien einem jeweiligen prozentualen Gewichtungsfaktor von 33,3% entspricht. Bei der Normierung ist hinzuzufügen, dass im Falle einer

Unterschreitung der normierten Bewertung von 0,4 sowohl bei den Teilkriterien als auch beim Ergonomie-Index, die Gesamtbeurteilung auf null gesetzt wird und das optimierte Fahrzeugkonzept ungültig wird. Dies hat den Grund, dass einerseits durch die Normierung der Teilkriterien selbst keine schlechte Bewertung in den Ergonomie-Index einfließt, andererseits dem Optimierungsziel, eines hohen Ergonomie-Indexes Rechnung getragen wird.

Bei der Untergliederung ist zusätzlich darauf zu achten, dass nicht verschiedene Einzelkriterien in die Normierung einfließen, da sonst keine detaillierten Aussagen oder entsprechende ergonomische Beurteilungen über deren Einflüsse möglich sind.

Mit Hilfe der beiden gekennzeichneten Bereiche im Bild 5.16 lassen sich bereits zwei Teilkriterien beschreiben (Kopfüberhang beim Einstieg und Grenzwinkel der Beingelenke). Eine große Rolle spielt dabei auch die vertikale Positionierung der Türflanschgeometrie als dritter zu untersuchender Bereich (Koordinatenänderung H-Punkt). Eine detailliertere Beschreibung dazu erfolgt im nächsten Unterkapitel. Rahmen der Methodikerweiterung wird auf einen Kompromiss von drei Teilgewichtungen, bezogen auf den Ergonomie-Index, eingegangen, die wie folgt lauten:

- *Koordinatenänderung H-Punkt*
- *Kopfüberhang beim Einstieg*
- *Grenzwinkel der Beingelenke*

Bei der Beschreibung jedes einzelnen Teilkriteriums wird dieselbe Gliederungsform verwendet. Dazu erfolgen zunächst die genaue Definition der vorliegenden Problematik und eine grobe Beschreibung des geplanten Optimierungsansatzes. Im Anschluss folgt eine detaillierte Darstellung des Lösungsvorschlags, bevor letztlich mit Hilfe einer Validierung die Überprüfung des gewählten theoretischen Ansatzes hinsichtlich dessen Korrektheit stattfindet. Alle Ergebnisse der Teilkriterien sollen mit Hilfe der erwähnten Normierung vergleichbar gemacht werden.

Zum besseren Verständnis werden einzelne Erklärungen zusätzlich durch entsprechende Darstellungen ergänzt.

5.4.1 Koordinatenänderung H-Punkt

Die Koordinatenänderung des H-Punktes beschreibt das vertikale Differenzmaß ΔH zwischen einer stehenden und einer sitzenden Person im Fahrzeug bezogen auf die H-Punkt-Koordinate. Der Zusammenhang ist im nächsten Bild (Bild 5.18) ersichtlich.

Die Problematik spiegelt sich beispielsweise bei älteren bzw. körperlich beeinträchtigten Personen wider und tritt dort vermehrt bei kräfteaufwändigen Bewegungen, wie dem Bücken oder dem "in die Hocke gehen" auf. Daraus folgt, dass tiefere Sitzpositionen (kleines H5 Maß), unter Berücksichtigung der beschriebenen Bewegungsproblematik, für diese Personengruppe, sehr unvorteilhaft sind. Ältere Personen tendieren somit vermehrt

zum Kauf von Fahrzeugen mit einer höherliegenden Sitzposition (z.B. MPV). Dies belegen ebenfalls die Erfahrungen von Schalberger [46].

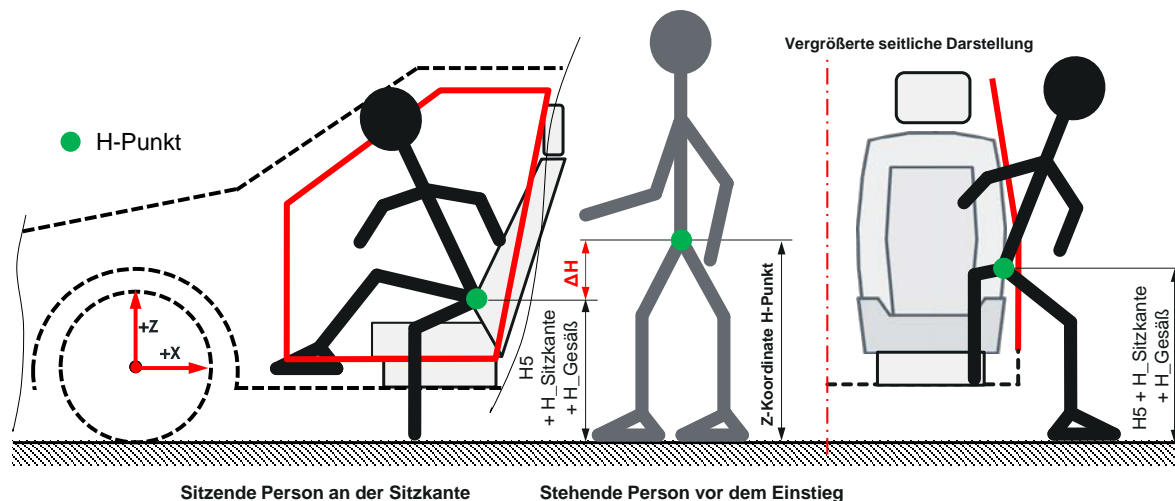


Bild 5.18: Definition der Koordinatenänderung H-Punkt

Problemstellung

Bei genauerer Betrachtung des Einstiegsvorgangs wird ersichtlich, dass ein komfortabler Einstieg weder eine zu tiefe, noch eine zu hohe Sitzposition (H_5) aufweisen darf. Bei einer zu tiefen Sitzposition ($H_5 < Z$ -Koordinate H-Punkt der stehenden Person) ergibt sich beim Einstieg ins Fahrzeug ein „Hineinfallen“ in den Sitz. Einerseits kann dies als Vorteil angesehen werden, da keine zusätzlichen Kräfte zum Einstieg benötigt werden, andererseits entsteht gleichzeitig ein Nachteil durch die Erschwernis beim Ausstieg, was den angesprochenen Vorteil wieder kompensiert. Im Falle des Einstiegs in ein Fahrzeug mit erhöhter Sitzposition ($H_5 > Z$ -Koordinate H-Punkt der stehenden Person) verhält es sich, bezogen auf die angesprochenen Vor- bzw. Nachteile, genau umgekehrt.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird konkret nur der Einstiegsvorgang untersucht.

Zielkonflikt

Aus der beschriebenen Problemstellung der beiden extremen Sitzpositionen lässt sich kein konkretes bzw. optimales Ergebnis ableiten. Eine höhere Sitzposition beeinflusst die Aspekte (Reichweite und Verbrauch) negativ, da die Gesamtfahrzeughöhe und darüber hinaus der Fahrwiderstand vergrößert werden. Dies hat einen direkten Einfluss auf den Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch des Fahrzeugs. Bei einer niedrigeren Sitzposition ist die Fahrzeuggesamthöhe und der zwangsweise damit verbundene Energieverbrauch zwar geringer, jedoch ist damit kein optimaler Einstiegsvorgang realisierbar ($H_5 <$). Somit ergibt

sich ein Zielkonflikt im Teilkriterium aus den genannten Vor- bzw. Nachteilen einer jeweils höheren gegenüber einer tieferen Sitzposition.

Lösungsvorschlag

Ein denkbarer Lösungsweg der Optimierung ist eine Minimierung des Maßes ΔH , wobei dazu im ersten Schritt eine Verbindung zu den bestehenden Maßen bzw. Maßketten hergestellt werden muss. Anschließend wird eine entsprechende Formulierung mit Hilfe einer mathematischen Beschreibung der zu optimierenden bzw. standardisierten Maße aufgestellt.

$$\Delta H = Z\text{-Koordinate H-Punkt} - H_5 - H_{\text{Sitzkante}} - H_{\text{Gesäß}} \quad \text{Formel 5-1}$$

Als einziges optimiertes Maß aus EVA_OS fließt an dieser Stelle das Maß H_5 in die Berechnung mit ein. Sowohl das Maß $H_{\text{Gesäß}}$, als auch die Z-Koordinate des H-Punktes vom männlichen 95%-Perzentil, sind in dieser Untersuchung konstante Maße. Daraus folgt, dass einzig das sich iterativ ändernde Maß H_5 eine Variable in der Gleichung darstellt. Da die Sitzkantenhöhe des Fahrersitzes ($H_{\text{Sitzkante}}$) von Sitz zu Sitz unterschiedlich ist, kann die Größe vom Entwickler vor dem Optimierungsstart definiert werden. Der Grund, warum das Maß $H_{\text{Sitzkante}}$ in die Berechnung einfließt, resultiert aus folgender Überlegung: Würde das Differenzmaß ΔH sich, anstatt auf die Sitzkantenhöhe, auf den R-Punkt des Fahrers beziehen, müsste bei einem angestrebten Differenzmaß $\Delta H = 0$ mm der Fahrer die Sitzkante überwinden. Dies widerspricht zum Einen dem Anspruch an einen komfortablen Einstieg, erklärt aber zum Anderen die Erweiterung um das Maß $H_{\text{Sitzkante}}$.

Aufgrund der Tatsache, dass sich sowohl eine höhere ($\Delta H < 0$), als auch ein tiefere Einstiegssituation ($\Delta H > 0$) aus der Optimierung ergeben kann, muss demnach eine richtungsabhängige Bewertung erfolgen. Dazu ist anzumerken, dass einige Menschen den etwas erhöhten, andere wiederum den etwas vertieften Einstiegsvorgang als komfortabler ansehen, woraus sich nicht explizit ein ergonomischeres bzw. komfortables Maß als Optimum ableiten lässt. Im Bild 5.19 ist die beschriebene Problematik dargestellt, wobei auf der linken Seite ein Einstieg nach unten und auf der rechten Seite ein Einstieg nach oben abgebildet ist.

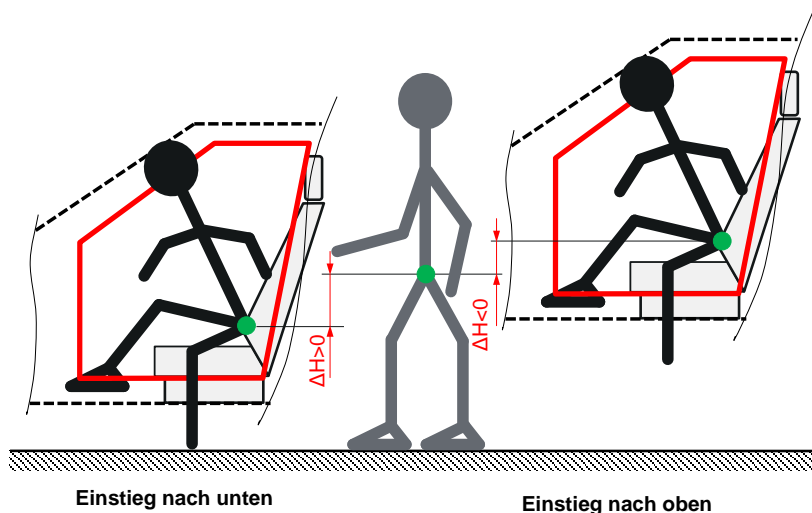


Bild 5.19: Höhere und tiefere Einstiegsituation

Vielmehr leitet sich aus dieser Darstellung ein optimaler Wertebereich ab, innerhalb dieser Grenzen sich das Differenzmaß ΔH , für eine normierte Beurteilung von eins befinden muss (ergonomischer Bereich). Aus der Tatsache, dass für den in dieser Arbeit zu berücksichtigten Einstiegsvorgang ein Differenzmaß $\Delta H < 0$ anzustreben ist, resultiert daraus eine Definition von zwei unterschiedlichen Grenzwerten (Koordinatenrichtungsabhängig). Beim Verlassen der Grenzen und einer damit verbundenen Vergrößerung (sowohl in positiver als auch negativer Koordinatenrichtung) des Differenzmaßes ΔH , erfolgt eine entsprechende Verschlechterung der ergonomischen Beurteilung in Form. Dies erfolgt über eine hinterlegte Rampenfunktion, die die normierte Beurteilung sukzessive herabstuft. Diese verschlechtert die Beurteilung, je näher das Maß ΔH dem zweiten Grenzwert kommt. Bei Überschreitung dieses Grenzwertes, wird die normierte Bewertung automatisch auf null gesetzt. Das bedeutet wiederum, dass das Fahrzeugkonzept ungültig ist und der Optimierungsdurchlauf erneut startet.

Im Bild 5.20 ist dazu die normierte Bewertung des Differenzmaßes ΔH mit den beiden Grenzwerten dargestellt.

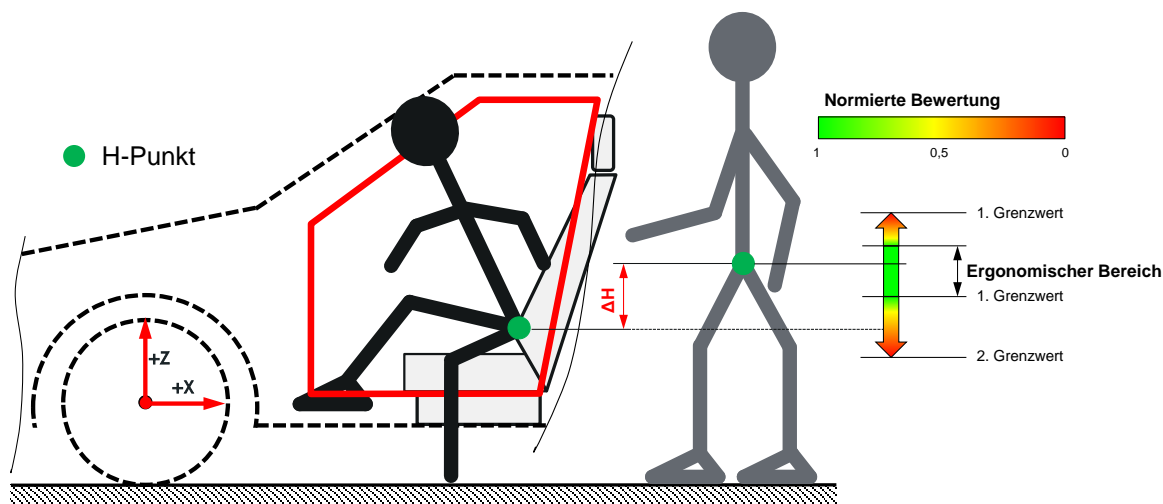


Bild 5.20: Lösungsvorschlag zur Beurteilung der H-Punkt Koordinatenänderung mit Hilfe des Differenzmaßes ΔH

Im nächsten Schritt soll die Plausibilisierung der Grenzwerte erfolgen. Damit lässt sich die Korrektheit der gewählten Zahlenwerte hinsichtlich der geforderten Ergonomie und des gewünschten Komforts überprüfen.

Plausibilisierung

Eine Plausibilisierung der beiden Grenzwerte mit Hilfe von ergonomischen Vergleichswerten ist in diesem Fall nicht möglich, da die dafür benötigten, ergonomischen Referenzwerte fehlen. Aus diesem Grund sind GCIE-Pläne von sich am Markt befindlichen Referenzfahrzeugen des A0-Fahrzeugsegments hinsichtlich der Fahrersitzkantenhöhe vermessen worden, um entsprechende Grenzwerte für die Beurteilung zu ermitteln. Die geforderten Grenzwerte können zudem mit Hilfe von aufwändigen Probandenversuchen ermittelt und nachträglich als Grenzen gesetzt werden.

Mit der Koordinatenänderung des H-Punktes ist die Z-Position des Türflansches am Fahrzeug über dem Bezug zum R-Punkt positioniert worden. Die beiden nachfolgenden Teilkriterien beschäftigen sich speziell mit den Türflanschabmessungen.

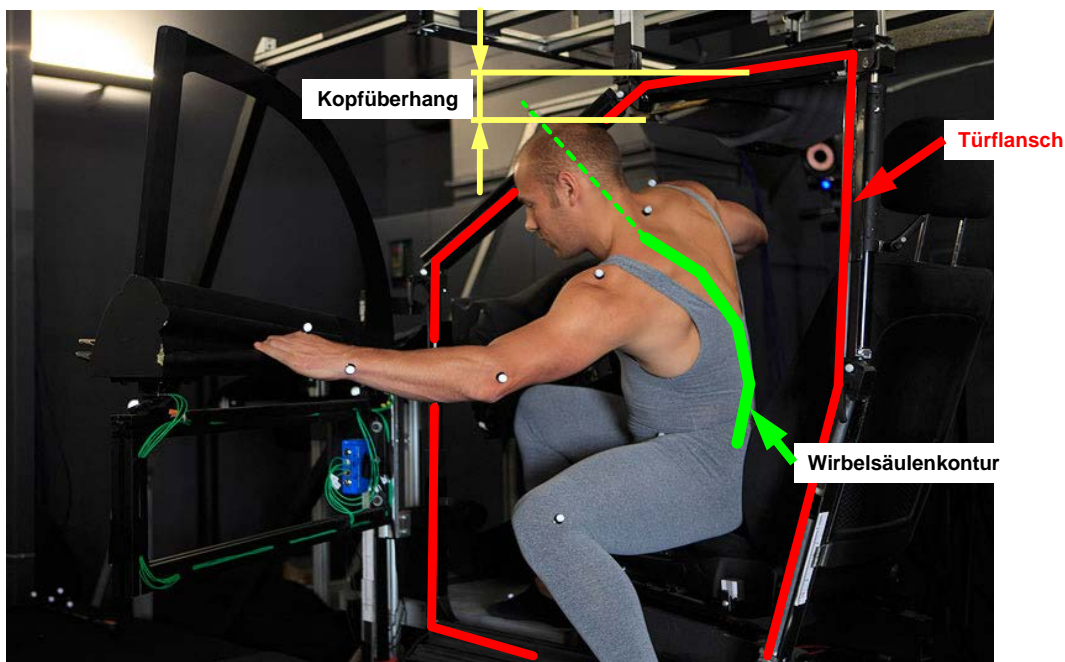
5.4.2 Kopfüberhang beim Einstieg

In diesem Teilkriterium wird auf die ergonomische Betrachtung der Hals-, Nacken- bzw. Wirbelsäulenverkrümmung während des Einstiegvorgangs eingegangen.

Problemstellung

Die Bedeutung dieser Untersuchung wurde bereits in Kapitel 5.3.1 ersichtlich, in dem der Kopfbereich aus dem Bewegungsablauf der „Schlüpf“-Strategie abgeleitet und als kritische Engstelle zwischen Kopf- bzw. Nackenbereich und Türflansch erkannt wurde. Laut Sabbah

[43] ist speziell die Kopfstoßgefahr, bei älteren Menschen, sehr hoch, da die Gelenkigkeit mit dem Alter abnimmt und sich dies besonders im Torso- und Nackenbereich hinsichtlich der Lateralflexion zeigt. Diese Art der Bewegung (Krümmung der Wirbelsäule) erfolgt speziell beim Ein- und Ausstieg. Das Bild 5.21 zeigt den Vorgang der Wirbelsäulenkrümmung anhand eines Mannes beim Einstiegsvorgang in ein Fahrzeug. Dabei ist die Kontur des Türflansches in rot und die Wirbelsäulenkrümmung des Probanden durch eine grüne Kontur gekennzeichnet. Die Verkrümmung der Wirbelsäule ist deutlich während der in Oberkörperdrehung in das Fahrzeug erkennbar.



Quelle: www.7-forum.com/news/Das-Mass-aller-Dinge-der-Mensch-4241.html

Bild 5.21: Gekrümmte Haltung des Oberkörpers während des Einstiegsvorgangs

Zielkonflikt

Die Beschreibung des Zielkonflikts verhält sich für dieses Teilkriterium ähnlich wie bei dem vorherigen. Um einen bequemen Einstieg selbst für große Menschen zu gewährleisten, muss das Maß T2, das die Höhe der Türflanschgeometrie vom R-Punkt aus definiert (Bild 5.10), möglichst groß sein, damit der Kopfüberhang möglichst gering ist. So wird ermöglicht, dass selbst große Menschen ohne deutliche Hals- und Wirbelsäulenkrümmung in ein Fahrzeug einsteigen können. Aufgrund der Forderung nach einem großen Maß T2, ist jedoch zwangsläufig auch mit einer erhöhten Gesamtfahrzeughöhe H100-B zu rechnen, da beide Maße in einer Maßkette in Verbindung gebracht werden können. Ein großes Maß

von H100-B erhöht analog dazu auch den Widerstandswert des Fahrzeugs und spiegelt sich negativ im Energieverbrauch wider.

Ein kleines Maß T2 senkt wiederum die Gesamtfahrzeughöhe und somit auch den Widerstandswert. So wird zusätzlich zwar der Energieverbrauch maßgeblich gesenkt, jedoch gleichzeitig auch der Komfort negativ beeinflusst, da sich ein großer Fahrer deutlich stärker krümmen muss, um in das Fahrzeuginnere zu gelangen. Dies wirkt sich somit negativ auf das Teilkriterium aus, dessen Hauptziel es ist, einen hohen Einstiegskomfort zu gewährleisten. Daraus lässt sich bereits der Zielkonflikt zwischen dem Ergonomie-Index und dem Energieverbrauch ableiten. Die Maximierung dieses Optimierungskriteriums bedeutet gleichzeitig eine zunehmende Fahrzeuggesamthöhe, einen steigenden Verbrauch und eine zwangsweise geringere Reichweite.

Im Zuge des Lösungsvorschlages soll eine Maßkette abgeleitet werden, die in den Optimierungsalgorithmus implementiert werden kann.

Lösungsvorschlag

Parallel zur Definition der Problematik entstand der Lösungsvorschlag für den Kopfüberhang. Die dortige Überprüfung basiert auf einem ähnlichen Gedankengang, wie er auch bei der Koordinatenänderung des H-Punktes zugrunde liegt. Beim Einstiegsvorgang selbst erfolgt die Vereinfachung dadurch, dass der H-Punkt des Fahrers zwischen der Ausgangsposition (stehend) und der Endposition (sitzend) eine geradlinige Bewegungsbahn aufweist. Dadurch wird zwar gegenüber der realen Einstiegsbewegung eine gewisse Ungenauigkeit verursacht, welche aber im Zuge der konzeptionellen vereinfachten Betrachtung des Problems legitim ist. An der Stelle, an der der H-Punkt des Fahrers die äußere Sitzkante in Y-Richtung schneidet, kann mit Hilfe des Strahlensatzes, aus den horizontalen und vertikalen Abständen die genaue Lage über der Sitzkante berechnet werden (Z1). Aus der Analyse der „Schlüpf“-Strategie (obere rechte Darstellung in Bild 5.12) ist bekannt, dass beim Einstieg sowohl eine um ca. 20 Grad. geneigte Haltung nach vorne, als auch zur Seite erfolgt. Somit können diese Informationen in die Berechnung einfließen. Die Bewertung dieses Teilkriteriums basiert auf der Überlegung, dass sich, mit zunehmend gekrümmter Wirbelsäule bzw. gekrümmten Nackenbereich, der Komfort stetig verschlechtert. Mit Hilfe des angeführten Kopfüberhangs kann somit eine Beurteilung über den Grad der Oberkörperkrümmungen abgegeben werden.

Die nächste Formel gibt Aufschluss über die verketteten Maße, die bei der Berechnung des Kopfüberhangs benötigt werden:

$$\text{Kopfüberhang} = R_{\text{Manikin}} - T2$$

Formel 5-2

5. Erweiterung der Methodik

Beim Maß R_{Manikin} handelt es sich um das projizierte Maß von $R_{\text{Oberkörper}}$, das gleichzeitig als das Differenzmaß zwischen der Gesamtgröße des männlichen 95%-Perzentils und der Z-Koordinate des H-Punktes fungiert (Bild 5.11).

Die Maße, die zur Berechnung von T2 benötigt werden, sind im Bild 5.22 dargestellt.

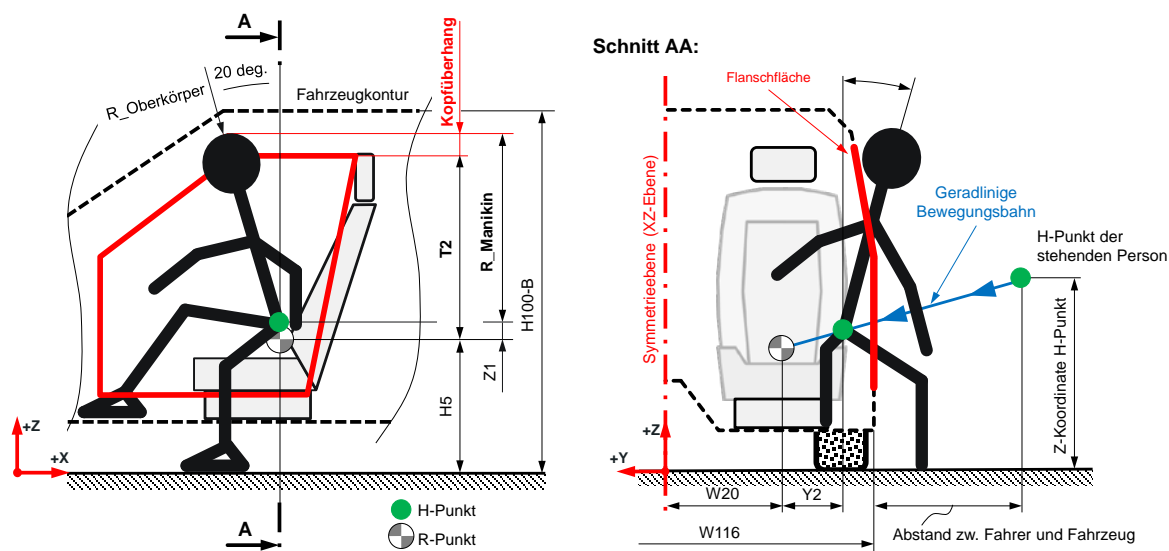


Bild 5.22: Darstellung des Kopfüberhangs beim Einstieg

Wie bereits erwähnt, ist die Berechnung des Maßes T2 über eine Maßkette möglich, um einerseits einen Bezug zur Gesamtfahrzeughöhe H100-B und andererseits zu den optimierten Maßen herzustellen. Dazu dient folgende Formel:

$$T2 = H100-B - H5 - Z1 - H0005 - \text{Abstand_Dachkante} \quad \text{Formel 5-3}$$

Aus der Formel wird ersichtlich, dass neben dem optimierten Maß H5 aus EVA_OS weitere, aus optimierten Maßen abgeleitete, Parameter einfließen. Einzig das Maß Abstand_Dachkante ist in der Maßkette als eine konstante Größe festgelegt. Für jedes Fahrzeugkonzept kann somit in EVA_OS ein dazugehöriges Maß T2 berechnet werden. Das sich daraus ergebende Differenzmaß kann sowohl positiv, als auch negativ sein. Ein positiver Kopfüberhang bedeutet beispielsweise, dass der Körper im Vergleich zur Türflanschhöhe T2 größer ist und sich der Fahrer beim Einstieg somit krümmen muss, um in das Fahrzeuginnere zu gelangen. Beim negativen Kopfüberhang hingegen ist weder eine Hals,- Nacken- oder Wirbelsäulenkrümmung für das Einsteigen notwendig.

Im nachfolgenden Bild (Bild 5.23) ist jeweils ein positiver (links), sowie ein negativer (rechts) Kopfüberhang dargestellt.

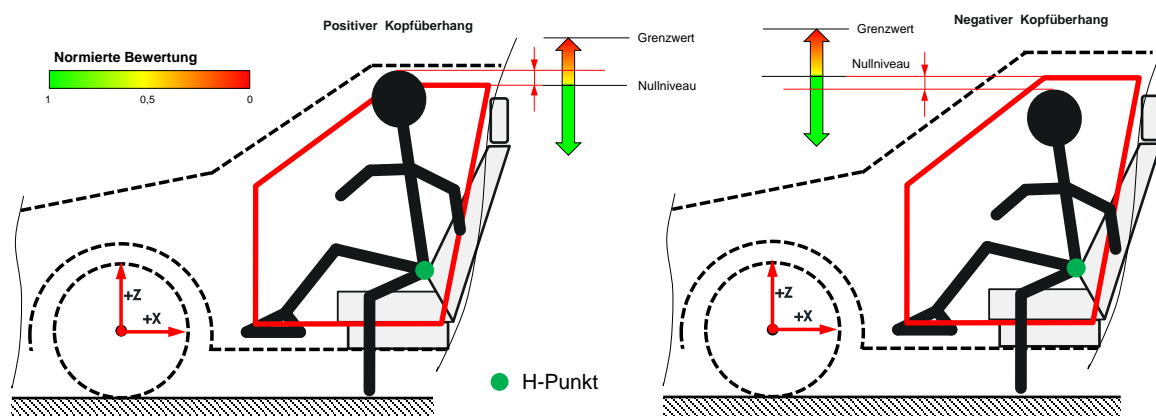


Bild 5.23: Positiver und negativer Kopfüberhang

Zur Erreichung eines komfortablen Einstiegs ist in jedem Fall ein negativer Kopfüberhang anzustreben. In der nachfolgenden Bewertung wird diese Forderung unterstrichen und verdeutlicht.

Für die ergonomische Beurteilung des positiven Kopfüberhangs wird, wie beim vorherigen Teilkriterium eine Rampenfunktion herangezogen, die den Kopfüberhang, je nach Maßgröße, mit Hilfe einer linearen Funktion entsprechend herabstuft. Auch in diesem Fall ist eine Transformation der Bewertung in eine normierte Skalierung durchzuführen. Der Grenzwert, bei dem die normierte Beurteilung null ergibt, wird im nächsten Abschnitt genauer ermittelt und beschrieben. Bei einem negativen Kopfüberhang ist es irrelevant, wie groß das Maß ist, da der Fahrer in diesem Fall ohne Probleme in den Innenraum gelangt.

Plausibilisierung

Auch in diesem Fall gibt es zur ergonomischen Beurteilung des Teilkriteriums keinen quellenbasierten Vergleichswert hinsichtlich des Komforts. Der in dieser Arbeit verwendete Grenzwert wurde aus einem einfachen Probandenversuch, ersichtlich in Bild 5.24, ermittelt. Der Grenzwert berechnet sich aus der Differenz von $R_{\text{Oberkörper}}$ und der Grenzkrümmung R_2 , die dem Oberkörperradius eines, sich nach vorne beugenden, Perzentils entspricht. Die Differenz sagt aus, wie weit sich ein Mensch nach vorne bzw. zur Seite krümmen kann, um dadurch den Oberkörperradius zu verkürzen. Der aus dem Versuch ermittelte Grenzwert beträgt $R_{\text{Grenz}} = 100 \text{ mm}$.

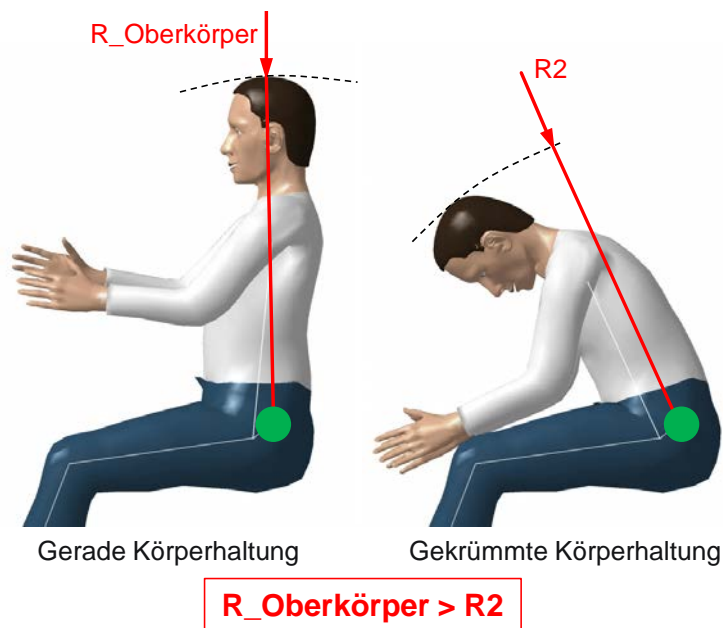


Bild 5.24: Ermittlung der Grenzkrümmung R2 der menschlichen Wirbelsäule

Auch in der Literatur konnte keine plausible Vorgehensweise bei der Ermittlung ergonomischer Vergleichswerte gefunden werden. Daher ist vorerst der Grenzwert aus dem genannten Versuch hinterlegt. Dieser kann bei Vorhandensein exakter Referenz-Daten entsprechend ersetzt werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um eine selbst entwickelte Methode zur Ermittlung eines ergonomischen bzw. physischen Grenzwinkels handelt, die die Anforderung, eine akzeptable Aussage über die Krümmung der Wirbelsäule zu erhalten, erfüllt.

5.4.3 Grenzwinkel der Beingelenke

Als letztes Teilkriterium im Ergonomie-Index werden nun die Grenzwinkel der Beingelenke beim Einstiegsvorgang untersucht.

Problemstellung

Das Anwinkeln der Beine beim Einstieg ist speziell bei älteren Menschen oftmals schwierig und folglich mit einer deutlichen Komforteinschränkung verbunden. Für dieses Teilkriterium liegt dieselbe Analyse zu den markanten Bereichen am Türflansch zugrunde, wie bereits beim Kopfüberhang (Kapitel 5.3.1). Genauer betrachtet wird dabei das Zusammenspiel des Hüft-, Knie- und Fußanwinkels beim Hineinheben des linken Beines in das Fahrzeug. Es geht hierbei insbesondere um das Durchschneiden der vertikalen Ebene (grüne Betrachtungsebene), die sich aus dem Hüftgelenks- und dem unteren Türflanschpunkt vorn ergibt. Daraus lässt sich sowohl ein horizontaler (L1), als auch ein vertikaler (T1)

Abstand der Beingeometrie ableiten. Im Bild 5.25 ist die beschriebene Situation räumlich skizziert. Die in die Berechnung einfließenden Maße sind zusätzlich mit angeführt.

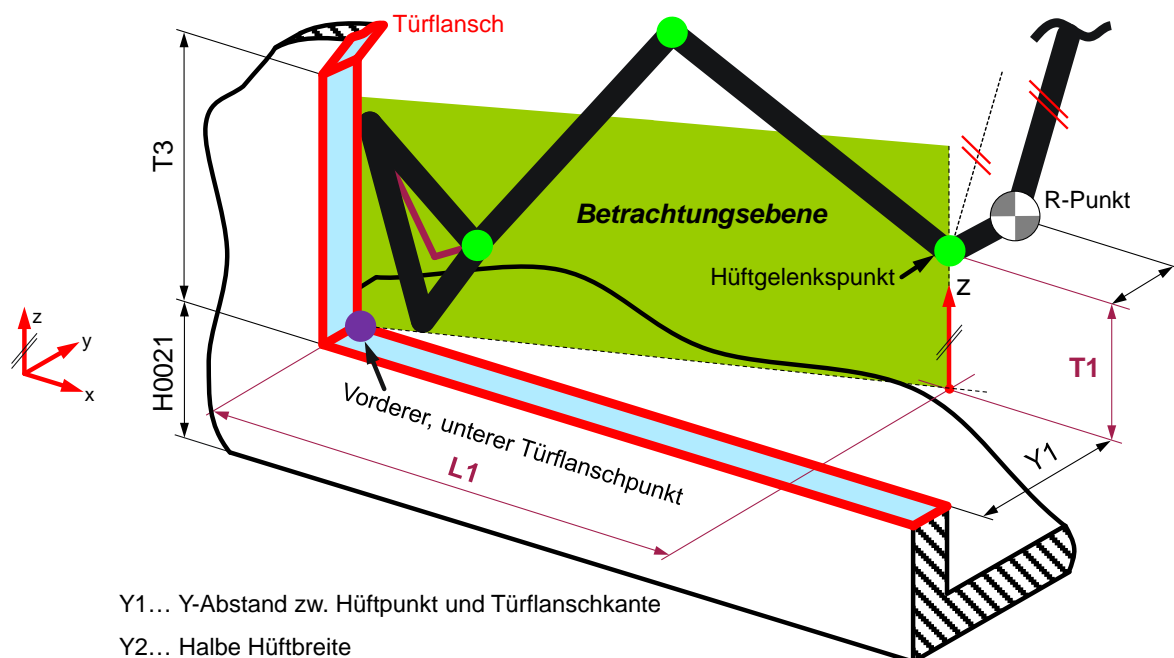


Bild 5.25: Darstellung der Einstiegsituation für das linke Bein

Zielkonflikt

Aus den Anforderungen an die Maße L1 bzw. T1 ergibt sich kein direkter Zielkonflikt, der im Rahmen der Optimierung verbessert werden soll. Vielmehr müssen die beiden Maße die maximalen und minimalen Restriktionen einhalten, die sich aus der geometrischen und packagerelevanten Umgebung des Türflansches ergeben. Die Restriktionen selbst ändern sich fortlaufend, da die Fahrzeugparameter in jeder Optimierungsschleife neu aufeinander abgestimmt werden.

Das Längenmaß L1 steuert, gemeinsam mit dem Höhenmaß T1 den unteren Türflanschpunkt vorn, der direkten Einfluss auf den Einstiegscomfort (Anwinkeln des Beines) hat. Durch den Platzgewinn im unteren Türflanschbereich kann beim Einsteigen eine freie Wahl der Einstiegsbewegung gewährleistet werden. Daraus folgen größere Abmessungen der Türflanschgeometrie sowohl in horizontaler, als auch in vertikaler Richtung. Aus dieser Tatsache resultiert nicht zwingend, dass sich mit einer Verlängerung der Türflanschgeometrie gleichzeitig auch die Gesamtfahrzeuiglänge verändert. Die getroffene Aussage bezüglich der Türflanschformen, kann anhand von Fahrzeugen belegt werden, die sich zurzeit auf dem Markt befinden (Smart Fortwo, Toyota iQ, etc.).

Im Rahmen des Lösungsvorschlags soll gezeigt werden, wie sich abgeleitete Restriktionen mathematisch abbilden lassen, um diese anschließend als Maßgrenzen verwenden zu können.

Lösungsvorschlag

Der in diesem Kriterium angeführte Lösungsvorschlag erfordert, gegenüber den beiden anderen Kriterien, eine detailliertere Betrachtung des an den Türflansch angrenzenden Bereichs. Damit lassen sich Restriktionen für die Einschränkung der optimalen Türflanschgeometrie ableiten. Aufgrund der feineren Modellierung des menschlichen Beines durch eine Unterteilung in Hüft-, Knie- und Fußgelenk, sowie einer Berücksichtigung der Maße eines männlichen 95%-Perzils (Abmessungen der Beinextremitäten) lässt sich eine realistische Nachbildung des Beinankelvorgangs simulieren. Hierdurch erhöht sich jedoch auch zwangsweise die Anzahl an zu berücksichtigenden Freiheitsgraden der Gelenke. In diesem Abschnitt werden sowohl L1, als auch T1 mit Hilfe von trigonometrischen Winkelfunktionen in einer Gleichung abgebildet. Das Bild 5.26 stellt den erläuterten Vorgang zusätzlich visuell dar.

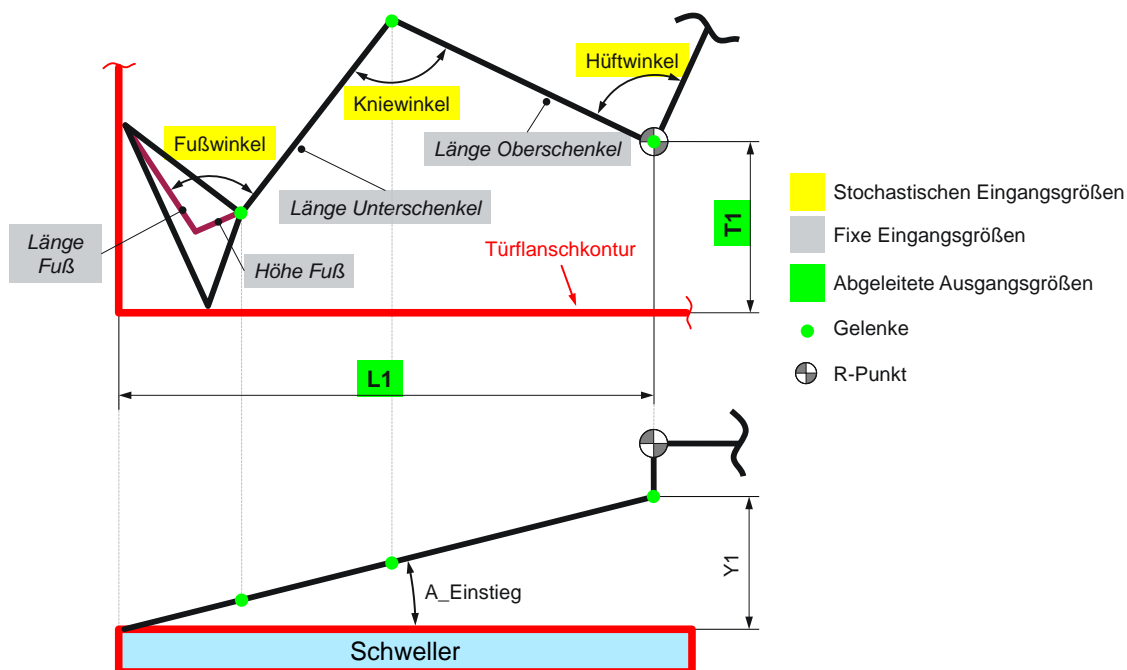


Bild 5.26: Einflussgrößen zwischen Beinmodell und Türflanschgeometrie

Im Folgenden wird der Ablauf zur Berechnung der Türflanschmaße L1 und T1 näher erläutert.

Zu Beginn jeder Optimierungsschleife wählt der Algorithmus stochastisch Winkelmaße aus einem ermittelten Wertebereich der Eingangsgrößen Hüft-, Knie- und Fußwinkel aus und

5. Erweiterung der Methodik

berechnet mit Hilfe der konstanten Längenabmessungen daraus die Maße L1 und T1, die der Ergonomie-Index mit den jeweiligen Restriktionsgrenzen (minimal bzw. maximal) vergleicht. Beide Maße müssen zur positiven Beurteilung des Teilkriteriums sowohl kleiner oder gleich der jeweilige Maximalgrenze als auch größer oder gleich der entsprechenden Minimal-Restriktion sein. Bei Über- bzw. Unterschreitung der Grenzwerte wird das Maßkonzept ungültig und der Algorithmus startet von neuem. Um einen besseren Einblick in die Ermittlung geeigneter Restriktionen zu bekommen, sind in der nächsten Tabelle (Tabelle 5-1) die vier Restriktionen für L1 und T1 aufgelistet, die in diesem Teilkriterium zum Einsatz kommen.

Tabelle 5-1: Übersicht der der Minimal- bzw. Maximal-Restriktionen

	Minimalrestriktion	Maximalrestriktion
L1		
T1		

Die Minimal-Restriktion $L1_{\text{Min}}$ fordert, dass der vordere Türflanschpunkt sich nicht weiter als 100 mm hinter dem Hackenpunkt des Fahrers befinden darf. Diese Grenze ergibt sich aus dem limitierten Platzangebot zwischen den Knien des Fahrers, dem Interieurbereich, dem

5. Erweiterung der Methodik

Lenkrad, sowie der Lenksäulenverkleidung. Der Maßwert von 100 mm ist ein in dieser Arbeit definiertes Standardmaß, kann aber vom Entwickler neu gesetzt werden. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich folgende Maßkette zur Berechnung:

$$L1_{\text{Min}} = L53 - 100 \text{ mm} \quad \text{Formel 5-4}$$

Die Maximal-Restriktion $L1_{\text{Max}}$ basiert auf dem packagerelevanten Bauraum im vorderen Türflanschbereich, der für die Platzierung der karosserieseitigen Türscharniere und Türfeststeller benötigt wird. Aus diesem Grund kann die Türflanschgeometrie nicht beliebig weit in Richtung Vorderachse verlängert werden. Alle Maße zur Berechnung der Maßketten für $L1_{\text{Max}}$ sind einerseits in der Tabelle 5-1 dargestellt und andererseits in der nachfolgenden Berechnung aufgeführt. Der Maßwert von 180 mm ist ebenfalls ein Standardmaß, welches den Abstand zwischen der hinteren Kante des Kotflügels und der vorderen Türflanschgeometrie beschreibt und ggf. vom Entwickler geändert werden kann.

$$L1_{\text{max}} = L114 - ((L102-2 / 2) + R0008) - 180\text{mm} \quad \text{Formel 5-5}$$

Wie bereits bei $L1_{\text{min}}$, lässt sich die Restriktion auch im Fall von $T1_{\text{min}}$ ähnlich begründen. Es besteht die Problematik, dass der Insasse, aufgrund der bereits erwähnten Bauteile, beim Ausstieg das Knie nicht zu hoch anheben kann. Zusätzlich spielt bei dieser Restriktion noch die Schwellerhöhe, gemessen vom Fahrzeugboden aus, eine bedeutende Rolle. Der Abstand zum Boden darf nicht zu hoch sein, da der Fahrer in diesem Fall beim Einstiegsvorgang beide Beine, ähnlich wie ein Hürdenläufer, sehr hoch über die Schwellerkante heben müsste. Speziell bei älteren Menschen wäre dieser Bewegungsablauf mit sehr viel körperlicher Anstrengung verbunden und daher unkomfortabel. Das Maß von 80 mm ist vorerst als Standardwert hinterlegt und kann, wie bereits bei den vorherigen Restriktionen, entsprechend angepasst werden.

$$T1_{\text{min}} = H5 - H157 - 80\text{mm} \quad \text{Formel 5-6}$$

Für die Maximalgrenze von $T1$ gilt die Forderung, dass sich das Türschweller niveau maximal 40 mm über dem Fahrzeuginnenboden befinden darf. Der Hintergrund dieser Restriktion resultiert aus einer unveröffentlichten, konzerninternen Literaturquelle, wobei der Maßwert für diese Diplomarbeit geändert wurde.

$$T1_{\text{max}} = H30 - 40\text{mm} \quad \text{Formel 5-7}$$

Zur Berechnung der vier Restriktionen werden Maßen herangezogen, die wiederum aus anderen Maßketten berechnet werden. Mit jeder Optimierungsschleife ergeben sich somit neue Restriktionsmaßwerte. Die Maßketten zur Berechnung selbst ändern sich nicht.

Befinden sich beide Maße innerhalb der vorgegeben Restriktionsgrenzen, können diese anschließend zur ergonomischen Bewertung weiterverwendet werden. Auch in diesem Teilkriterium soll der Forderung nach einer Transformation der Beurteilungen

nachgekommen werden. Für die Beurteilung der beiden Türflansch- bzw. der drei Beinwinkelmaße bedarf es entsprechender Vergleichsmaße. Dazu können sowohl gemessene Daten aus Probandenversuchen, als auch Referenzwerte mit Hilfe ergonomischer Beurteilungssoftware ermittelt bzw. herangezogen werden.

Im nächsten Bild 5.27 ist die beschriebene Vorgehensweise des Teilkriteriums dargestellt.

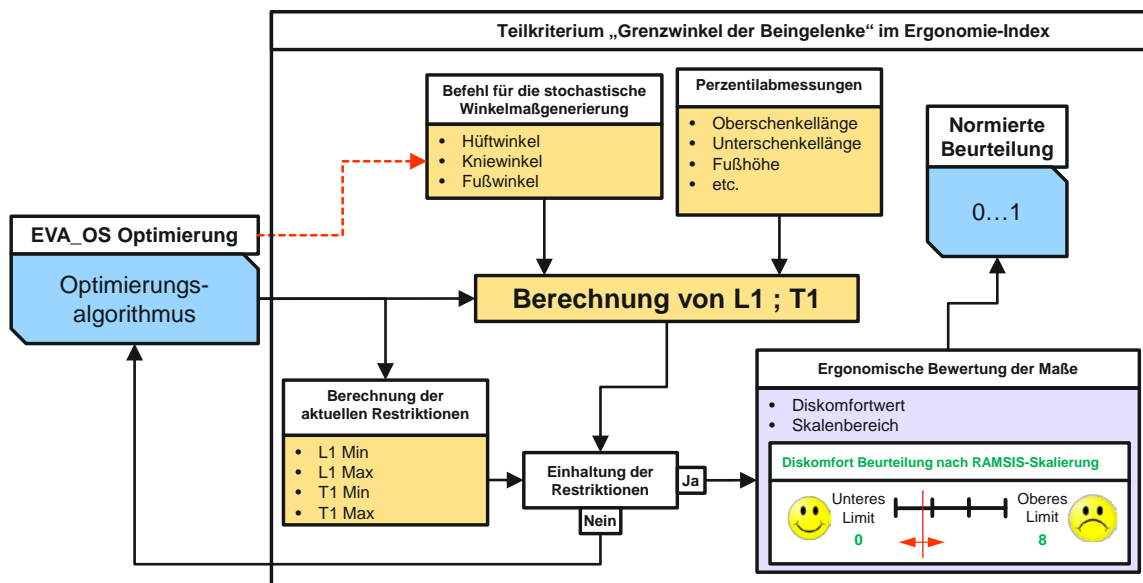


Bild 5.27: Vorgehensweise innerhalb einer Optimierungsschleife zur Findung und Bewertung der Türflanschmaße L1 und T1

Im Rahmen der nachfolgenden Plausibilisierung sollen die erhaltenen Maße und ihre Beurteilung überprüft werden.

Plausibilisierung

Im Verlauf der Literaturrecherche konnten für eine Plausibilisierung keine exakten Referenzmaße für die beiden Maße L1 und T1, als auch für Hüft-, Knie- und Fußwinkel hinsichtlich der Ergonomie gefunden werden. Um dennoch die erforderlichen Vergleichsmaße für die Untersuchung validieren zu können, wird auf eine modellgestützte RAMSIS-Bewertung zurückgegriffen. Die Vorgehensweise ist im nächsten Kapitel beschrieben.

5.4.4 Vorgehensweise bei der Ermittlung von ergonomischen Vergleichswerten

Um die, für die Plausibilisierung erforderlichen, Referenzmaße zu ermitteln, wird für dieses Teilkriterium eine Methode, unterstützt durch RAMSIS, vorgestellt. Ziel ist es, einen tabellarischen Zusammenhang zwischen den Türflanschmaßen L1 bzw. T1 und dem

5. Erweiterung der Methodik

Diskomfort herzustellen, um diesen anschließend in die Ergonomiebewertung der Beinwinkel zu implementieren.

Zunächst wird ein parametrisiertes Einstiegs-Modell, bestehend aus der Türflanschgeometrie, dem Fahrzeuginnenboden und dem R-Punkt, in CATIA V5 konstruiert und entsprechend bemaßt. Die Türflanschgeometrie, stellvertretend dargestellt durch den Schweller (untere Türflanschke) und die vordere Flanschverkleidung (vordere Türflanschke), lässt sich durch Variation der beiden Maße L1 und T1, referenziert zum R-Punkt, verändern. Der Fahrzeuginnenboden wird durch ein konstantes, vertikales Maß mit dem Schweller verkettet, womit sich bei einer Maßänderung die Höhe entsprechend mitändert. Damit ergibt sich insgesamt ein in sich variables Einstiegs-Modell, mit dem Darstellungen verschiedener Türflanschabmessungen möglich sind. Im Bild 5.28 ist das Einstiegs-Modell mit den Maßen L1 und T1 abgebildet.

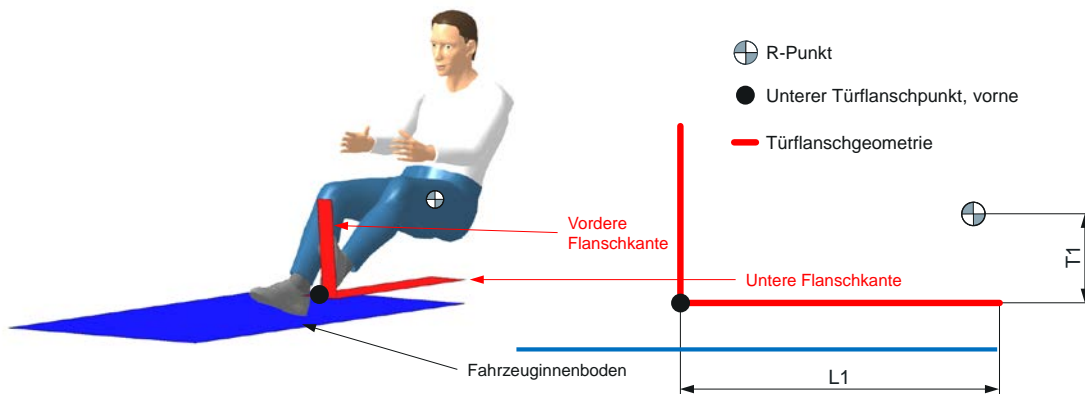


Bild 5.28: Parametrisiertes Einstiegsmodell in CATIA V5 zur Ermittlung von Referenzmaßen

Zur Ermittlung des Diskomforts, der zwangsweise aus einer unkomfortablen Einstiegsbewegung resultiert, soll das Geometriemodell mit Hilfe der Interoperabilitätssoftware RAMONA [47] (RAMSIS Online Application) in das Programm RAMSIS übertragen werden. Der Vorteil ist neben der konvertierungsfreien Übertragung auch die automatisierte Geometrieaktualisierung bei Maßänderung seitens CATIA V5. Für die Beurteilung selbst, wird ein männlicher 95%-Perzentil erstellt, der durch die nachfolgenden Kontaktbedingungen, zwischen Mannequin und der Einstiegsmodellgeometrie im Modell positioniert werden kann.

- Die Koordinaten des H-Punkts sind deckungsgleich mit den R-Punkt Koordinaten des Einstiegs-Modelles.
- Die linke Fußspitze des männlichen 95%-Perzentils berührt die vordere Türflanschke.
- Der linke Fersenpunkt des männlichen 95%-Perzentils berührt die untere Türflanschke.

5. Erweiterung der Methodik

- *Der rechte Fersenpunkt des männlichen 95%-Perzentils berührt den Fahrzeuginnenboden.*

Die sich daraus ergebende Körperhaltung entspricht jener, die der Fahrer beim Einstieg mit der „Schlüpf“-Strategie (Bild 5.12) einnimmt, wenn das linke Bein ins Fahrzeuginnere gehoben und dabei die erwähnte Betrachtungsebene (Bild 5.25) passiert wird. Mit Hilfe der ebenfalls automatisierten Körperhaltungsberechnung im Programm RAMSIS lässt sich nach jeder Veränderung der Türflanschgeometrie, die am wahrscheinlichsten infrage kommende Haltung ermitteln bzw. darstellen, welche wiederum auf einem errechneten Haltungsmuster aus Probandenstudien basiert. Anschließend erfolgt die Diskomfortanalyse seitens RAMSIS, die eine entsprechende Aussage über den Komfort der eingenommenen Beinhaltung gibt. Die Beurteilung selbst referenziert sich entlang einer Skala zwischen null und acht, wobei eine Beurteilung von null als absolut komfortabel anzusehen ist.

Bevor mit der Ermittlung begonnen werden kann, ist zur Abschätzung der infrage kommenden Anzahl an Parametervariation (L1 vs. T1) ein Versuchsplan zu erstellen. Die sich daraus ergebende Versuchsmatrix der Parameter wurde, ausgehend von den Türflanschabmessungen eines Volkswagen Golf VI, sowohl in positiver X- bzw. Z-Koordinate, als auch in negativer X- bzw. Z-Koordinatenrichtung angefertigt. Die erforderlichen Minimal- bzw. Maximal-Grenzen von L1 und T1 errechneten sich aus der Beinlänge eines männlichen 95%-Perzentils zu plausiblen Restriktionen (Tabelle 5-2). Bezugnehmend auf die durchgeführten Vereinfachungen, wird, im Rahmen der konzeptionellen Vorauslegung, mit einer Schrittweite der Parametervariation von 20 mm, ein akzeptabler Kompromiss eingegangen.

Tabelle 5-2: Restriktionsgrenzen bei der Ermittlung der Diskomfortbeurteilung

	Minimum	Maximum
L1	700 mm	900 mm
T1	111 mm	411 mm

Mit den Grenzen und der Parameterschrittweite ergibt sich somit eine Anzahl von 150 zu untersuchenden Messpunkten in der Versuchsmatrix. Aufgrund dessen, dass sich im Rahmen der Optimierung auch andere Parametervariationen (L1 vs. T1) als wie jene aus der Versuchsmatrix ergeben, sollen die entsprechenden Diskomfortbewertungen dazu aus einer linearen Interpolationsberechnung ermittelt werden, die hinreichend genau für die Plausibilisierung des Teilkriteriums ist.

Durch das parametrisierte Türflanschmodell in CATIA V5 und dessen direkter Koppelung zu RAMSIS, ergibt sich für die Durchführung des Versuchsplans die nachfolgende Vorgehensweise. Die dazugehörige Tabelle ist im Anhang enthalten.

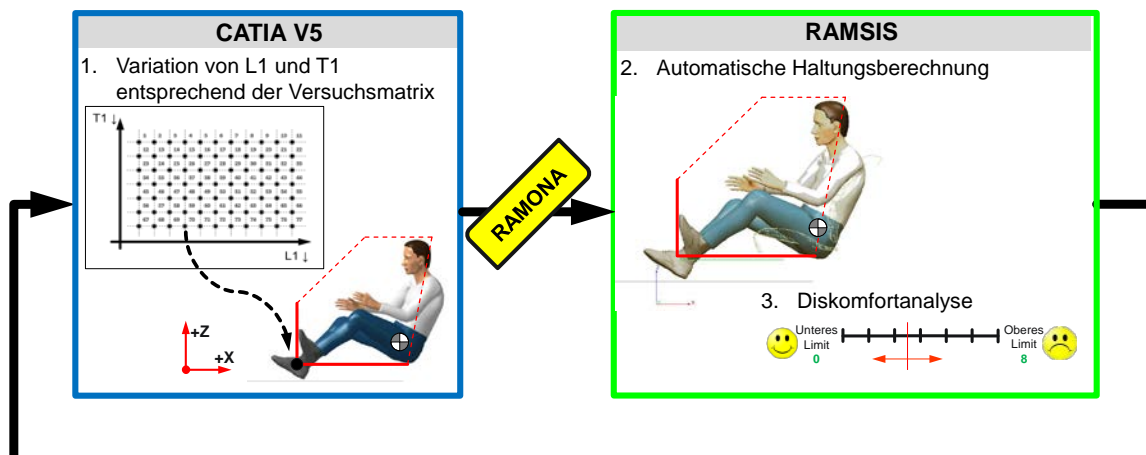


Bild 5.29: Vorgehensweise bei der Ermittlung des Diskomforts im Rahmen der Diplomarbeit

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass diese Vorgehensweise auch bei der Ermittlung weiterer ergonomischer Vergleichswerte anwendbar ist. Dazu muss lediglich ein geeignetes Modell der zu untersuchenden Aufgabe erstellt und die für die automatisierte Körperhaltungsberechnung erforderlichen Restriktionen gefunden werden.

Die ermittelten Werte des Diskomforts, eingetragen in einer Tabelle, sind dem Anhang beigefügt.

5.5 Validierung des Ergonomie-Indexes in Zusammenarbeit mit der Methodik

Nachdem im letzten Abschnitt die drei Teilkriterien definiert und auch deren Plausibilisierung durchgeführt wurde, ist das Ziel in diesem Kapitel, den Ergonomie-Index als weiteres Optimierungskriterium in Zusammenarbeit mit der Methodik zu untersuchen. Im Zuge dessen soll jedes Teilkriterium mit Hilfe einer prozentuellen Gewichtung, jeweils einzeln, als Optimierungskriterium analysiert werden. Somit ergeben sich drei unterschiedliche Untersuchungen. Jedes zu analysierende Teilkriterium fließt mit einer 99%igen Gewichtung in den Ergonomie-Index ein, wobei die beiden anderen jeweils mit einer 0,5%igen Gewichtung in der Beurteilung mitberücksichtigt werden. Damit wird eine fehlerbehaftete Beurteilung ausgeschlossen. Anschließend fließen alle Teilkriterien zu jeweils gleichen Gewichtung (33,33%; 33,33%; 33,33%) im Ergonomie-Index ein, damit das Zusammenwirken aller Teilkriterien untersucht werden kann. Folglich sind im Rahmen der Validierung vier Untersuchungen angeführt. Aufgrund der einfacheren Beschreibung werden alle Teilkriterien entsprechend ihrer Auflistung fortlaufend nummeriert bzw. neu benannt. In Tabelle 5-3 sind, neben den neuen Benennungen, auch die entsprechenden Gewichtungen für die Untersuchung aufgelistet.

Tabelle 5-3: Umbenennung und Gewichtungverteilung der Teilkriterien für die Untersuchung

	Teil-Kriterium 1	Teil-Kriterium 2	Teil-Kriterium 3	Ergonomie-Index
Koordinatenänderung H-Punkt	99%	0,5%.	0,5%.	33,33%
Kopfüberhang beim Einstieg	0,5%	99%	0,5%.	33,33%
Grenzwinkel der Beingelenke	0,5%	0,5%.	99%	33,34%

In den nun folgenden Validierungen ist zunächst jeweils ein Diagramm des pareto-optimalen Lösungsraumes in projizierter 2D-Darstellung dargestellt, aus dem zwei exemplarische Konzeptfahrzeuge in einer weiteren Darstellung abgebildet sind. Darin stellt jeder einzelne Punkt im Rahmen der gesetzten Optimierungskriterien ein optimiertes Fahrzeugkonzept dar. Zur besseren Vergleichbarkeit zwischen den Teilkriterien sind zwei nummerierte Punkte im Diagramm markiert, die jeweils einen Extrempunkt der Optimierung beschreiben und somit eine Untersuchung der Basisauswertung, laut Kuchenbuch [7], bezüglich der Ergonomie ermöglichen. Bei der Auswahl der Punkte bzw. damit verbundenen Fahrzeugkonzepte ist, entsprechend Tabelle 5-4, vorgegangen worden.

Tabelle 5-4: Bedingungen der zu untersuchenden Punkte an die drei Optimierungskriterien

	Punkt 1 1	Punkt 2 2
Reichweite	Minimum	Maximum
Verbrauch	Minimum	Maximum
Ergonomie-Index	Minimum	Maximum

Der Punkt 1 steht demnach für ein Fahrzeugkonzept mit geringer Reichweite, geringem Verbrauch und geringem Ergonomie-Index. Der zweite Punkt steht gegenteilig für hohe Reichweite, hohen Verbrauch und hohem Ergonomie-Index. Die an der rechten Seite angeführte Farbskala mit den normierten Grenzwerten von 0,4 bis 1 dient der farblichen Kennzeichnung der Ergebnisse durch den Ergonomie-Index.

Als zusätzliche Informationen für die Optimierungseingaben sind in der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 5-5) neben den geforderten Fahrzeugeigenschaften an das Fahrzeugkonzept auch deren Optimierungsziele angegeben und beziehen sich dabei auf Kuchenbuch [7], wobei die dafür verwendeten Eigenschaftswerte frei gewählt wurden.

Tabelle 5-5: Fahrzeugeigenschaften und Optimierungsziele im Rahmen der Validierung

	Wert	Einheit	Optimierungsgrenzen
Beschleunigung 0-100 [km/h]	10	sec.	Obergrenze
Beschleunigung 0-60 [km/h]	5	sec.	Obergrenze
Spannungslage	300	Volt	Untergrenze
Höchstgeschwindigkeit	100	Km/h	Obergrenze
Fahrzeuglänge	4000	mm	Obergrenze
Kofferraumvolumen	170	Liter	Untergrenze
	Einheit	Optimierungsziel	
Reichweite	km	Maximierung	
Verbrauch	kWh/100km	Minimierung	
Ergonomie-Index	-	Maximierung	

Zusätzlich sind die drei Optimierungskriterien (Reichweite, Energie-Verbrauch und Ergonomie-Index), nach denen im Rahmen der Validierung optimiert wird, angeführt (grün).

5.5.1 Teilkriterium 1 (99%/0,5%/0,5%), Koordinatenänderung H-Punkt

Zunächst ist im Bild 5.30 der Lösungsraum vom Teilkriterium 1 in Form der projizierten 2D Pareto-Fläche dargestellt.

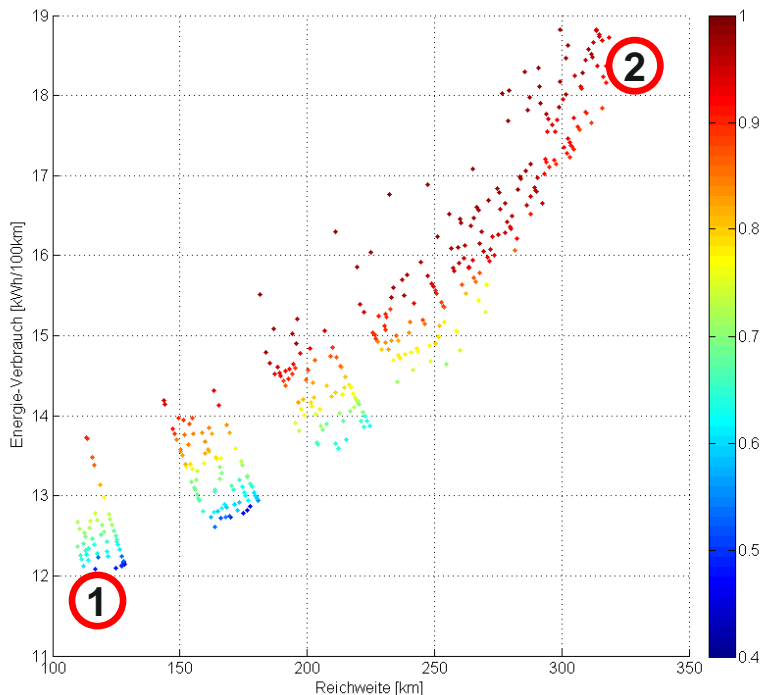


Bild 5.30: Pareto-optimaler Lösungsraum für das Teilkriterium 1

5. Erweiterung der Methodik

Bei genauerer Betrachtung des Lösungsraumes kann einerseits die eindeutige Tendenz der zunehmenden Reichweite mit ebenso zunehmendem Energie-Verbrauch abgelesen werden. Andererseits ist ersichtlich, dass mit steigendem Energie-Verbrauch auch der Ergonomie-Index, bezogen auf eine konstant gehaltene Reichweite, mitansteigt. Um dieses Erkenntnis genauer zu analysieren, sind in der nächsten Abbildung (Bild 5.31) die beiden markierten Punkte, repräsentativ für die beiden Fahrzeugkonzepte, mit Hilfe der 2D-Voransicht aus der Schnittstelle dargestellt.

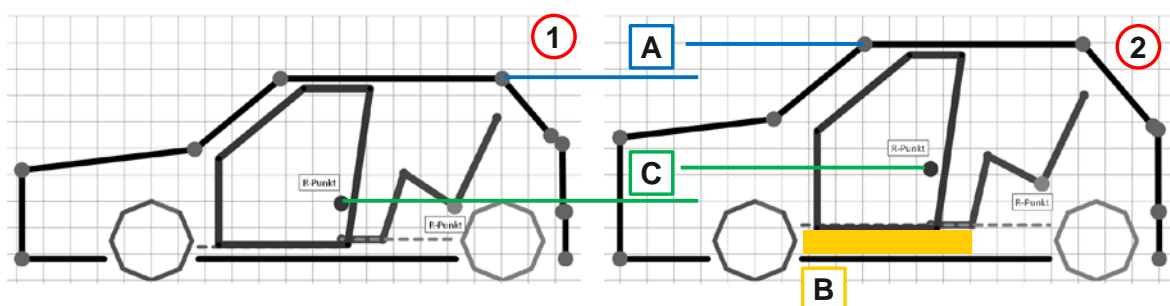


Bild 5.31: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie für das Teilkriterium 1

Im linken Bild ist das Fahrzeugkonzept aus Punkt 1, im rechten Bild jenes aus Punkt 2, dargestellt. Auf den ersten Blick ist speziell die größere Gesamtfahrzeughöhe im Konzept 2 erkennbar (A). Der steigende Ergonomie-Index bei gleichbleibender Reichweite erfolgt aus der Forderung von Teilkriterium 1 (Kapitel 5.4.1), das besagt, dass das Differenzmaß ΔH für eine hohe ergonomisch normierte Bewertung klein bleiben muss.

Laut [7] erhöht sich durch das Anbringen von Batteriezellen im Sandwich-Boden (B) unter dem Fahrersitz die vertikale Positionierung der Fahrersitzposition (H5 steigt). Zum Einen vergrößert sich auch die Gesamtfahrzeughöhe, zum Anderen minimiert sich ΔH bestenfalls zu null und ist somit hinsichtlich der normierten Bewertung am besten (C). Daraus lässt sich auch der Trend erklären, dass bei Fahrzeugkonzepten mit höherer Reichweite und Energie-Verbrauch das Teilkriterium im Durchschnitt deutlich besser ist als für Fahrzeuge mit geringerer Reichweite bzw. Energie-Verbrauch (Vergleich zwischen Punkt 1 und Punkt 2).

Als Folgerung daraus kann gesagt werden, dass das Anbringen der Batteriezellen im Sandwich-Boden unter dem Fahrersitz für das Teilkriterium spricht.

5.5.2 Teilkriterium 2 (0,5%/99%/0,5%), Kopfüberhang beim Einstieg

Zunächst ist im nächsten Bild (Bild 5.32) einleitend wiederum der Lösungsraum in 2D-Darstellung abgebildet.

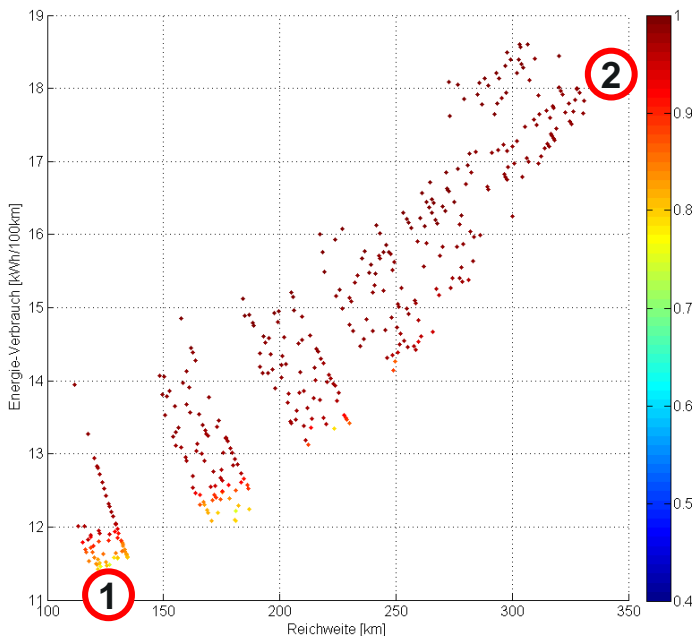


Bild 5.32: Pareto-optimaler Lösungsraum für das Teilkriterium 2

Zunächst kann auch in dieser Lösung der bereits im Teilkriterium 1 ersichtliche Trend des Zusammenhangs von Reichweite zu Energie-Verbrauch gezeigt werden. Ein weiteres Merkmal ist das über dem kompletten Lösungsraum überdurchschnittlich gute Teilkriterium 2, bezogen auf die rechts angeführte Skala. Um die Tendenz des zunehmenden Komforts auf Kosten des Energie-Verbrauchs zu erklären, sind in der nächsten Abbildung (Bild 5.33) die beiden markierten Fahrzeugkonzepte, ident wie beim Teilkriterium 1, dargestellt.

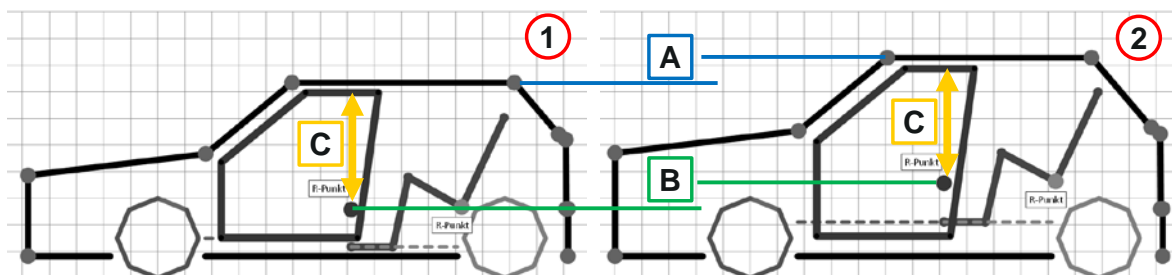


Bild 5.33: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie für das Teilkriterium 2

5. Erweiterung der Methodik

Wiederum lässt sich ein deutlicher Unterschied in der Fahrzeuggesamthöhe erkennen (A). Zum Einen resultiert dies aus der höheren Sitzposition des Fahrers (B), zum Anderen aus der Forderung von Teilkriterium 2, dass der Abstand zwischen Türflanschoberkante und dem R-Punkt entsprechend groß ist (C). Der vertikale Abstand ist bei beiden Fahrzeugkonzepten annähernd gleich groß, was auch die überdurchschnittlich gute ergonomische Beurteilung erklärt (Farben im Bild 5.32).

Gegenüber dem Teilkriterium 1 kann gesagt werden, dass das Teilkriterium 2 nicht zwingend eine höhere Gesamtfahrzeughöhe für eine bessere ergonomische Beurteilung benötigt.

5.5.3 Teilkriterium 3 (0,5%/0,5%/99%), Grenzwinkel der Beingelenke

Für das dritte und letzte Teilkriterium ist im nächsten Bild (Bild 5.34) ebenso der projizierte pareto-optimale Lösungsraum dargestellt.

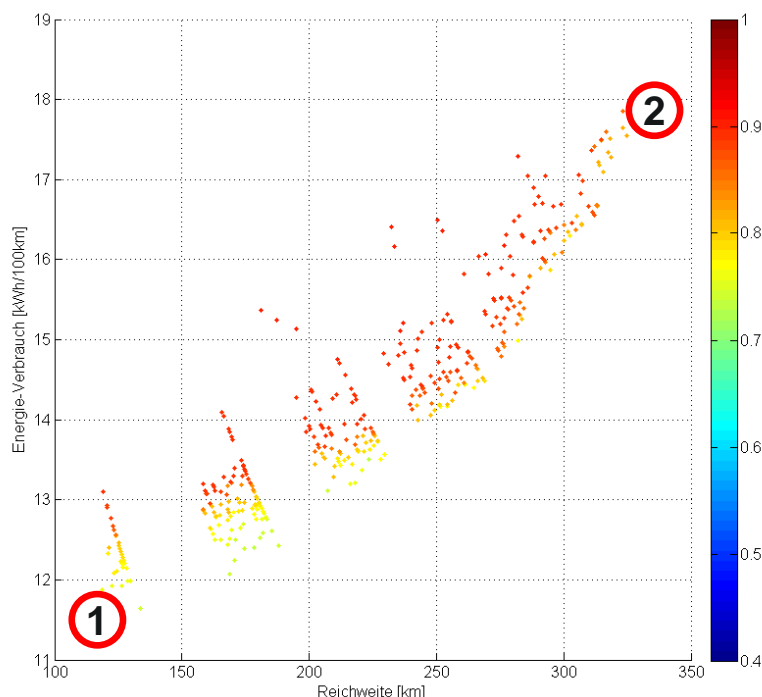


Bild 5.34: Pareto-optimaler Lösungsraum für das Teilkriterium 3

Die bekannte Abhängigkeit der Optimierungskriterien laut [7] lässt sich aus in dieser Darstellung wiederfinden. Wie bereits bei Teilkriterium 2, lässt sich auch in diesem Falle eine überdurchschnittlich gute ergonomische Beurteilung erkennen. Dies resultiert zum größten Teil aus der guten Komfort-Referenzbewertung von RAMSIS, die in der Beurteilung des Teilkriteriums 3 einfließt. Auch in diesem Fall soll eine Beschreibung der beiden markierten Punkte mit Hilfe der 2D-Vorabansicht erfolgen (Bild 5.35).

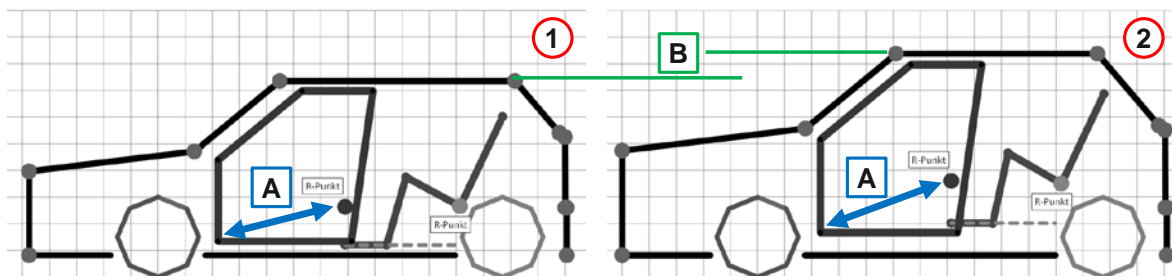


Bild 5.35: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie für des Teilkriterium 3

Wiederum lässt sich eine Zunahme der Fahrzeuggesamthöhe erkennen (B), wodurch sich auch die normierte Beurteilung des Teilkriteriums 3 positiv beeinflussen lässt, da das Maß T1 zunimmt und somit auch der Abstand zwischen dem R-Punkt und der unteren Türflanschke, vorne (A).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass jedes der drei Teilkriterien für sich rückschlüssige Ergebnisse in der Optimierung einbringt, die sich auch durch eine Validierung bestätigen lassen. Als nächsten Schritt erfolgt die Validierung des Ergonomie-Indexes, wobei hierzu alle drei Teilkriterien zu gleichen Teilen einfließen.

5.5.4 Ergonomie-Index (33,33%/33,33%/33,34%)

Als einleitende Darstellung dient der projizierte pareto-optimale Lösungsraum des Ergonomie-Indexes.

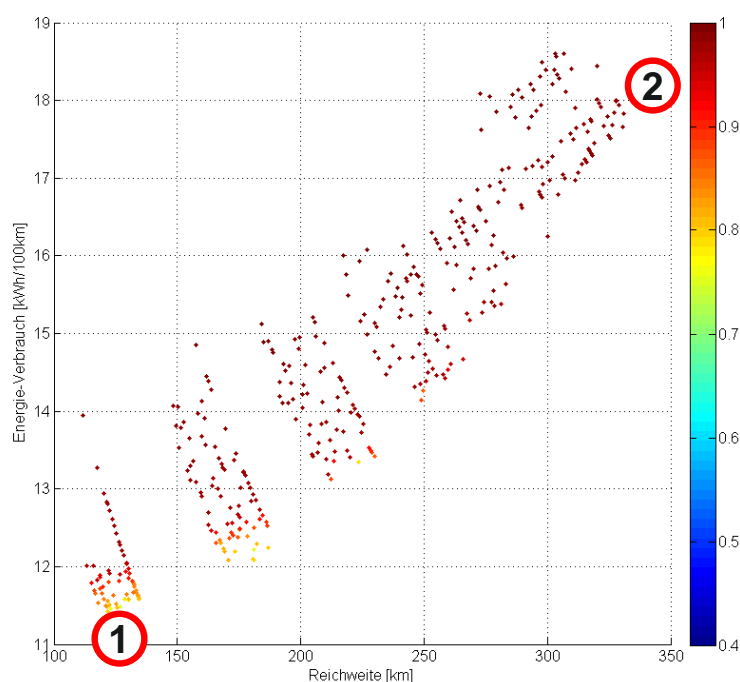


Bild 5.36: Pareto-optimaler Lösungsraum des Ergonomie-Indexes

Auch in dieser Darstellung ist die Abhängigkeit zwischen der Reichweite und dem Energieverbrauch, laut [7], erkennbar. Der Ergonomie-Index ist, in Anbetracht der guten Beurteilung der Teilkriterien, über den gesamten Lösungsraum überdurchschnittlich hoch, wiederum bezugnehmend auf die rechts dargestellte Farbskala. Für eine detailliertere Aussage sind wiederum die beiden Konzeptfahrzeuge in der Vorabdarstellung genauer zu analysieren (Bild 5.37).

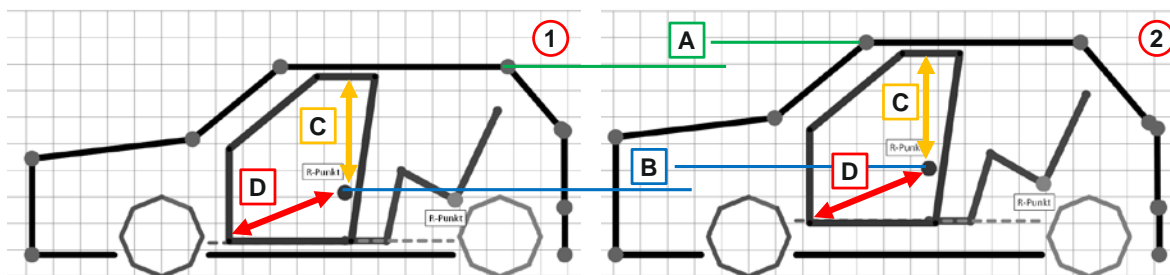


Bild 5.37: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie des Ergonomie-Indexes

Die normierten Bewertungen sowohl des Teilkriterium 2 (C), als auch die des Teilkriteriums 3 (D), sind in beiden Fahrzeugkonzepten hoch ausgefallen. Dies lässt sich, aus der großen Türflanschgeometrie, für beide Fahrzeugkonzepte rückschließen. Lediglich die tiefere Sitzposition des Fahrers im Konzeptfahrzeug 1 lässt den Ergonomie-Index im linken Fahrzeugkonzept schmälern (B). Aufgrund der Platzierung von Batteriezellen im Sandwich-Boden unter dem Fahrer erhöht sich dessen Sitzposition und die Beurteilung des Teilkriteriums 1 verbessert sich. Daraus lässt sich auch die, im Vergleich zu Fahrzeugkonzept 1, gestiegene Gesamtfahrzeughöhe erklären (A).

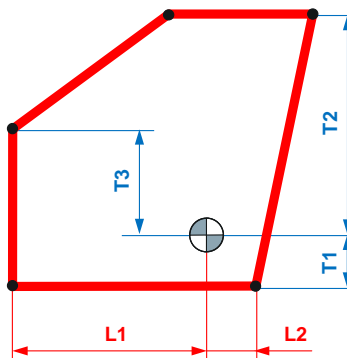
Zusammengefasst ist ein gutes Zusammenspiel der drei Teilkriterien durch die prozentuale Gewichtung im Ergonomie-Index erkennbar.

5.6 Implementierung der Türflanschgeometrie in das Gesamtfahrzeugmodell von ConceptCar

Als nächsten Schritt erfolgt die Implementierung der Türflanschgeometrie in das Gesamtfahrzeugmodell von ConceptCar. Dazu wurden zunächst die fünf zur Beschreibung der Geometrie erforderlichen Maße in der ConceptCar Datenbank in MS EXCEL erstellt. Dadurch lassen sich in der 3D-Konstruktionsumgebung von CATIA V5 die Abmessungen der Türflanschgeometrie mit den Parametern verknüpfen und bei einer Parameterübertragung durch die Schnittstelle verändern. In der nächsten Tabelle (Tabelle 5-6) sind die fünf neuen Maße mit ihren Maßwerten tabellarisch erfasst. Zusätzlich ist im rechten Teil die Geometrie mit den Abmessungen dargestellt.

Tabelle 5-6: Türflanschabmessungen

Türflanschmaße	Maßfindung
L1	F(Ergonomie-Index)
L2	Ergonomie-Katalog
T1	F(Ergonomie-Index)
T2	F(Ergonomie-Index)
T3	F(H0010)



Bis auf das Maß L2 berechnen sich alle anderen Maße aus Maßketten, die zum Teil im Verlauf der Diplomarbeit beschrieben wurden. Das Maß L2 ist im Rahmen dieser Diplomarbeit als konstant gesetzt worden, da einerseits kein nennenswerter Zusammenhang mit dem Einstiegsvorgang besteht, wofür sich eine Optimierung lohnen würde. Andererseits ergab sich das Maß als eine Empfehlung, aus dem Ergonomie-Katalog, worin es ebenfalls als konstant angesehen wird.

Die beschriebene Türflanschgeometrie ist in der folgenden Abbildung bereits in das Gesamtfahrzeugmodell von ConceptCar implementiert, dargestellt.

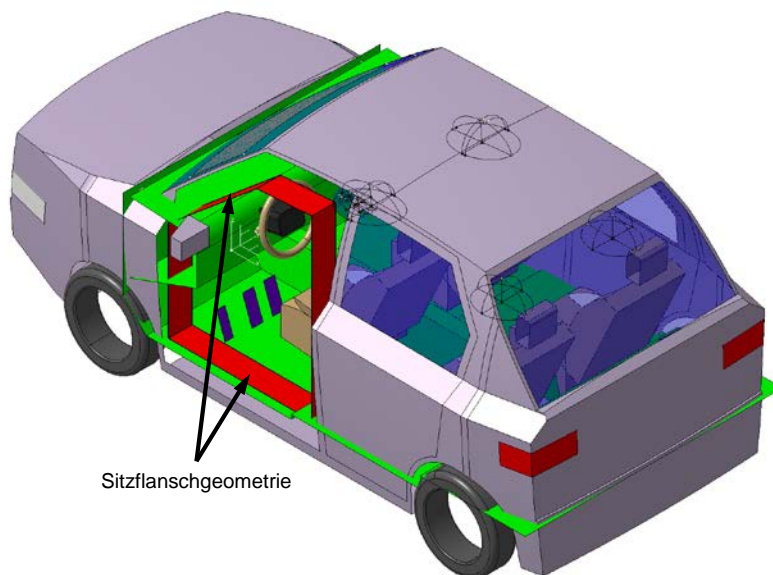


Bild 5.38: In das Gesamtfahrzeugmodell von ConceptCar implementierte Türflanschgeometrie

Zur besseren Darstellbarkeit ist zum Einen die Fahrertür ausgeblendet und zum Anderen die Türflanschgeometrie rot eingefärbt. Die dargestellte Flanschbreite folgt aus den Untersuchungen in RAMSIS.

5.7 Erweiterte Darstellung der Methodik zur Konzepttoolkombination

Die Vorgehensweise der Methodik ist im nächsten Bild (Bild 5.39) schematisch dargestellt und ist Zuge der Erweiterung um den Ergonomie-Index ausgedehnt worden. (Eine vergrößerte Darstellung ist dem Anhang beigefügt).

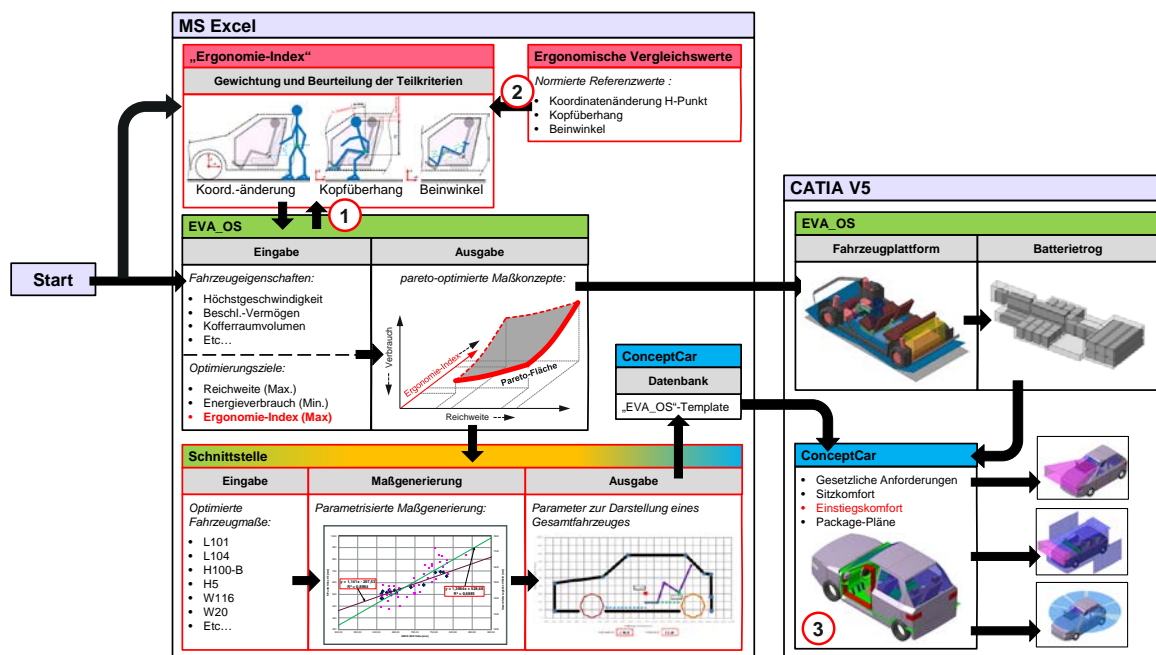


Bild 5.39: Methodik der Konzepttoolkombination unter Berücksichtigung der in dieser Arbeit entwickelten Schnittstelle und der Erweiterung um einen „Ergonomie-Index“

Die Erweiterung sieht vor, dass der Entwickler neben den bisherigen Eingaben in EVA_OS zusätzlich die prozentuale Gewichtung der drei Teilkriterien für den übergeordneten Ergonomie-Index, vorab festlegt (1). Somit kann eine unterschiedliche ergonomische Beurteilung erfolgen. Aus entsprechenden Versuchsmessungen bzw. Simulationen können die dazu benötigten ergonomischen Vergleichswerte (2) in die bestehende Formatierung eingebunden werden. Die zur Beschreibung der Türflanschgeometrie generierten fünf neuen Maße sind in den bestehenden Optimierungsalgorithmus von EVA_OS implementiert und zusätzlich in der Parameterauflistung zur Übertragung an ConceptCar der Schnittstelle ergänzt worden. Zusätzlich erfolgte deren Einbettung in die Parameterstruktur von ConceptCar (3). Dadurch wird mit jedem geladenen Fahrzeugkonzept die Türflanschgeometrie automatisch mitverändert und kann als integrierte Geometrie im Gesamtfahrzeugmodell für weitere Untersuchungen verwendet werden.

Zusammengefasst kann der Ergonomie-Index als ein weiteres Optimierungskriterium in der Optimierungskette von EVA_OS angesehen werden.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Diplomarbeit war es, die Möglichkeiten einer Kombination, der voneinander unabhängig entwickelten Konzeptwerkzeuge EVA_OS und ConceptCar für die frühe Phase der Konzeptentwicklung mittels einer geeigneten Schnittstelle aufzuzeigen. Dabei sollte, ausgehend von analysierten Vorteilen beider Werkzeuge, eine bestmögliche Integration der Schnittstelle zwischen den beiden Konzepttools umgesetzt werden. Die sich daraus ergebende Vorgehensweise wurde zu einer Methodik zusammengefasst, um die jeweiligen programmspezifischen Schwerpunkte (Optimierung und Visualisierung) möglichst gut zu verknüpfen. Im Anschluss daran wurde die Erweiterbarkeit dieser Methodik im Rahmen einer ergonomischen Auslegung der fahrerseitigen Türflanschgeometrie bezogen auf den Einstiegsvorgang überprüft. Im Zuge dessen wurden geeignete Maßketten zur mathematischen Abbildung der Aufgabenstellung gefunden und in die bestehende Struktur des Optimierungsalgorithmus eingebettet. Damit konnte eine nachvollziehbare Vorgehensweise zur gezielten Erweiterbarkeit der vorliegenden Methodik beschrieben werden.

Eine der Hauptaufgaben während der Erstellung der Schnittstelle war das Lösen der Parameterproblematik zur vollständigen Beschreibung des Gesamtfahrzeugmodelles in ConceptCar. Der unterschiedliche Fahrzeugparameter-Umfang beider Konzeptwerkzeuge konnte mit Hilfe von mathematischen Gleichungen basierend auf optimierten EVA_OS-Parametern und ermittelten Referenzfahrzeugabmessungen angeglichen werden. Somit wurde eine Möglichkeit geschaffen, aus plattformorientierten Maßkonzepten ein Gesamtfahrzeug zu beschreiben, dass es dem Entwickler ermöglicht, erste Fahrzeugkonzeptentwürfe, sowohl hinsichtlich gesetzlicher als auch ergonomischer Anforderungen zu untersuchen.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Methodik-Erweiterung aus vier möglichen Einstiegsszenarien die folgenden drei, für die Einstiegsergonomie relevanten, Teilkriterien abgeleitet:

- Koordinatenänderung H-Punkt
- Kopfüberhang beim Einstieg
- Grenzwinkel der Beingeometrie

Der aus diesen Teilkriterien zusammengefasste Ergonomie-Index kann als weiteres Optimierungskriterium in der frühen Phase angesehen werden. Er steht dabei in Konflikt mit bereits vorhandenen Zielgrößen, wie geringer Energie-Verbrauch oder aber auch eine hohe Reichweite. Die ergonomische Beurteilung kann, je nach Bedarf, mittels prozentualer Gewichtung der Teilkriterien gelenkt werden. Es konnte neben dem Aufzeigen von mathematischen Rahmenbedingungen für die Optimierung auch die erfolgreiche Implementierung der Türflanschgeometrie in das Gesamtfahrzeugmodell von ConceptCar

realisiert werden. Dazu wurden fünf neue Maße zur Beschreibung der Türflanschgeometrie sowohl in EVA_OS, als auch in ConceptCar generiert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Erweiterbarkeit der Methodik in Anlehnung an die ergonomische Untersuchung der Einstiegsbewegung in ein Fahrzeug aufgezeigt werden konnte. Trotz der fehlenden Input- bzw. Vergleichswerte zur ergonomischen Validierung der Teilkriterien im Ergonomie-Index, wurden exemplarische Beispiele für deren Auswahl angeführt. Einerseits konnte eine teilweise Ermittlung von Referenzwerten mit Hilfe der ergonomischen Beurteilungssoftware RAMSIS erfolgen, andererseits zeigte die programminterne Komfortbeurteilung (Diskomfort), dass auf physische Probandenversuche weiterhin nicht verzichtet werden kann. Die erwähnte konzeptionelle Modellbildung der Bewegungsabläufe im Zusammenhang mit der Findung geeigneter ergonomischer Vergleichswerte dient ferner als Anreiz für zukünftige integrale Arbeiten auf dem Gebiet der Ergonomie.

Die entwickelte Methodik, bestehend aus der Kombination beider Tools, mit ihren individuellen Stärken und dem Aufzeigen ihrer Erweiterbarkeit, am exemplarischen Beispiel der ergonomischen Auslegung von fahrerseitigen Türflanschgeometrien, zeigt, dass eine Vorgehensweise zur technischen Detaillierung variantenreicher Fahrzeugkonzepte, bereits in der frühen Phase ermöglicht werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] L. O. GUSING und A. KRUSE, *Fahrzeugentwicklung im Automobilbau*. München: Hanser Verlag, 2012, ISBN: 978-3-446-41968-1.
- [2] H.-H. BRAESS und U. SEIFFERT, *Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag, 2003, ISBN: 978-3-834-80222-0.
- [3] N.N., Verfügbar unter: http://www.iwb.tum.de/iwbmedia/Downloads/Projekte/wps/Vortrag_Dr__Meichsner.pdf, [Datum des Zugriffs: 14.03. 2012].
- [4] N.N., Volkswagen AG, Verfügbar unter: www.volkswagen.de. [Datum des Zugriffs: 14. 03. 2012].
- [5] K.-H. GROTE und J. FELDHUSEN, *Dubbel Taschenbuch für Maschinenbau*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-49714-1.
- [6] U. LINDEMANN, *Methodische Entwicklung technischer Produkte*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2007. ISBN: 978-3-642-01422-2
- [7] K. KUCHENBUCH, T. VIETOR und J. STIEG, *Optimierungsalgorithmen für den Entwurf von Elektrofahrzeugen*. In: *ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift 07-08 (2011)*, S. 548-551.
- [8] W. DIETRICH, M. HIRZ, und P. ROSSBACHER, *Integration von geometrischen und funktionalen Aspekten in die parametrisch assoziative Modellgestaltung in der konzeptionellen Automobilentwicklung*. In: *Zusammenspiel von Maschinenbau, Elektronik und Software – Der Weg zum Gesamtfahrzeug*, 2010, 3.Grazer Symposium Virtuelles Fahrzeug.
- [9] W. DIETRICH, N. THEISS, M. HIRZ, P. ROSSBACHER und A. HARRICH, *The potential of 3D-CAD based process – optimization in the automotive concept phase*. 2009, SAE World Congress, Detroit, Michigan, USA.
- [10] N.N., Dassault Systemes – CATIA-Virtual Product, Verfügbar unter: www.3ds.com. [Datum des Zugriffs: 15. 03. 2012].
- [11] N.N., Microsoft-Office, Verfügbar unter: <http://office.microsoft.com/de-de>. [Datum des Zugriffs: 15. 03. 2012].
- [12] N.N., TRANSCAT-PLM Division, Verfügbar unter: www.transcat-plm.com. [Datum des Zugriffs: 15. 03. 2012].
- [13] N.N., HUMAN SOLUTIONS, Verfügbar unter: www.human-solutions.com. [Datum des Zugriffs: 15. 03. 2012].

- [14] N.N., *SFE - Solutions for Excellence*, Verfügbar unter: www.sfe-berlin.de.
[Datum des Zugriffs: 16. 03. 2012].
- [15] T. WECK, M. MALETZ und P. EBNER, *Optimization of Transmission Function, Efficiency and Quality in the Development of Hybrid and Electrified Powertrains*. In: *Innovative Automotive Transmissions and Hybrid & Electric Drives*, 10th International CTi Symposium and Exhibition, 2011, Berlin.
- [16] G. BAHL, W. BEITZ, J. FELDHUSEN und K.-H. GROTE, *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2006, ISBN: 978-3-540-34060-7.
- [17] R. STARK, H. HAYKA, J. ISRAEL, M. KIM, P. MÜLLER und U. VÖLLINGER, *Virtuelle Produktentstehung in der Automobilindustrie*. In: *Informatik-Spektrum 34 (2011)*, S.20-28.
- [18] S. SCHÖNMANN, *Produktentwicklung in der Automobilindustrie*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012, ISBN: 978-3-834-92874-0.
- [19] A. ZIEMANN, *Zielsystemmanagement für die Produktentstehung von PKW*. Books on Demand, 2007, ISBN: 978-3-8370-0030-6.
- [20] T. VIETOR, *Neue Methoden der Produktentwicklung*, Skriptum. Institut für Konstruktionstechnik, TU Braunschweig, 2010.
- [21] VDI 2221, *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 1993.
- [22] VDI 2206, *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2004.
- [23] H.-H. BRAESS und U. SEIFFERT, *Automobildesign und Technik*. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag, 2007, ISBN:978-3-8348-0177-7.
- [24] M. HAZELAAR, *Fahrzeugkonzept*, Skriptum. Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, 2010/2011.
- [25] J. GRABNER und R. NOTHHAFT, *Konstruieren von PKW-Karosserien*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2006, ISBN: 978-3-5402-3884-3.
- [26] H. WALLENTOWITZ, *Strukturentwurf von Kraftfahrzeugen Skriptum*. Institut für Kraftfahrwesen ika, RWTH Aachen, 2006.
- [27] N.N., *SAE International*, Verfügbar unter: http://standards.sae.org/j826_200811.
[Datum des Zugriffs: 30. 03. 2012].
- [28] *GCIE – Global Cars Manufacturers Information Exchange Group*. Package Drawing Exchanges, Model Year 2008, Weissach, 2007.
-

- [29] N.N., *NetCarShow.com*, Verfügbar unter: <http://www.netcarshow.com>.
[Datum des Zugriffs: 08. 12. 2011].
- [30] F. BANDOW und H. STAHLER, *Ableitung der Hauptabmessungen eines Fahrzeugs*. In: *ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift 10 (2001)*, S. 912-921.
- [31] S. MACEY, R. GILLES und G. WARDLE, *H-Point: The Fundamentals of Car Design & Packaging*. Designstudio Pr, 2009, ISBN: 978-1-9334-9237-7.
- [32] M. ABRAMOVICI und V. MEIMANN, *Auf dem Weg zu einer angewandungsnahen Konstruktionsmethodik*. In: *Konstruktionamethodik und Fahrzeugkonzepte*, Kolloquium anlässlich des Ausscheidens von Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Franke, 2010, Braunschweig.
- [33] S. ULRICH und R. GOTTHARD, *Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kraftfahrzeug*. Wiesbaden: Vieweg & Teubner Verlag, 2008, ISBN: 978-3-8348-0345-0.
- [34] A. SEIDL, *Autos nach Menschenmaß mit RAMSIS konstruieren*. In: *AUTOMOTIVE ENGINEERING PARTNERS 5 (2001)*, S. 56-59.
- [35] N.N., Verfügbar unter: http://www.mtu.de/de/technologies/engineering_news/others/Reim_CAD_Konvertierung.pdf, [Datum des Zugriffs: 30. 03. 2012].
- [36] N.N., *Noesis Solution – Noesis Optimus*, Verfügbar unter: <http://www.noessolutions.com/Noesis/>. [Datum des Zugriffs: 23. 03. 2012].
- [37] N.N., *GANetXL - Optimisation Addin for Microsoft Excel*, Verfügbar unter: <http://centres.exeter.ac.uk/cws/technology/ganetxl-addin>.
[Datum des Zugriffs: 23. 03. 2012].
- [38] A. CHEREDNICHENKO, *Funktionales Modell der Einstiegsbewegung in einen PKW*, TU München, Dissertation, 2007.
- [39] N.N., *DUDEN*, Verfügbar unter: <http://www.duden.de>.
[Datum des Zugriffs: 31. 03. 2012].
- [40] N.N., *Lehrstuhl für Ergonomie*, Verfügbar unter: <http://www.lfe.mw.tum.de/de/institute/ergonomics>.
[Datum des Zugriffs: 02. 04. 2012].
- [41] F. ERBER, *Entwicklung eines Prozesses für die Anwendung von RAMSIS in CATIA V5 zur ergonomischen Fahrzeugauslegung*, TU München, Diplomarbeit, 2008.
- [42] H. FEIGE, *Ergonomische Fahrzeugauslegung des Golf VI*, In: *ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift extra September (2008)*, S. 8-9.
-

- [43] O. SABBAH, H. BUBB und K. BENGLER, *Übersicht zur Modellierung menschlicher Bewegungen am Beispiel des Ein- und Ausstiegs bei Fahrzeugen*. In: *Beiträge aus der Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Band 65 (2010)*, S.89-100.
- [44] S. RIGEL, *Entwicklung und Validierung einer Methode zur quantitativen Untersuchung der Ein-Ausstiegsbewegung in einen Pkw*, TU München, Dissertation, 2005.
- [45] M. TSCHECH, *Batterieintegration in Elektrofahrzeuge - Optimierung der Bauraumausnutzung und Rückwirkung auf das Fahrzeugkonzept*, TU Braunschweig, Diplomarbeit, 2011.
- [46] N.N., *Verfügbar unter: <http://sr.oceanweb.de/imgupload/Die%20Angst%20der%20Automobilindustrie.pdf>*. [Datum des Zugriffs: 02. 04. 2012].
- [47] N.N., *RAMONA Interoperabilitätssoftware CATIA V5 – RAMSIS*, Handbuch (Version 1.0.6), Volkswagen AG.

Abbildungsverzeichnis

<i>Bild 1.1: Anzahl der Fahrzeugderivate über die letzten 50 Jahre, vgl. [3]</i>	1
<i>Bild 1.2: Vielschichtige Phasen des Produktlebenszyklus, vgl. [5]</i>	2
<i>Bild 2.1: Vorgehensweise bei der Kombination der beiden Konzeptwerkzeuge in Vorbereitung einer Erweiterung</i>	5
<i>Bild 2.2: Flußdiagramm zur Darstellung des Arbeitsbereiches der Diplomarbeit und Platzierung der Konzeptwerkzeuge in der frühen Konzeptphase</i>	6
<i>Bild 3.1: Phasen des Produktlebenszyklus, vgl. [15]</i>	8
<i>Bild 3.2: Darstellung des Produktlebensmanagements, vgl. [16]</i>	9
<i>Bild 3.3: Der Produktentstehungsprozess mit gesetzten Meilensteinen, vgl. [2]</i>	10
<i>Bild 3.4: Beteiligte Abteilungen in der Konzeptphase, vgl. [2]</i>	14
<i>Bild 3.5: Modellvielfalt am Beispiel der Plattform PQ35 des Volkswagen Konzerns</i>	14
<i>Bild 3.6: Gestaltungsfelder der Fahrzeugkonzeption, vgl. [2]</i>	15
<i>Bild 3.7: Auszüge aus einem Packageplan eines Kompaktfahrzeuges, vgl. [4]</i>	17
<i>Bild 3.8: Klassifizierung zwischen unterschiedlichen Mannequins und Perzentilen, vgl. [26]</i>	19
<i>Bild 3.9: Definition des Hackenaufstandpunktes und des BoF</i>	20
<i>Bild 3.10: Konzeptvergleich unterschiedlicher Fahrzeugklassen durch den Einsatz von GCIE-Maßen, vgl. [29]</i>	21
<i>Bild 3.11: Verschiedene Sitzhaltungen aufgrund unterschiedlicher H5 Maße, vgl. [31]</i>	22
<i>Bild 3.12: Hauptmaßkette in X-Richtung</i>	23
<i>Bild 3.13: Hauptmaßkette in Y-Richtung</i>	24
<i>Bild 3.14: Hauptmaßkette in Z-Richtung</i>	25
<i>Bild 3.15: Ford Model T-Packageplan, Quelle: www.smcars.net</i>	26
<i>Bild 3.16: Evolutionen in der rechnergestützten Produktentwicklung, vgl. [32]</i>	27
<i>Bild 3.17: Zeitersparnis durch Anwendung von Software in der Entwicklungsphase, vgl. [33]</i>	28
<i>Bild 3.18: IT-Unterstützung entlang des PEPs, vgl. [17]</i>	29
<i>Bild 3.19: Ablauf von EVA_OS unter dem Einsatz evolutionärer Algorithmen, vgl. [7]</i>	30
<i>Bild 3.20: Modulübersicht und deren Vernetzung in ConceptCar, vgl. [8]</i>	31
<i>Bild 4.1: Abstrakte Darstellung der Kombination beider Konzeptwerkzeuge</i>	33
<i>Bild 4.2: Ausgangsbasis der Fahrzeugparameter beider Konzeptwerkzeuge</i>	36
<i>Bild 4.3: Vorgehensweise bei der konzeptionellen Abbildung einer Fahrzeugaußenkontur</i>	38
<i>Bild 4.4: Abstrahierte Fahrzeugaußenform in Anlehnung an ein reales Fahrzeug</i>	39
<i>Bild 4.5: Unterschiedlich abstrakte Fahrzeugaußenkonturen</i>	40
<i>Bild 4.6: Einfluss des vorderen Windlaufpunktes auf das Blickfeld des Fahrers bei unterschiedlichen Fahrzeugklassen</i>	41

<i>Bild 4.7: Rasterbereich des vorderen und hinteren Windlaufpunktes für deren mögliche Positionen.....</i>	<i>42</i>
<i>Bild 4.8: Referenzmaße für H0010.....</i>	<i>43</i>
<i>Bild 4.9: H0010 in Abhängigkeit von H5 bzw. H100-B.....</i>	<i>45</i>
<i>Bild 4.10: Günstige und ungünstige Sichtbereiche des Fahrers</i>	<i>46</i>
<i>Bild 4.11: Referenzmaße für L0001</i>	<i>47</i>
<i>Bild 4.12: L0001 in Abhängigkeit von L101, L104 bzw. L114</i>	<i>48</i>
<i>Bild 4.13: Differenzmaß ΔL in Zusammenhang mit L114 und L0001</i>	<i>49</i>
<i>Bild 4.14: Verhältnis L0001 zu L114 in Anbetracht vom Differenzmaß ΔL.....</i>	<i>50</i>
<i>Bild 4.15: Aktualisierte Übersicht bestimmter Parameter durch die Schnittstelle</i>	<i>51</i>
<i>Bild 4.16: Visualisierung der automatisch generierten Parameter über eine Vorabdarstellung des Gesamtfahrzeuges in der Schnittstelle</i>	<i>52</i>
<i>Bild 4.17: Vergleich der Außenkontur zwischen der Vorabdarstellung in der Schnittstelle und dem Gesamtfahrzeugmodell in ConceptCar.....</i>	<i>54</i>
<i>Bild 4.18: Integration der Schnittstelle in die Methodik.....</i>	<i>54</i>
<i>Bild 5.1: Teilwissenschaften im Grundwissen der Ergonomie, vgl. [40].....</i>	<i>58</i>
<i>Bild 5.2: Ergonomie am Beispiel Innenraum der verschiedenen Volkswagen Golf Modelle, vgl. [29].....</i>	<i>59</i>
<i>Bild 5.3: Arbeitsweise zur Berücksichtigung ergonomischer Einflüsse, vgl. [2].....</i>	<i>60</i>
<i>Bild 5.4: Variable Sitzkiste für die Konzeptentwicklung</i>	<i>61</i>
<i>Bild 5.5: Ergonomie im Produktentstehungsprozess der AUDI AG, vgl. [41].....</i>	<i>62</i>
<i>Bild 5.6: Ermöglichte verbesserte Bedienbarkeit durch Einsatz virtueller Software, vgl. [42].....</i>	<i>62</i>
<i>Bild 5.7: RAMSIS-Untersuchung von Bewegungsabläufen im Fahrzeuginnenraum, vgl. [13].....</i>	<i>63</i>
<i>Bild 5.8: Türflanschgeometrie in Relation zur Sitzposition.....</i>	<i>65</i>
<i>Bild 5.9: Ableitung einer einfachen Türflanschgeometrie für die frühe Konzeptphase, Quelle: http://www.ausmotive.com.....</i>	<i>65</i>
<i>Bild 5.10: Maße und Maßketten der Türflanschgeometrie.....</i>	<i>66</i>
<i>Bild 5.11: Vereinfachung der Gelenksanzahlen vom Menschen zum Modell.....</i>	<i>67</i>
<i>Bild 5.12: „Schlüpf“-Strategie, vgl. [44].....</i>	<i>69</i>
<i>Bild 5.13: „Fädel“-Strategie, vgl. [44].....</i>	<i>69</i>
<i>Bild 5.14: „Plumps“-Strategie, vgl. [44].....</i>	<i>70</i>
<i>Bild 5.15: „Hürden“-Strategie, vgl. [44].....</i>	<i>71</i>
<i>Bild 5.16: Markante Bereiche im Türflansch nach [44]</i>	<i>72</i>
<i>Bild 5.17: Ebener und räumlicher Pareto-optimaler Lösungsraum.....</i>	<i>74</i>
<i>Bild 5.18: Definition der Koordinatenänderung H-Punkt</i>	<i>76</i>
<i>Bild 5.19: Höhere und tiefere Einstiegssituation.....</i>	<i>78</i>
<i>Bild 5.20: Lösungsvorschlag zur Beurteilung der H-Punkt Koordinatenänderung mit Hilfe des Differenzmaßes ΔH.....</i>	<i>79</i>

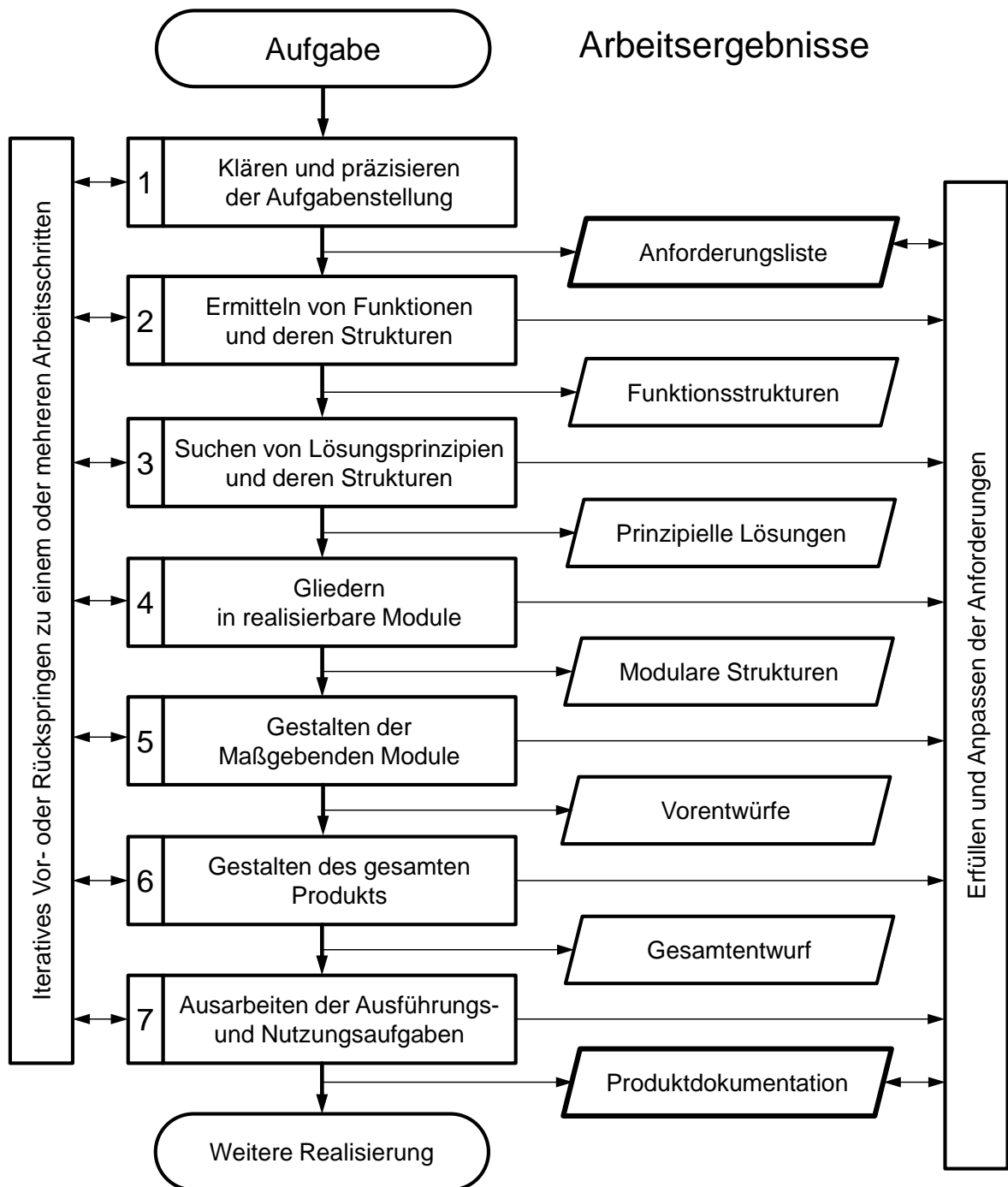
<i>Bild 5.21: Gekrümmte Haltung des Oberkörpers während des Einstiegvorgangs.....</i>	<i>80</i>
<i>Bild 5.22: Darstellung des Kopfüberhangs beim Einstieg</i>	<i>82</i>
<i>Bild 5.23: Positiver und negativer Kopfüberhang.....</i>	<i>83</i>
<i>Bild 5.24: Ermittlung der Grenzkrümmung R2 der menschlichen Wirbelsäule.....</i>	<i>84</i>
<i>Bild 5.25: Darstellung der Einstiegssituation für das linke Bein</i>	<i>85</i>
<i>Bild 5.26: Einflussgrößen zwischen Beinmodell und Türflanschgeometrie</i>	<i>86</i>
<i>Bild 5.27: Vorgehensweise innerhalb einer Optimierungsschleife zur Findung und Bewertung der Türflanschmaße L1 und T1</i>	<i>89</i>
<i>Bild 5.28: Parametrisiertes Einstiegsmodell in CATIA V5 zur Ermittlung von Referenzmaßen.....</i>	<i>90</i>
<i>Bild 5.29: Vorgehensweise bei der Ermittlung des Diskomforts im Rahmen der Diplomarbeit</i>	<i>92</i>
<i>Bild 5.30: Pareto-optimaler Lösungsraum für das Teilkriterium 1</i>	<i>94</i>
<i>Bild 5.31: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie für das Teilkriterium 1</i>	<i>95</i>
<i>Bild 5.32: Pareto-optimaler Lösungsraum für das Teilkriterium 2</i>	<i>96</i>
<i>Bild 5.33: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie für das Teilkriterium 2</i>	<i>96</i>
<i>Bild 5.34: Pareto-optimaler Lösungsraum für das Teilkriterium 3</i>	<i>97</i>
<i>Bild 5.35: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie für des Teilkriterium 3.....</i>	<i>98</i>
<i>Bild 5.36: Pareto-optimaler Lösungsraum des Ergonomie-Indexes</i>	<i>98</i>
<i>Bild 5.37: 2D-Darstellung der Türflanschgeometrie des Ergonomie-Indexes.....</i>	<i>99</i>
<i>Bild 5.38: In das Gesamtfahrzeugmodell von ConceptCar implementierte Türflanschgeometrie</i>	<i>100</i>
<i>Bild 5.39: Methodik der Konzepttoolkombination unter Berücksichtigung der in dieser Arbeit entwickelten Schnittstelle und der Erweiterung um einen „Ergonomie-Index“</i>	<i>101</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 4-1: Auflistung der Eigenschaften beider Konzeptwerkzeuge</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 4-2: Auflistung der zusätzlich-relevanten Maße zur Beschreibung der konzeptionellen Fahrzeugsilhouette</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 4-3: Referenzmaße für H0010</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 4-4: Referenzmaße für L0001</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 4-5: Parametrisierte bzw. konstante Maße</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 4-6: Auswahl der Karosserieform</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 5-1: Übersicht der der Minimal- bzw. Maximal-Restriktionen</i>	<i>87</i>
<i>Tabelle 5-2: Restriktionsgrenzen bei der Ermittlung der Diskomfortbeurteilung.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabelle 5-3: Umbenennung und Gewichtungsverteilung der Teilkriterien für die Untersuchung</i>	<i>93</i>
<i>Tabelle 5-4: Bedingungen der zu untersuchenden Punkte an die drei Optimierungskriterien</i>	<i>93</i>
<i>Tabelle 5-5: Fahrzeugeigenschaften und Optimierungsziele im Rahmen der Validierung.</i>	<i>94</i>
<i>Tabelle 5-6: Türflanschabmessungen</i>	<i>100</i>

Anhang

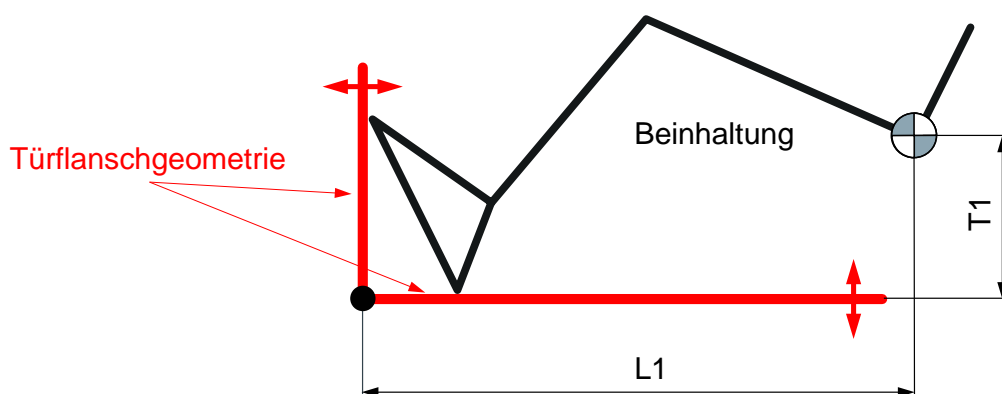
- a) VDI 2221, Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (Verweis zu Kapitel 3.3)



b) Ermittelte ergonomische Referenzmaße zur Beurteilung der Grenzwinkel der Beingelenke (Verweis zu Kapitel 5.4.4)

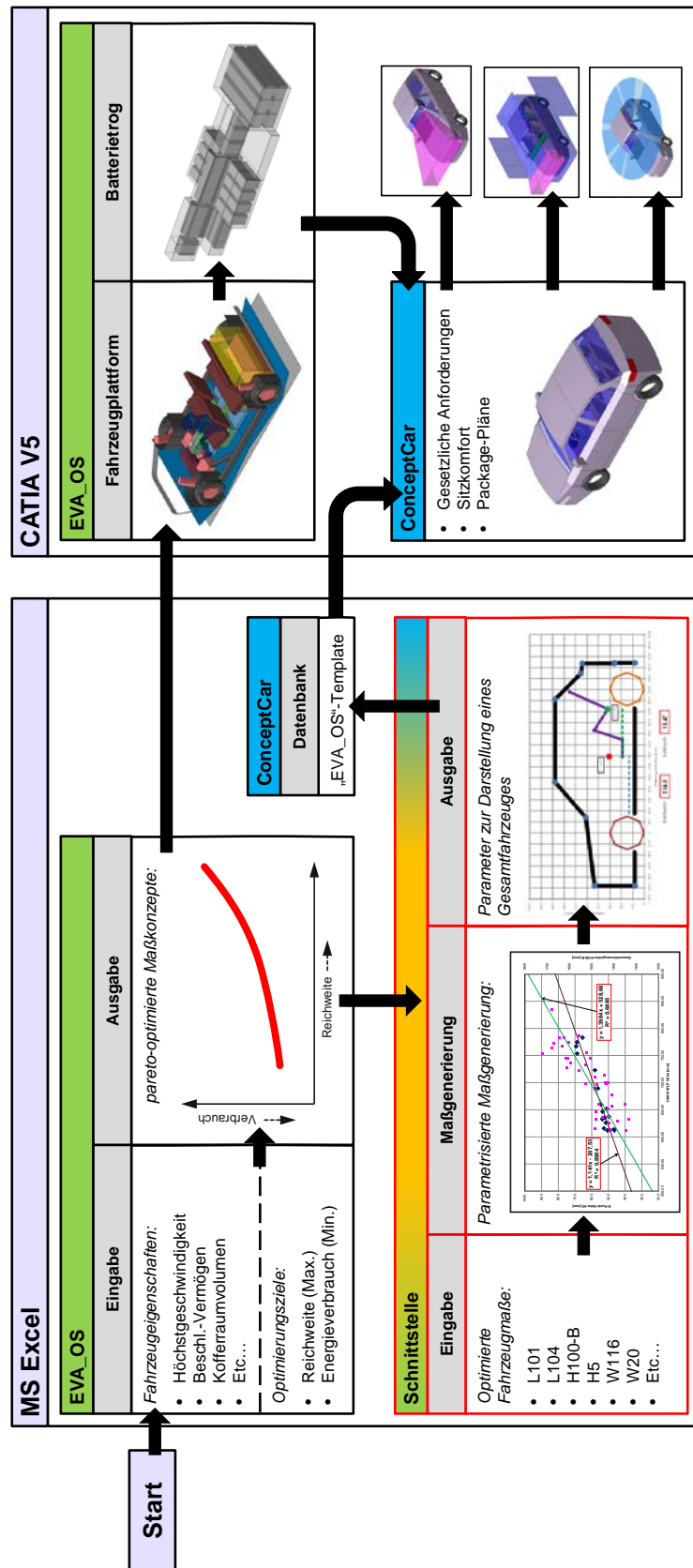
Diskomfort [0 – 8]	Türflanschmaß L1 [mm]												
	700	720	740	760	780	800	820	840	860	880	900	920	
Türflanschmaß T1 [mm]	111	3,30	3,70	3,70	4,10	4,10	3,80	3,50	3,10	2,40	1,90	1,60	1,40
	131	3,50	3,40	3,50	3,90	3,90	4,10	3,70	3,20	2,50	2,00	1,60	1,40
	151	3,20	3,50	3,70	3,70	3,80	4,00	3,70	3,40	2,70	2,10	1,60	1,40
	171	3,30	3,20	3,50	3,60	3,60	3,70	4,10	3,60	2,80	2,20	1,70	1,50
	191	3,20	3,10	3,00	3,50	3,50	3,60	4,00	3,30	2,90	2,30	1,80	1,50
	211	3,10	3,00	3,30	3,30	3,40	3,50	3,50	3,60	3,00	2,40	1,90	1,60
	231	3,00	2,90	2,60	3,20	3,30	3,40	4,30	3,60	3,00	2,40	1,90	1,60
	251	2,90	2,80	2,80	3,10	3,20	3,30	3,30	3,60	2,90	2,50	2,00	1,50
	271	2,80	2,70	2,90	2,90	3,10	3,20	3,20	3,60	3,00	2,50	2,00	1,50
	291	2,50	2,50	2,50	2,80	2,90	3,10	3,20	3,70	3,00	2,50	2,00	1,50
	311	2,20	2,20	2,90	2,70	3,10	3,10	2,90	3,60	2,90	2,40	2,00	1,60
	331	2,00	2,00	2,50	2,60	2,80	2,80	2,70	3,50	2,80	2,20	1,90	1,40
	351	1,70	1,70	2,20	2,30	2,40	2,50	2,50	2,50	2,70	2,10	1,90	1,40
	371	0,60	1,70	1,80	2,00	2,20	2,30	2,40	2,30	2,10	2,00	1,60	1,20
	391	0,60	0,70	1,30	1,70	2,00	2,20	2,20	2,00	2,50	1,90	1,60	1,30
411	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60	0,40	

Bei den in der oben angeführten Tabelle aufgelisteten Zahlen, handelt es sich um eine RAMSIS-spezifische Beurteilungsskala, die den Grad des Komforts beurteilt. Die Grenzwerte der Skala sind null bzw. acht, wobei die Zahl null komfortabel und die Zahl acht unkomfortabel repräsentieren. Jeder der aufgelisteten Werte entspricht somit einer Diskomfort-Beurteilung der eingenommenen Haltung des linken Beines beim Heben in das Fahrzeug, die sich aus der Konstellation der Maße L1 und T1 beschreibende Türflanschgeometrie definiert.



Die Diskomfort-Maße sind im Zuge der, in Kapitel 5.4.4 aufgezeigten, Vorgehensweise zur Bestimmung geeigneter Referenzmaße ermittelt worden und werden zur Beurteilung im Teilkriterium „Grenzwinkel der Beingelenke“ im Ergonomie-Index herangezogen.

c) Erweiterte Darstellung der Methodik durch die Schnittstelle (Verweis zu Kapitel 4.5)



d) Erweiterte Darstellung der Methodik durch die Schnittstelle und dem Ergonomie-Index (Verweis zu Kapitel 5.7)

