



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

CAD-Integration fahrfremder Tätigkeiten in die geometrische Konzeptphase hochautomatisierter Fahrzeuge

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplomingenieurs (Dipl.-Ing. oder DI) eingereicht an der TU Wien,
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Michael Colleselli

Matr.Nr.: 1128121

unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Manfred Grafinger

Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung, E307

und

Niko Seebach, M.Sc.

BMW Group

München, am 3. November 2019

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

**CAD-Integration fahrfremder Tätigkeiten in die geometrische
Konzeptphase hochautomatisierter Fahrzeuge**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht. Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

München, am 3. November 2019

Michael Colleselli

Kurzfassung

Die Entwicklung des autonomen Fahrens revolutioniert die Automobilindustrie. Damit einhergehend ergeben sich neue Möglichkeiten der Fahrzeitnutzung für den Fahrer, da er das Fahrzeug nicht mehr selbst steuert, sondern nur als Passagier agiert.

Das im Vordergrund stehende Ziel der Arbeit ist es, ein CAD¹-Tool zu entwickeln, welches die Möglichkeit bietet die Integration fahrfremder Tätigkeiten in die geometrische Konzeptphase hochautomatisierter Fahrzeuge zu bewerten. Durch Anpassen der Steuerungsparameter des parametrisch-assoziativ gestalteten Modells kann eine Veränderung des Fahrzeugkonzeptes durchgeführt und so eine Adaption an eine fahrfremde Tätigkeit vorgenommen werden.

In zwei speziellen Anwendungsfällen werden die Auswirkungen der Ausübung fahrfremder Tätigkeiten in bestehenden Fahrzeugkonzepten aufgezeigt. Die Ergebnisse der Arbeit legen dar, dass durch die Integration in aktuellen Konzepten die Automobilhersteller vor großen Herausforderungen stehen, gefolgt von einem komplexen Entwicklungsprozess. Infolge der Vielzahl an möglichen Aktivitäten sind umfangreiche Veränderungen im Innenraum und im Gesamtfahrzeugkonzept erforderlich.

¹Computer Aided Design (Rechnerunterstützte Konstruktion)

Abstract

The technology-driven trend autonomous driving is revolutionizing the automotive industry at the moment. With autonomous driving and the evolving level of automation in the vehicle, the driver is permitted to undertake other activities while travelling.

This thesis aims to develop a CAD-tool, which evaluates the integration of non-driving-related activities in the geometric conception of highly automated cars. By adapting the control parameters of the parametrically associatively designed model, adjustments of the vehicle concept can be made in order to integrate non-driving-related tasks.

In two specific use cases, the impact of non-driving-related activities is demonstrated on the existing vehicle conception. The results of the thesis show that with the integration in existing concepts the automotive industry faces some major challenges followed by a complex development process. Due to a wide range of activities that will be possible while travelling in the car, serious changes need to be done in the interior and the whole concept of the vehicle.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Aufgabenstellung und Ziele	2
2	Grundlagen	4
2.1	Fahrzeugentwicklung	4
2.2	Klassifizierung von Fahrzeugen	7
2.3	Ergonomie im Fahrzeug	8
2.3.1	Anthropometrie	9
2.3.2	Menschmodelle in der Fahrzeugentwicklung	10
2.3.3	Fahraufgabe	11
2.4	Autonomes Fahren	13
2.5	Fahrfremde Tätigkeiten	15
2.5.1	Ausprägungen möglicher fahrfremder Tätigkeiten	15
2.5.2	Geometrische Beschreibung fahrfremder Tätigkeiten	16
3	Methodik	18
3.1	Parametrisch-assoziative Konstruktion	19
3.2	Wissensbasierte Konstruktion	19
4	Ergebnis	21
4.1	Aufbau des Modells	21
4.1.1	Menschmodell	22
4.1.2	Fahrzeugmodell	30
4.2	Parametrik	33

4.2.1	Parametrik des Menschmodells	33
4.2.2	Parametrik des Fahrzeugmodells	35
4.3	Steuerung des gesamten Modells	38
5	Anwendung und Validierung	40
5.1	Anwendung	40
5.1.1	Menschmodell	40
5.1.2	Fahrzeugmodell	44
5.2	Spezielle Anwendungsfälle	45
5.2.1	Arbeiten in einem SUV	46
5.2.2	Schlafen in einer Limousine	47
5.3	Diskussion	49
6	Zusammenfassung und Fazit	52
	Abbildungsverzeichnis	VI
	Tabellenverzeichnis	VIII
	Literaturverzeichnis	IX

Kapitel 1

Einleitung

Die Automobilindustrie liegt im Wandel, sei es im Bereich der Antriebstechnik als auch im Bereich der Fahrzeugkonzeption. Dabei wird der Umschwung bei den Antrieben durch den Klimawandel und den strenger werdenden Abgasvorschriften getrieben. Bei den Fahrzeugkonzepten hingegen spielt die Digitalisierung und Automatisierung eine wesentliche Rolle. Durch die in Zukunft autonom fahrende Fahrzeuge ergeben sich neue Möglichkeiten und auch Herausforderungen in der Gestaltung und Konzeptentwicklung.

Im Zuge dieser Diplomarbeit wird ein parametrisch-assoziatives CAD-Modell des Menschen und des Gesamtfahrzeuges mit der Software *CATIA*¹ V5 erstellt. Die Automatisierung der Fahraktivität bedingt die Option der Nutzung der Fahrzeit für fahrfremde Tätigkeiten. Es sollen deshalb die Auswirkungen der Ausführung fahrfremder Tätigkeiten auf die geometrische Konzeption des Fahrzeuginnenraumes und somit auch auf das Gesamtfahrzeugkonzept aufgezeigt werden.

1.1 Motivation

Autonom fahrende Fahrzeuge bieten komplett neue Möglichkeiten für die Gestaltung der Aktivitäten während einer Fahrt mit einem Kraftfahrzeug. So wird diese Thematik bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts, wie in Abb. 1.1 darge-

¹CAD-System der Firma Dassault Systems

stellt, erwähnt. Es ist also nicht ausreichend die Entwicklung des autonomen Fahrens voranzutreiben, sondern auch notwendig über die Gesamtfahrzeugkonzepte der Zukunft nachzudenken. Die vorliegende Arbeit ist ein erster Ansatz, um die neuen Herausforderungen der Integration fahrfremder Tätigkeiten in bestehende Fahrzeugkonzepte hervorzuheben und soll eine Hilfestellung in der Konzeptfindung und vor allem in der Anfangsphase der Fahrzeugentwicklung sein.

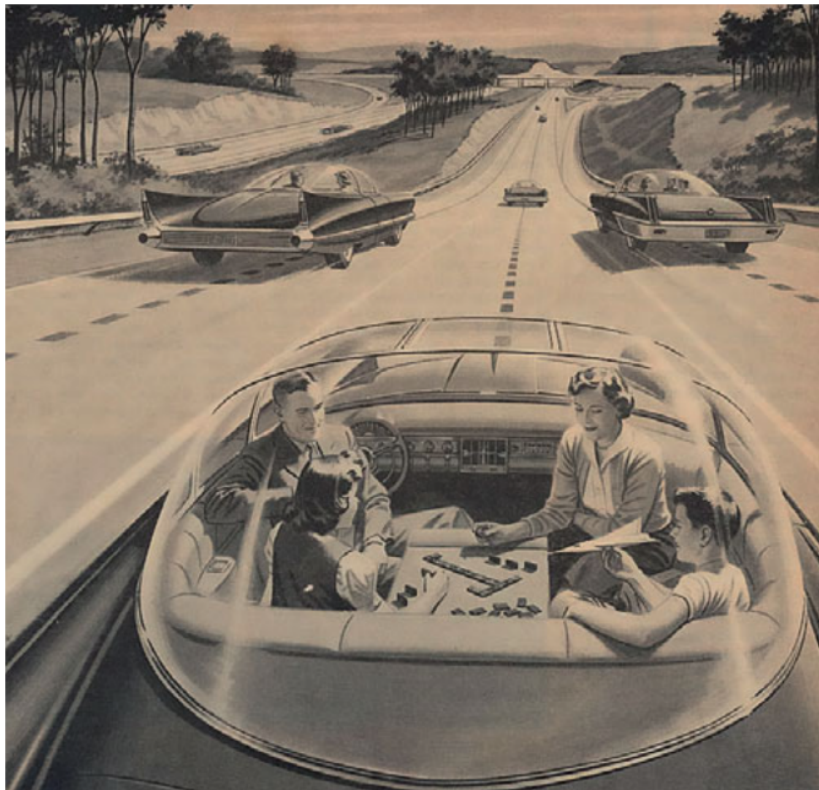


Abbildung 1.1: Anzeige im *Life*-Magazin von 1956 des Unternehmens Americas Independent Electric Light and Power Companies [1]

1.2 Aufgabenstellung und Ziele

Ziel der Arbeit ist es, ein parametrisch-assoziatives CAD-Modell in *CATIA V5* aufzubauen, mit dem die Aus- und Wechselwirkungen der Ausübung fahrfremder Tätigkeiten auf das Gesamtfahrzeugkonzept und auf den Innenraum aufgezeigt werden können. Die Parametrik stellt dabei sicher, dass schnell zwischen den verschiedenen neuen fahrfremden Tätigkeiten und auch den Fahrzeugvarianten

gewechselt werden kann. Das Tool kann somit in den Entwicklungsprozess mit aufgenommen werden und dient zur Erleichterung der ersten geometrischen Bewertung des vorhandenen Raumes für bestimmte fahrfremde Tätigkeiten die in das vorliegende Fahrzeugkonzept integriert werden sollen. Das Modell dient zur Entwicklungsabsicherung in der frühen Phase des zukünftigen Fahrzeugentwicklungsprozesses.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Fahrzeugentwicklung

Der Fahrzeugentwicklungsprozess ist ein sehr komplexer und somit zeitaufwändiger Prozess, während dem es immer wieder zu Verwerfungen kommt und von Neuem begonnen wird. Durch die CAD-Unterstützung kann er wesentlich verbessert und beschleunigt werden [2]. Im Folgenden wird dieser Prozess mit Hauptaugenmerk auf die geometrische Entwicklung kurz erläutert.

Der Entwicklungsprozess wird grundsätzlich in 2 Teile aufgeteilt. Zum einen in die Konzeptphase und zum anderen in die Serienentwicklungsphase, in welchen auch der Prozess von *Opel* aus Abb. 2.1 gegliedert ist. Die Konzeptphase wird auch als frühe Entwicklungsphase bezeichnet [3]. Um die Entwicklung zu verkürzen und somit besser und schneller auf Kundenwünsche einzugehen laufen diese zwei Phasen seit den 1980er Jahren größtenteils simultan ab, auch als *Simultaneous Engineering* bezeichnet. Während der Konzeptphase werden das Maßkonzept erstellt und die Anforderungen definiert. In der Serienentwicklungsphase wird das Fahrzeug dann aufgrund dessen ausgestaltet und endet schließlich mit dem Beginn der Produktion (Start of Production, SOP). [4]

Die hier vorliegende Arbeit ist in die Konzeptphase (frühe Entwicklungsphase) einzuordnen.

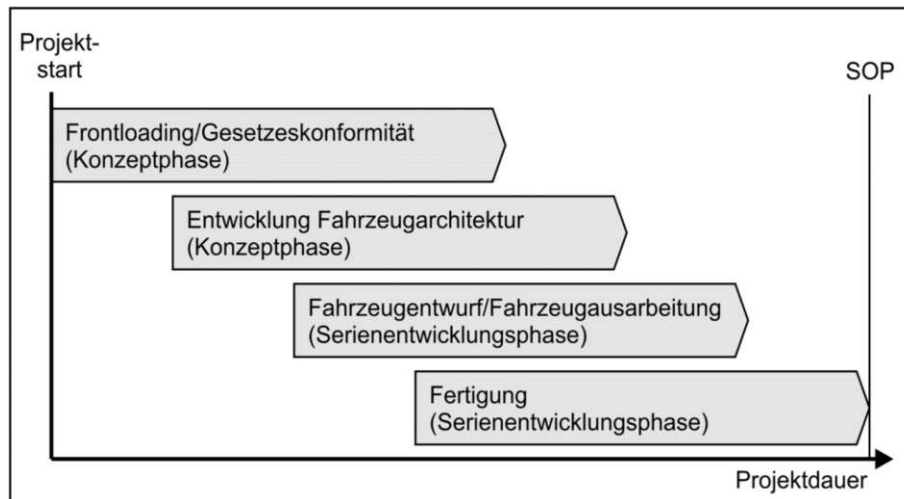


Abbildung 2.1: Entwicklungsprozess von Fahrzeugen der Marke *Opel* [4]

Die Erstellung des Maßkonzeptes kann von einem neuen Fahrzeugkonzept zu einer Variantenkonstruktion sehr unterschiedlich sein. Bei einer Erzeugung einer Variante eines bestehenden Fahrzeugkonzeptes ist bereits eine Basis von Daten vorhanden, die nur angepasst werden muss. Bei einer kompletten Neukonstruktion eines Fahrzeugkonzeptes liegen noch keine Daten vor, weshalb hier zuerst ein Grobkonzept erstellt wird, um die primären Eigenschaften des Fahrzeuges bzw. des Konzeptes zu definieren. [5]

Um die Herausforderungen einer Konzeptentscheidung mit wenig vorhandenen Daten zu erleichtern, werden parametrische Prinzipmodelle des Gesamtsystems aufgebaut. Besonders in der Geometrie lassen sich so schnell verschiedene Konzepte erstellen, die zur Entscheidungsfindung herangezogen werden, nachteilig ist dabei der noch niedrige Detaillierungsgrad. [3]

In der Vergangenheit waren Abmessungen von Fahrzeugen nicht genormt, Maßkonzepte wurden von Experten aufgrund von Erfahrungen aufgebaut. In den 1970er Jahren wurden diese dann in der Norm SAE¹ J1100 vereinheitlicht. Diese Norm ist die Grundlage für die Erstellung der so genannten GCIE²-Austauschlisten die dazu dienen Fahrzeugabmessungen zwischen den verschiedenen Herstellern

¹Society of Automotive Engineers

²Global Cars Manufacturers Information Exchange Group [6]

vergleichen zu können. Innerhalb dieser kann zwischen Längen-, Breiten- und Höhenmaße unterschieden werden, die kombiniert mit einer Zahl das jeweilige Maß definieren. Werte von 1-99 stellen Innenraumabmessungen und jene von 100-199 Außenabmessungen dar. [4]

In Zukunft wird es erforderlich sein die Fahrzeugkonzeption anzupassen, um noch speziellere Anforderungen der Mobilität aufgrund der autonomen Fahrweise und der damit verbundenen Erweiterung der Möglichkeiten zur Fahrzeitnutzung gerecht zu werden. Dabei ist es wichtig vor allem die nutzerorientierte Konzeption in den Vordergrund zu rücken, da die neuen erdenklichen Haltungen der Passagiere während der fahrfremden Tätigkeiten das Maßkonzept bzw. das Gesamtfahrzeug maßgeblich beeinflussen. In Abb. 2.2 sind Fahrzeugkonzepte in Abhängigkeit der Haltungen der Passagiere dargestellt. Für Langstrecken in denen die liegende Haltung von großer Bedeutung wird, sind Fahrzeuge mit längerem Radstand für den Nutzer von Vorteil. Für den urbanen Anwendungsbereich hingegen werden die Fahrzeuge immer kompakter, jetzt bereits an den in den Großstädten weit verbreiteten Elektro-Tretrollern zu erkennen. [7]

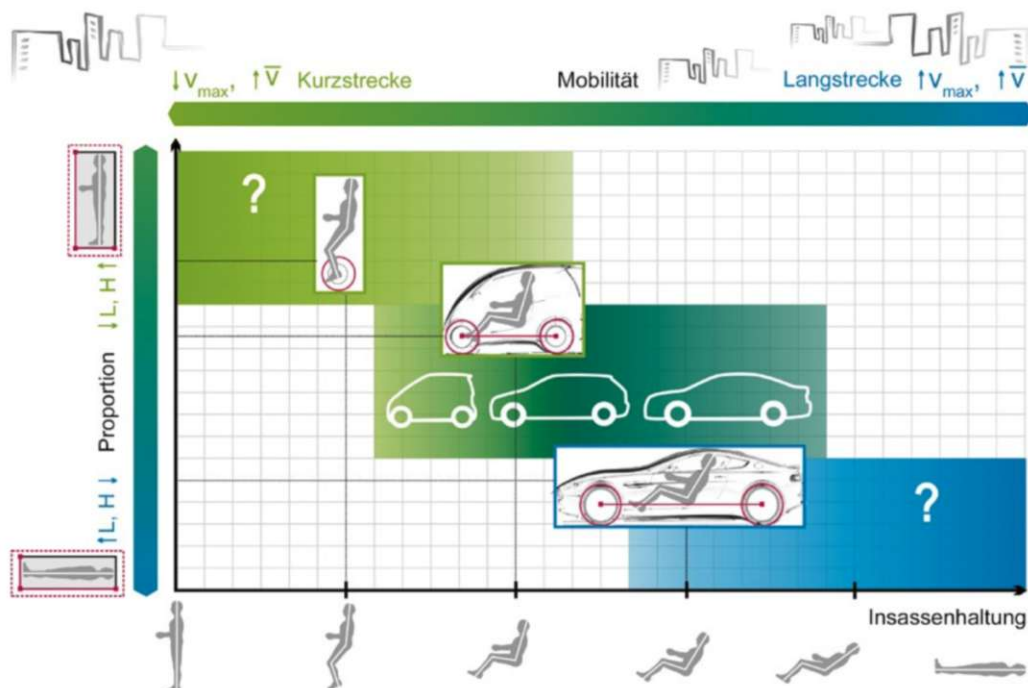


Abbildung 2.2: Mögliche Fahrzeugkonzepte abhängig von der Insassenhaltung [7]

2.2 Klassifizierung von Fahrzeugen

Kraftfahrzeuge können in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Je nach Land und Autor kann das nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Am häufigsten werden sie nach ihrer Größe, abhängig von den Außenabmessungen, oder nach ihrem Aufbau eingeteilt. Dies ist jedoch oft nicht ausreichend, weshalb noch weitere Kriterien wie z.B. der Verwendungszweck oder die Fahrzeuggrundform zur Klassifizierung hinzugezogen werden. Beispielkategorien für den Verwendungszweck sind Cabrios, Sportwagen, Geländefahrzeuge oder Vans. Zur Beschreibung der Grundform gibt es drei Formen: 1-Box, 2-Box und 3-Box, welche nachfolgend näher erläutert werden. [3]

1-Box Die Trennung der Insassen mit Gepäck vom Antriebsstrang wird nicht wahrgenommen, das Fahrzeug erscheint als ein einziges Volumen. (Beispiel: Vans) [3]

2-Box In dieser Kategorie wird das Fahrzeug in zwei Volumen aufgetrennt. Zum einen in den Bereich des Antriebsstrangs und zum anderen in den Bereich der Passagiere und Gepäck, beispielsweise die Touring-Modelle von *BMW*. [3]

3-Box Hiermit erfolgt die Aufteilung in die 3 Bereiche Motor/Antriebsstrang, Passagierraum und Gepäckraum. Ein Beispiel hierfür ist eine Limousine. [3]

Zur Reduktion der Komplexität in der frühen Phase der Entwicklung erfolgt für diese Arbeit die Einteilung der Fahrzeuge ausschließlich nach ihrer Größe und ihrer Grundform, zu sehen in Abb. 2.3. Wobei die Größenabstufungen des Kraftfahrtbundesamtes zu den drei Kategorien Kleinwagen (Minis und Kleinwagen), Mittelklasse (Kompaktklasse und Mittelklasse) und Oberklasse (obere Mittelklasse und Oberklasse) zusammengefasst werden. [4]

	Kleinwagen	Mittelklasse	Oberklasse
1 Box			
2 Box			
3 Box			

Abbildung 2.3: Klassifizierung der Fahrzeuge nach ihrer Größe und ihrer Grundform [8]

2.3 Ergonomie im Fahrzeug

Die Ergonomie ist eine angewandte Wissenschaft zur Gestaltung von Gütern, die von Menschen benutzt werden, so dass diese möglichst gut und sicher mit dem Menschen interagieren. Eine wichtige Anwendung der Ergonomie in der Automobilindustrie ist die Gestaltung des Fahrzeuginnenraums zur Maximierung von Komfort, Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit. [9]

In den Jahren zwischen 1960 und 1980 definierte die SAE Richtlinien zur Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes mit Fokus auf Körperhaltung und Sichtbedingungen. Diese sind heute verpflichtend zu erfüllen, um die Zulassung für ein Fahrzeug in den USA zu erhalten. [3]

Wichtig ist es zwischen der Produktergonomie, welche sich mit der Ergonomie eines Produktes beschäftigt, und der Produktionsergonomie, welche hingegen die Ergonomie eines Arbeitsplatzes beschreibt, zu unterscheiden. Häufig können diese jedoch nicht strikt voneinander getrennt werden, weshalb sich folgende übergreifende Gebiete etabliert haben. Zum einen die Systemergonomie, die das Ziel hat den Mensch-Maschine-Informationsfluss zu optimieren. Weiters die anthro-

pometrische Ergonomie. Sie beschäftigt sich mit der Optimierung des Gutes/der Maschine an die körperlichen Bedingungen des Menschen. Und zum Schluss noch die Ergonomie der Umwelt. Wie der Name schon sagt steht hierbei die beste Gestaltung der Umgebungsbedingungen für den Menschen im Vordergrund. [3]

Die anthropometrische Ergonomie ist ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit, weshalb darauf im Folgenden näher eingegangen wird.

2.3.1 Anthropometrie

Die Anthropometrie beschäftigt sich mit den Maßen des Körpers und deren Bestimmung. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf die Länge der Extremitäten, die Lage dieser zueinander, die Beweglichkeit und die Erreichbarkeit dieser gelegt. Zur Vermessung der Dimensionen gibt es die Messmethode nach Martin, welche mit Messbesteck erfolgt, und das Bodyscanning, welche eine optische Methode darstellt. [10]

Perzentil Die Perzentilierung ist die statistische Auswertung der Körpermaße einer Population bzw. einer repräsentativen Stichprobe einer Population. Diese sind in den meisten Fällen normalverteilt, somit genügt die Beschreibung über den Mittelwert und die Standardabweichung. Ein bestimmtes Perzentil stellt dabei eine Charakterisierung der Abmessung dar. Für das Perzentil ξ gilt somit, dass $\xi\%$ der Population kleiner sind als dieses Maß. Das 50. Perzentil stellt das arithmetische Mittel dar, unter der Annahme der Normalverteilung. Bei der ergonomischen Auslegung einer Maschine bzw. der Fahrzeuge werden die Grenzperzentile herangezogen, diese sind das weibliche 5. Perzentil und das männliche 95. Perzentil. [10]

Bezugsjahr Bei den Körperabmessungen ist über die Jahre hinweg eine Akzele-
ration zu beobachten. Dies bedeutet, dass der Bevölkerungsdurchschnitt abhängig vom Bezugsjahr immer größer wird [10]. [3]

Geschlecht Die Körpermaße sind in der Regel zwischen den Geschlechtern unterschiedlich. So ist eine Differenz bei der Größe von ungefähr 10 cm innerhalb des gleichen Perzentils festzustellen. [10]

In der anthropometrischen Gestaltung von Fahrzeugen mit CAD-Modellen wird angenommen, dass die drei Perzentile 5, 50 und 95 ausreichen, um die Maße des menschlichen Körpers ausreichend genau abzubilden [3]. Aus diesem Grund werden auch in dieser Arbeit ausschließlich diese drei Perzentile verwendet.

2.3.2 Menschmodelle in der Fahrzeugentwicklung

Zur Analyse von Maßkonzepten im Entwicklungsprozess kommen verschiedene Menschmodelle zum Einsatz. Eines davon ist die SAE-Körperumrisschablone, welche auch im CAD-Modell dieser Arbeit mit aufgenommen wird, um eine bessere Vergleichbarkeit zu schaffen. Ein wesentlicher Nachteil dieses Modells ist die nur sehr eingeschränkt mögliche Variation der Körpergrößen. Im Zuge der Einführung von CAD-Systemen entstanden dreidimensionale Menschmodelle wie z.B. *RAMSIS*¹. Dieses dient vor allem zur Durchführung von Ergonomieanalysen und ist heute eines der am weit verbreitetsten Menschmodelle. [4]

Die Personentypologie von RAMSIS wurde durch neue Vermessung von Personen und einer Auswertung von schon vorhandenen Daten generiert. Es besteht die Möglichkeit die realen Körpercharakteristika in drei verschiedenen Kategorien zu verändern: Körpergröße, Proportion und Korpulenz. Einzigartig, im Vergleich mit anderen Menschmodellen, ist, dass die Typologie nicht auf den gängigen Perzentilwerten aufbaut, sondern eigenständig neu entwickelt wurde. Dadurch wird die reale Abbildung von Personen erreicht. [12]

¹Rechnergestütztes Anthropometrisch-Mathematisches System zur Insassen-Simulation (Virtuelles, dreidimensionales Menschmodell von *Human Solutions GmbH*) [11]

2.3.3 Fahraufgabe

Die Fahraufgabe stellt eine Interaktion zwischen Mensch und Maschine dar, welche von Informationsflüssen geprägt wird. Das Ziel des Fahrens ist es, die Destination zu erreichen unter Einhaltung aller Randbedingungen. Dabei gilt es auftretende Abweichungen zu korrigieren und die Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern zu vermeiden. Grundsätzlich kann die Fahraufgabe in drei Bereiche eingeteilt werden, die primäre, sekundäre und tertiäre Fahraufgabe. In Abb. 2.4 werden diese mit den dazugehörigen Teilaufgaben veranschaulicht. [10]

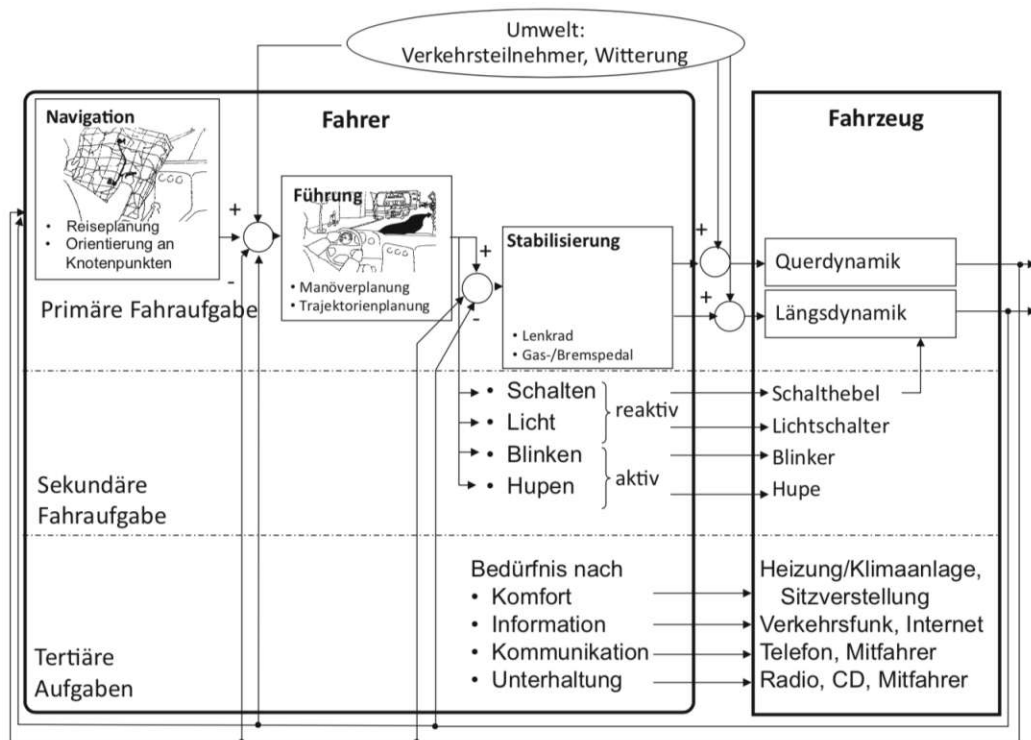


Abbildung 2.4: Regelkreis der Fahraufgabe mit Zuordnung der einzelnen Tätigkeiten in die drei Bereiche [3]

Primäre Fahraufgabe Wird die primäre Fahraufgabe auf ihre Quintessenz reduziert so besteht diese aus der Transporttätigkeit von Gütern und/oder Personen von einem Ort zu einem anderen. Bei ausführlicher Betrachtung besteht diese aus der Navigations-, Führungs- und Stabilisierungsaufgabe, wie auch in Abb. 2.4 zu sehen. Die Navigation beinhaltet die Routenauswahl, die Kalkula-

tion der Fahrzeit damit die gewünschte Ankunftszeit eingehalten werden kann und weiters die Richtungswahl während des Fahrens, um der vorher bestimmten Route zu folgen. Durch die Routenauswahl sind die groben Rahmenbedingungen abgesteckt und es erfolgt eine Hierarchieebene weiter unten die Führungsaufgabe. Dazu gehören alle Tätigkeiten die notwendig sind, um das Fahrzeug auf Kurs und die Sollgeschwindigkeit zu halten. Etwaige Störgrößen, wie z.B. andere Verkehrsteilnehmer, Witterungsbedingungen, Hindernisse und mehr gilt es auszugleichen. Durch die Stabilisierungsaufgabe erfolgen dann, sofern erforderlich, die Korrekturmaßnahmen. Ziel ist es die Quer- und Längsdynamik, wie z.B. mit den Elementen Lenkung und Bremse, so zu beeinflussen, dass die Führungsaufgabe erfüllt werden kann. [10]

Sekundäre Fahraufgabe Die sekundären Fahraufgaben treten abhängig von den Primären auf. So ist die Betätigung des Fahrtrichtungsanzeigers eine Aktion, die den anderen Verkehrsteilnehmern die Absichten des Fahrers mitteilt [3]. Eine weitere aktive Maßnahme ist z.B. das Hupen. Reaktiv hingegen erfolgt das Schalten zur Bewältigung einer bevorstehenden Steigung oder das Einschalten des Scheibenwischers aufgrund einsetzenden Regens. [10]

Tertiäre Fahraufgabe Als tertiäre Fahraufgaben werden jene Tätigkeiten bezeichnet, die nicht direkt mit der Grundfahrtätigkeit zusammenhängen. Das heißt diese führen zu einer Ablenkung von der primären Fahraufgabe. Beispiele hierfür sind die Bedienung des Infotainment-Systems, der Klimaanlage oder auch die Kommunikation mit den anderen Passagieren. [10]

Durch die Entwicklung autonom fahrender Kraftfahrzeuge wird der Regelkreis zwischen Mensch und Maschine (Abb. 2.4) entkoppelt. Die tertiäre Fahraufgabe und auch weitere fahrfremde Tätigkeiten werden in den Vordergrund gerückt, da die primäre und sekundäre Fahraufgabe ihre Bedeutung verlieren.

2.4 Autonomes Fahren

Mit steigendem Automatisierungsgrad werden immer mehr Tätigkeiten der Fahraufgabe von der Maschine übernommen. Begonnen schon bei der primären Fahraufgabe mit der Navigation, die schon seit längerem mit GPS¹-basierten Navigationssystemen erfolgt. Eine weitere Unterstützung der Fahrtätigkeit erfolgt beispielsweise durch Automatikgetriebe, wodurch die sekundäre Fahrtätigkeit des Schaltens wegfällt. Das autonome Fahren, welches den Grund der möglichen Veränderung der Fahrzeugkonzepte darstellt und somit Ursache für diese Forschungsarbeit ist, wird in diesem Abschnitt erläutert.

Zur Beschreibung des Automatisierungsgrades eines Fahrzeuges werden von SAE 6 Stufen definiert [13]:

Level 0: Keine Automation Die gesamte Fahraufgabe wird vom Fahrer übernommen, er kann durch aktive Sicherheitssysteme wie z.B. ein Antiblockiersystem der Räder unterstützt werden.

Level 1: Fahrerassistenz Das System vollführt einen Teil der Fahraufgabe (Längs- oder Querdynamik), jedoch nie simultan, während der Fahrer den Rest übernimmt.

Level 2: Partielle Automation Das System vollführt einen Teil der Fahraufgabe (Längs- und Querdynamik), während der Fahrer das Erkennen der Umgebung unterstützt und die Fahrsituation überwacht.

Level 3: Eingeschränkte Automation Das System vollführt die gesamte Fahraufgabe, während der Fahrer stets bereit ist diese zu übernehmen und geeignet zu reagieren falls das System eine Intervention fordert oder andere Verkehrsteilnehmer bei der Ausführung der Fahraufgabe versagen.

¹Global-Positioning-System [10]

Level 4: Hohe Automation Das System vollführt die gesamte Fahraufgabe in einem limitierten Anwendungsbereich auch wenn eine Übernahme durch den Fahrer gefordert wird.

Level 5: Volle Automation Die gesamte Fahraufgabe wird in jeder Situation, ohne eine Übernahme durch den Fahrer zu fordern, übernommen.

LENZ [14] definiert autonomes Fahren mit Automatisierungslevel 4. Diese Arbeit ist somit bei Fahrzeugen ab diesem Level angesiedelt bei der keine Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer zwingend erforderlich ist und so jede erdenkliche fahrfremde Tätigkeit ausgeführt werden kann.

Ein Nachteil der Definitionen der Automatisierungslevel von SAE ist die mangelnde Eindeutigkeit, sodass bestimmte Funktionen nur unzureichend eingeordnet werden können. Solche Funktionen sind beispielsweise Spurverlassenswarnung oder Kollisionswarnung. Dies gestaltet sich deshalb schwierig, da die Funktionen den Fahrer nur warnen und nicht in die Fahrzeugsteuerung eingreifen. SEECK et al. schlägt deshalb eine Erweiterung der Klassifizierung nach dem Wirkmechanismus vor. [15]

Durch autonomes Fahren ergeben sich neue Herausforderungen in der nutzerzentrierten Gestaltung der Fahrzeuge. Je nach Automatisierungslevel können diese unterschiedlich ausfallen. Ein wichtiges Beispiel ist die Übernahme-Situation, die vorwiegend in den niedrigeren Levels auftreten. Hauptproblem stellt dabei die Zeit zur Übernahme durch den Fahrer dar. Je nach Fahrsituation bzw. Fahrzustand und Ablenkungslevel des Fahrers sind unterschiedliche Zeitspannen erforderlich. Unklar ist auch noch wie die Warnung zur Übernahme bestmöglich erfolgen kann. Eine weitere Herausforderung stellt die Beobachtung des Fahrers dar. In der Vergangenheit ging es dabei hauptsächlich darum die Aufmerksamkeit des Fahrers zu beobachten, mit steigendem Automatisierungsgrad gilt jedoch die Bereitschaft zur Übernahme zu überwachen. Eine wesentliche Herausforderung die von besonderer Relevanz für diese Arbeit ist, ist die Integration fahrfremder Tätigkeiten in das Fahrzeugkonzept. [16]

2.5 Fahrfremde Tätigkeiten

Durch die zunehmende Automatisierung der Fahrzeuge kommt es zu einem Wandel von der klassischen Fahraufgabe aus Abschnitt 2.3.3 hin zu fahrfremden Tätigkeiten. Durch den Wegfall der primären und sekundären Fahraufgabe bei autonomen Fahrzeugen bietet sich die Möglichkeit der Aufteilung in Fahrttätigkeit und fahrfremder Tätigkeit. Zur Fahrttätigkeit werden die primäre und die sekundäre Fahraufgabe gezählt, welche mit zunehmenden Automatisierungsgrad für den Fahrer immer mehr an Bedeutung verliert bzw. weniger Zeit in Anspruch nimmt. Bei voll automatisierten Fahrzeugen bleibt nur die Zieleingabe übrig. Als fahrfremd werden jene Tätigkeiten bezeichnet, die nichts mit der eigentlichen Fahrttätigkeit zu tun haben. Beispiele hierfür sind die Bedienung des Entertainmentsystems, der Klimaanlage oder Essen bzw. Trinken. Weiters besteht durch das autonome Fahren auch die Option für neue Aktivitäten wie Film schauen oder Schlafen. Die Beschreibung neuer fahrfremder Tätigkeiten erfolgt im nachfolgenden Abschnitt. [17]

2.5.1 Ausprägungen möglicher fahrfremder Tätigkeiten

Aufgrund der noch nicht vorhandenen autonom fahrenden Fahrzeuge ist es besonders schwierig herauszufinden welche fahrfremde Tätigkeiten von den Nutzern gewünscht werden. Durch mehrere von PFLEGING et al. [18] durchgeführte Umfragen und Untersuchungen können erste Abschätzungen gemacht werden. Eine Internetumfrage mit 300 Teilnehmern ergab dabei die Ergebnisse in Abb. 2.5. Unter den drei häufigsten Aktivitäten befindet sich Musik hören, mit anderen Passagieren kommunizieren und aus dem Fenster schauen. [18]

Für diese Arbeit werden aus diesem Ergebnis fünf Tätigkeiten ausgewählt, welche die Herausforderung zur Integration in das Fahrzeugkonzept möglichst gut wiedergeben.

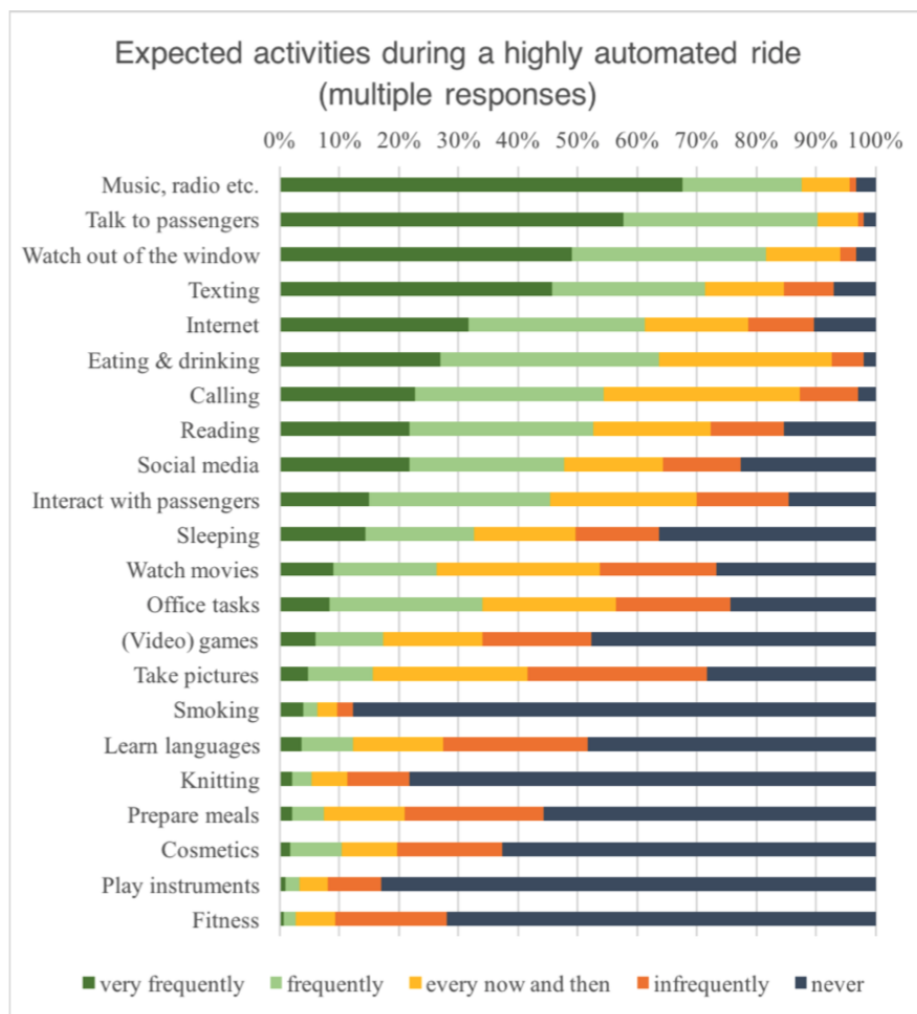


Abbildung 2.5: Gewünschte fahrfremde Tätigkeiten während einer Fahrt in einem hochautomatisierten Fahrzeug [18]

2.5.2 Geometrische Beschreibung fahrfremder Tätigkeiten

Um eine CAD-Integration fahrfremder Tätigkeiten in das Fahrzeugkonzept durchführen zu können ist es notwendig diese geometrisch zu beschreiben. Dabei können die selben Themenfelder wie zur Beschreibung der Fahrtätigkeit herangezogen werden, dies sind die Haltung, der Raumbedarf, die Sicht und die Erreichbarkeit. Es bedarf lediglich der Ergänzung der Orientierung im Fahrzeug, da diese bei der Ausführung der Fahraufgabe invariant bleibt. SEEBACH et al. greift zur Bestimmung der Ausprägungen der Merkmale der einzelnen Kategorien auf die Literatur und Experteninterviews zurück. Abb. 2.6 zeigt die Matrix zur geometrischen Beschreibung der fahrfremden Tätigkeiten. [19]

Ausprägung Themenfeld	1	2	3	4	5
Haltung (Seitenansicht)					
Orientierung (Draufsicht)					
Raumbedarf					
Sicht					
Erreichbarkeit					

Ausprägung (Maß)	Entspannte Haltung (Torso 54°-72°)
Merkmal (Winkel)	
Fuß	95°
Knie	132°
Hüft	132°
Torso (bestimmend)	54°-72°
Ellenbogen	132°
Schulter	0°
Kopf	170°

Abbildung 2.6: Matrix zur geometrischen Beschreibung fahrfremder Tätigkeiten [19]

Die konkreten Werte der Ausprägungen der Merkmale, die in dieser Arbeit zur Anwendung kommen, sind in Kapitel 5 aufgelistet.

Kapitel 3

Methodik

Das Modell, welches die Grundlage dieser Arbeit bildet, wird mit Hilfe von einem CAD-System erzeugt. CAD-Systeme, wie z.B. *CATIA V5*, dienen zur Unterstützung in der Entwicklungsarbeit und sind mittlerweile unabdingbar in der virtuellen Produktentwicklung. In Abb. 3.1 ist die Komplexität von heutigen CAD-Systemen dargestellt. Mit zunehmender Komplexität der Konstruktion erhöht sich zu Anfangs der Aufwand in der Erstellung des Modells, mit Fortschreiten der Produktentstehung verringert sich dieser jedoch, besonders wenn später noch Änderungen am Modell durchgeführt werden müssen. [20]

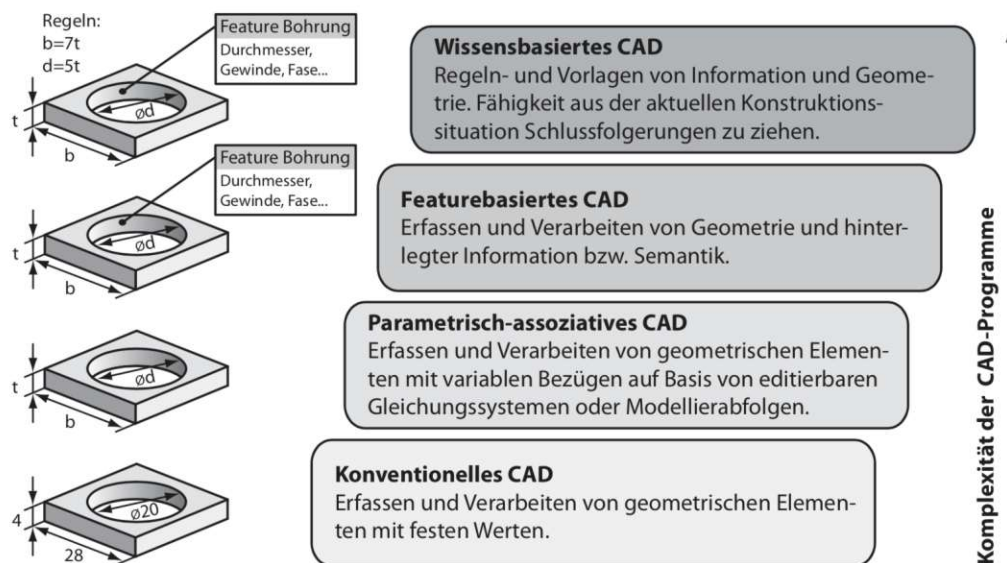


Abbildung 3.1: Entwicklung der Modellierungsarten von CAD-Systemen [20]

Im Folgenden werden die parametrisch-assoziative und die wissensbasierte Konstruktion näher erläutert, da diese in dieser Arbeit zur Anwendung kommen.

3.1 Parametrisch-assoziative Konstruktion

Parametrisch-assoziative Konstruktion bedeutet, dass das Modell nicht nur von editierbaren Parametern abhängt, sondern zwischen diesen auch Konstruktionsbedingungen und Abhängigkeiten bestehen [21]. Dies führt dazu, dass Beziehungen zwischen den Geometrien innerhalb eines Bauteils und auch übergreifend in den Baugruppen entstehen, die sogenannten *Eltern-Kind*-Beziehungen. Die Definition der Parameter und der Beziehungen erfolgt in der Primärstruktur des CAD-Systems, während in der Sekundärstruktur die Erzeugung der Geometrie stattfindet. [20]

Wichtig bei der parametrisch-assoziativen Konstruktion ist der übersichtliche Aufbau der Abhängigkeiten der Parameter untereinander. Eine Einschränkung der Parameterwerte erleichtert dabei eine Änderung des Modells und erhöht die Stabilität bei Aktualisierungen. Zur Geometrieerzeugung wird vom CAD-System die Konsistenz geprüft [22]. [23]

Ein wesentlicher Vorteil besteht in der schnellen Anpassbarkeit des Geometrie-modells mit den definierten Parametern, weswegen diese Methodik auch in dieser Arbeit angewendet wird.

3.2 Wissensbasierte Konstruktion

Das Modell beinhaltet auch wissensbasierte Parametrik. Im Wesentlichen liegt der Unterschied zwischen der parametrisch-assoziativen und der wissensbasierten Konstruktion darin, dass nicht nur Geometrie und Produktdaten des Modells umfasst werden, sondern auch Formeln, Regeln, Prüfungen und Reaktionen [20]. Durch Regeln können Beziehungen zwischen den Parametern definiert, Werte zugewiesen und Geometrien gesteuert werden, realisiert durch einen einfach programmierten Code [24]. Beim adaptiven Ansatz sind sie direkt im Modell

mit eingebunden [22]. Eine Anwendung ist z.B. eine Getriebeauslegung, wenn der Durchmesser der Welle durch die Auslegung zu groß wird und keine Welle-Nabe-Verbindung mit dem Ritzel möglich ist, kann diese somit als Ritzelwelle ausgeführt werden.

Ein weiteres wichtiges Element der wissensbasierten Konstruktion sind Konstruktionstabellen. Damit können Werte aus einer externen Datei einzelnen Parametern zugewiesen werden, bei Veränderung der Werte in der Datei werden diese auch im CAD-System aktualisiert und das Modell angepasst. Eine Konstruktionstabelle eignet sich zur Definition von Parametern, die einen Zusammenhang und somit eine Gruppe bilden und besonders dann, wenn die Werte auch anderen Programmen zur Verfügung gestellt werden sollen. Die Parameter im CAD-System können dabei jedoch nur mit einer Konstruktionstabelle verknüpft werden. [24] In dieser Arbeit wird zur Erzeugung der Konstruktionstabellen das Tabellenkalkulationsprogramm *Excel* von Microsoft verwendet.

Weitere Möglichkeiten in der wissensbasierten Konstruktion sind der Einbau von Programmpaketen zur Strömungs- oder thermischen Simulation oder der Programmierung von Makros zur automatischen Generierung von Konstruktionsabläufen. [20]

Kapitel 4

Ergebnis

Ergebnis dieser Arbeit ist ein CAD-Modell, erstellt in *CATIA V5*, welches über verschiedene Parametersets eingestellt bzw. verändert werden kann, um die Integration fahrfremder Tätigkeiten in hochautomatisierten Fahrzeugen zu beurteilen.

4.1 Aufbau des Modells

Das Modell besteht grundsätzlich aus zwei Teilen, zum einen aus einem Menschmodell und zum anderen aus einem Fahrzeugmodell. Der Fokus liegt dabei auf dem Menschmodell, welches im Zuge dieser Arbeit detaillierter aufgebaut wird. Das Fahrzeugmodell wird sehr abstrakt dargestellt und soll nur zu einer ersten Bewertung der fahrfremden Tätigkeiten in den verschiedenen Fahrzeugkonzepten dienen. Durch Änderung der Parameter kann jedoch bereits eine Anpassung und somit eine Abschätzung durchgeführt werden, ob und welche fahrfremden Tätigkeiten im jeweiligen Konzept integriert werden können.

Das Mensch- und das Fahrzeugmodell wird jeweils in einem Part definiert und dann in einem Produkt zusammengebaut, aus welchem das Gesamtsystem auch gesteuert wird.

Abb. 4.1 zeigt das Koordinatensystem nach dem das gesamte CAD-Modell aufgebaut wird, welches in der Mitte der Vorderachse positioniert wird (siehe GCIE [6]). Die X-Achse zeigt dabei entgegen der Fahrtrichtung, die Y-Achse zur Beifahrerseite hin und die Z-Achse in Richtung des Daches des Fahrzeuges.

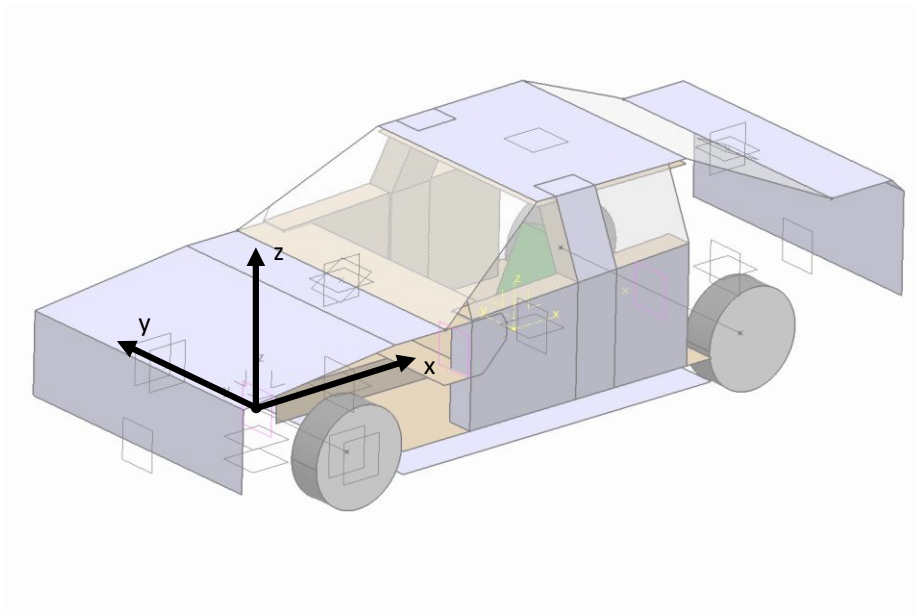


Abbildung 4.1: Koordinatensystem des CAD-Modells

4.1.1 Menschmodell

Das bereits in *CATIA V5* eingebundene Menschmodell *RAMSIS* eignet sich nur bedingt zur Darstellung fahrfremder Tätigkeiten, da die Winkel der Körperteile nicht automatisiert einstellbar sind. Das Haltungsmodell des *RAMSIS*-Manikins beruht auf Wahrscheinlichkeiten die durch empirische Messdaten errechnet werden, deshalb wird ein eigenes Modell zur Simulation der verschiedenen Haltungen erstellt [10].

Das Menschmodell wird gezielt nicht nur zur Hälfte aufgebaut und dann gespiegelt um dieses in einem zweiten Schritt einfach erweitern zu können, sodass jeweils unterschiedliche Haltungswinkel zwischen der linken und rechten Körperhälfte eingestellt werden können.

Im Folgenden wird der Aufbau, dargestellt in Abb. 4.2, welches den Passagier in der Position vorne links beschreibt, näher erläutert.

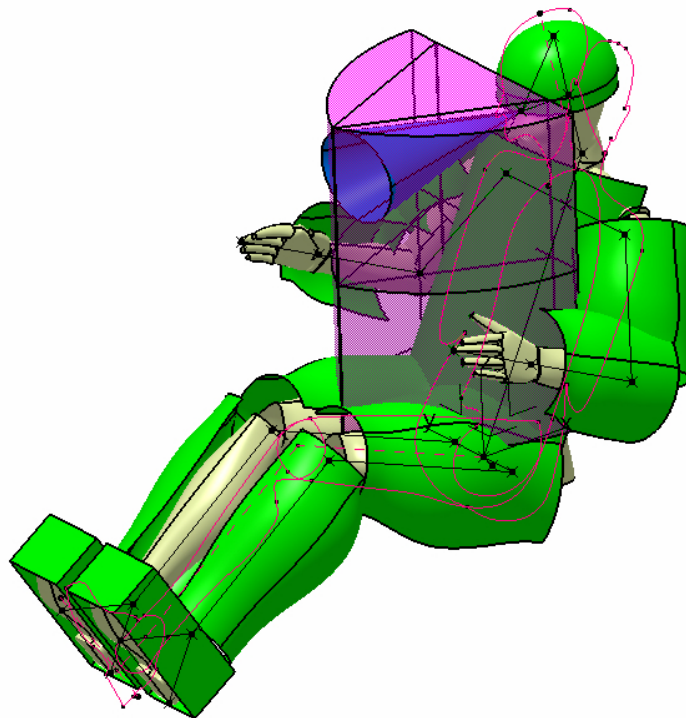


Abbildung 4.2: Menschmodell mit SAE-Schablone, Raumbedarf, Erreichbarkeit und Sichtkegel

Skelett

Das Menschmodell besteht in seiner Grundform aus einem Skelett, welches in Abb. 4.3 zu sehen ist. Dieses Drahtmodell wird durch die Winkel und Längenmaße aus Abb. 4.4 definiert. Die Längenmaße tragen ein vorangestelltes „L“ (Length: Länge) und die Winkel ein vorangestelltes „A“ (Angle: Winkel). Der Kopfwinkel (A_{Kopf}) wird zwischen der Kopflinie und der Torsolinie gemessen, der Torsowinkel (A_{40}) zwischen der vertikalen Z-Achse des Ursprungskoordinatensystems und der Torsolinie. Der Winkel der Oberschenkel wird über den Hüftwinkel (A_{42}) und der der Unterschenkel über den Kniewinkel (A_{44}) definiert. Der Fußwinkel (A_{46}) stellt den Winkel zwischen dem Unterschenkel und der Strecke BOF¹ zu AHP² dar. Die Definition des Oberarms erfolgt über den Schulterwinkel X ($A_{\text{SchulterX}}$)

¹Ball of Foot (Fußballen)

²Accelerator Heel Point (Ferse)

und Y ($A_{\text{Schulter}Y}$), gemessen von der Oberarmlinie zur Torsolinie in der XZ-Ebene und in der YZ-Ebene. Der Ellenbogenwinkel bildet die Orientierung des Unterarms zum Oberarm, wobei diese stets in derselben Ebene liegen.

Zur besseren Vergleichbarkeit wird im Menschmodell auch die SAE-Körperumrisschablone, die aktuell zur Auslegung von Fahrzeuginnenräumen dient, visualisiert. Diese ist in Abb. 4.3 als rote Kontur erkennbar.

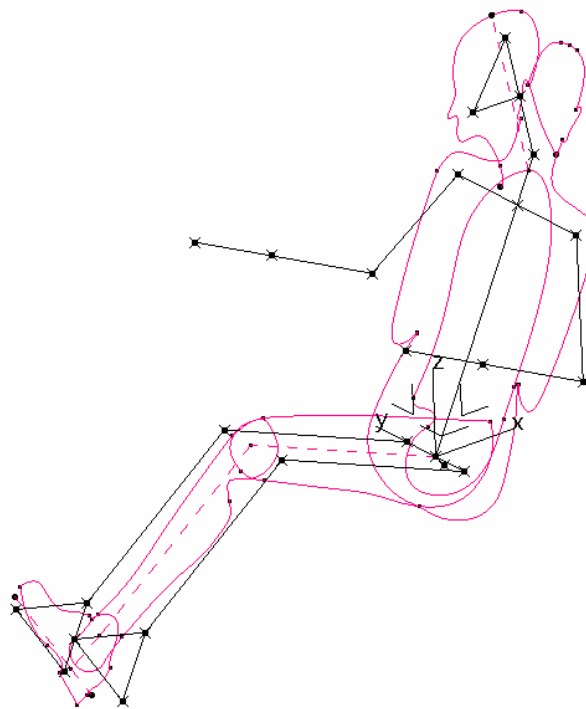


Abbildung 4.3: Skelett des Menschmodells mit SAE-Schablone

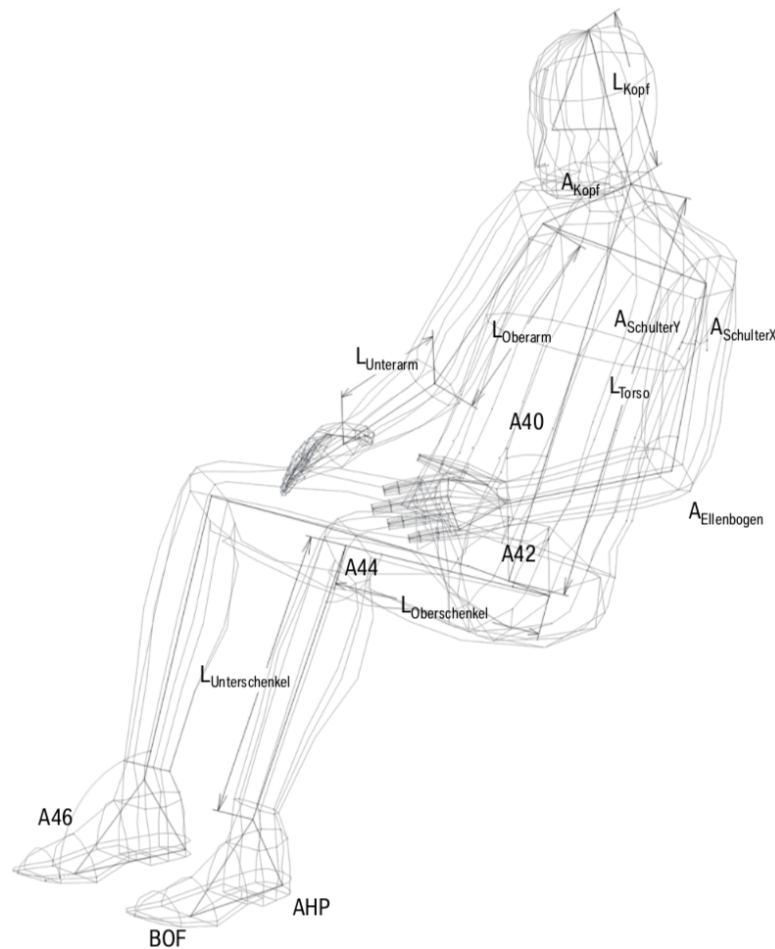


Abbildung 4.4: Maße und Winkel des Skeletts des Menschmodells [8]

Körperelemente

Um eine realitätsnahe Kontur des menschlichen Körpers zu erhalten wird ein bereits bestehendes Menschmodell herangezogen. Dazu wird die Silhouette der *RAMSIS*-Manikins von den Perzentilen 5, 50 und 95, jeweils weiblich und männlich, in stehender Haltung an den Gelenken aufgetrennt. Die einzelnen Körperelemente, mit eigenen Achsensystemen, werden über Koordinatentransformationen an die Achsensysteme des Drahtmodells appliziert. Über eine Regel wird abhängig vom ausgewählten Geschlecht und Perzentil das jeweilige Körperelement zur Transformation ausgewählt. Die so erhaltene Silhouette des Menschmodells weist zwar an den Gelenken bei abweichender Haltung von jener bei der Auftrennung Lücken auf, jedoch schränkt dies die Funktionstüchtigkeit des Modells nicht ein und ist hinreichend in der Detaillierung, um eine Unterstützung für die frühe Ent-

wicklungsphase zu liefern. In Abb. 4.5 ist die Körperkontur mit dem Drahtmodell dargestellt.

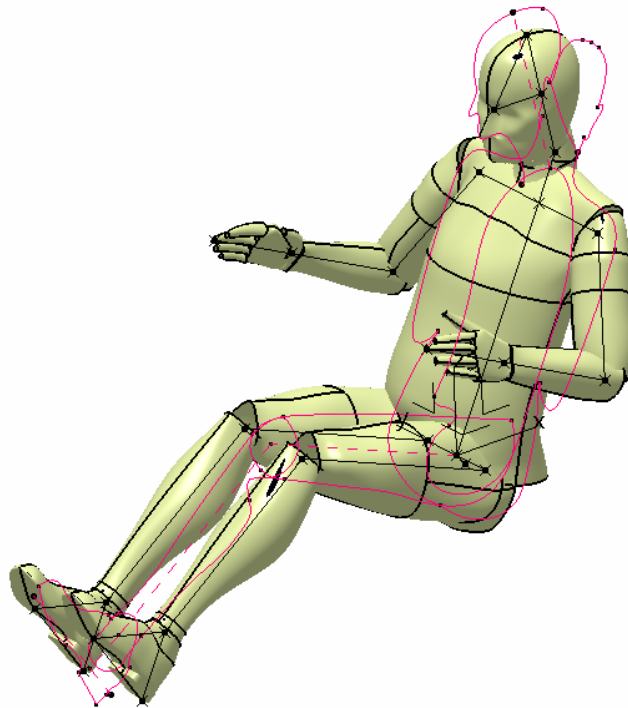


Abbildung 4.5: Skelett des Menschmodells mit Körperelementen

Raumbedarf

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Silhouette des menschlichen Körpers dient als Grundlage zur Erzeugung des Raumbedarfs. Als Raumbedarf wird dabei der mindestens notwendige Abstand zwischen Körper und Umgebungsgegenständen, wie z. B. die Türverkleidung im Fahrzeuginnenraum, verstanden. Der Raumbedarf wird in Form von Hüllflächen dargestellt. Zuerst wird die Silhouette der einzelnen Körperelemente abstrahiert. Erst diese Vereinfachung der Flächen macht es möglich einen Offset zu generieren bzw. eine Stabilität im Update-Prozess des Modells zu gewährleisten. Zur Abstraktion der Gliedmaßen und des Torso werden Verschneidungen zwischen der Oberfläche des *RAMSIS*-Manikins und den Ebenen an drei charakteristischen Punkten (jeweils am Anfang bzw. Ende und in der Mitte des Körperelements) erzeugt. Die Extrema der Verschnei-

dungen nach außen hin werden zu Polylinien verbunden und durch die Funktion „Volumenkörper mit Mehrfachsnitten“ zu einer Hüllfläche vereint. Für den Kopf und die Füße erfolgt die Erzeugung der abstrahierten Flächen hingegen wie folgt. Die Grenzfläche der Füße wird durch eine rechteckige Grundfläche, welche sich an den Extrempunkten des Fußes orientiert, dargestellt. Jene des Kopfes über Verschneidung mit der Mittenebene des Kopfes und Erzeugung einer Profillinie an der linken Kopfhälfte über die Extrema. Die Hüllfläche entsteht sodann durch Rotation um 180° . Alle Verschneidungen erfolgen mit Ebenen die orthogonal zum Skelett des jeweiligen Körperelements liegen.

In Abb. 4.6 ist die vereinfachte Geometrie des Körpers als blaue Flächen zu erkennen. Der Raumbedarf entsteht nun durch Erzeugung von Offset-Flächen, zu sehen wiederum in Abb. 4.6 als grüne Flächen.

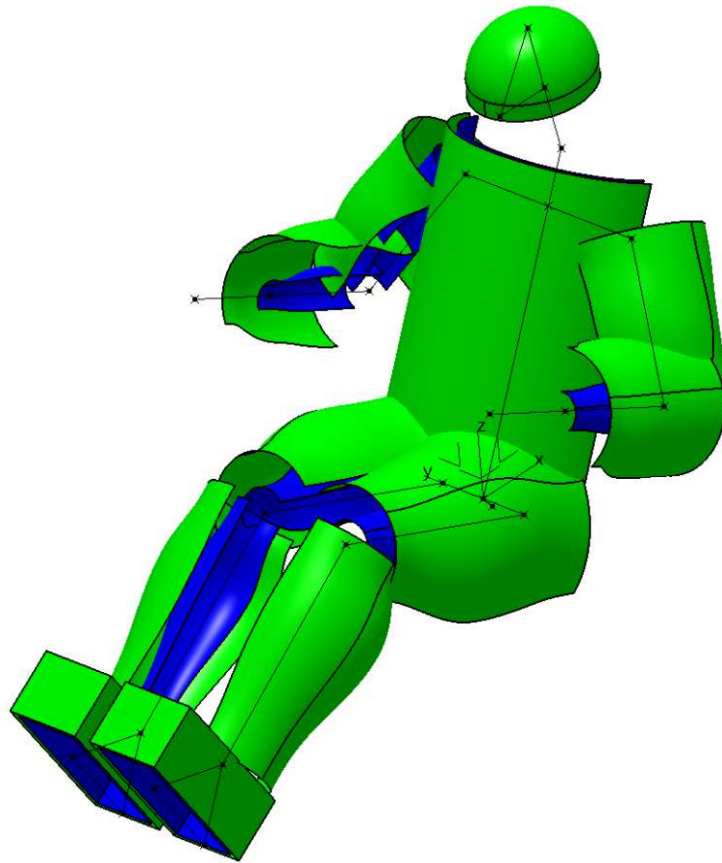


Abbildung 4.6: Menschmodell dargestellt mit Raumbedarf

Sicht

Der Sichtkegel des Fahrers baut sich über das Mittenaugen auf. Dieses wird über den Abstand von der Mitte des Kopfes und über den Winkel definiert. In Abb. 4.7 dargestellt wird der Kegel durch 4 Begrenzungslinien in seinem Gerüst charakterisiert. Die 4 Linien schließen jeweils einen Winkel mit der Verlängerung des Mittenauges als Sichtstrahl in die positive sowie negative Y- und Z-Richtung ein. Das Schließen des Gerüsts bildet die Mantelfläche und somit den Sichtkegel des Menschmodells.

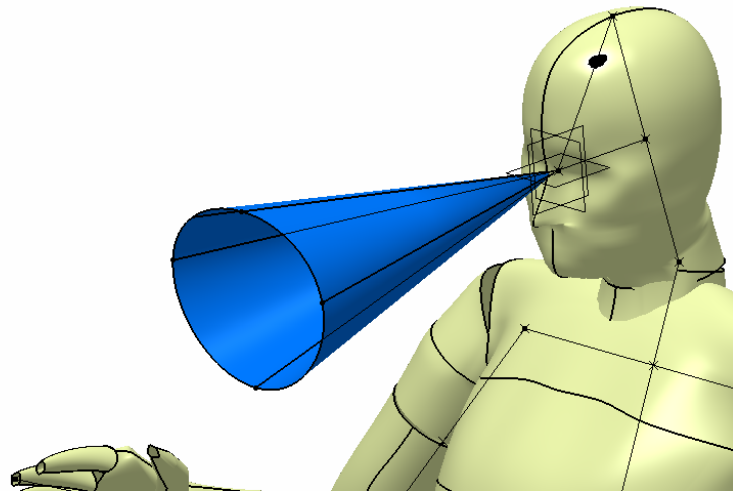


Abbildung 4.7: Sichtkegel

Erreichbarkeit

Der Raum der Erreichbarkeit wird zunächst in der Ebene aufgebaut. Abgeleitet aus den Greifflächen aus Abb. 4.8 werden in der Ebene die Flächen durch sich in-einander schneidende Teilkreisringe aufgebaut. Durch den X-Bedienabstand wird der Abstand in X-Richtung definiert, gemessen vom Mittelpunkt des Schultergelenks. Je nach Ausprägung der Häufigkeit (siehe Abschnitt 5.1.1) der Erreichbarkeit ergeben sich so unterschiedliche Grundflächen. Diese Grundflächen werden dann in Z-Richtung extrudiert, um so den Greifraum in Abb. 4.9 (Ausprägung: dauerhaft) zu bilden.

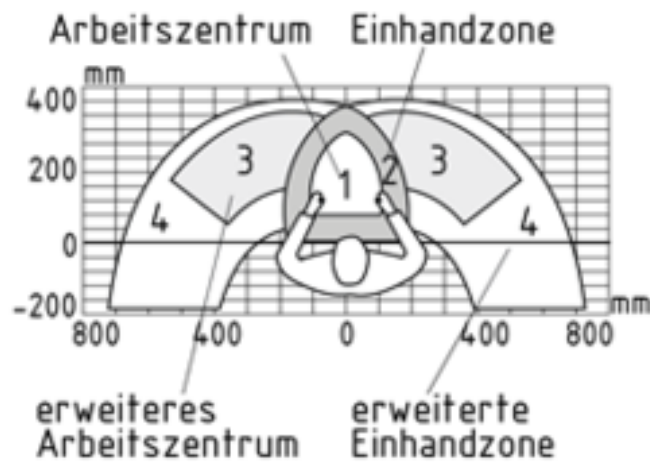


Abbildung 4.8: Greifräume zur Ableitung der Erreichbarkeit [25]

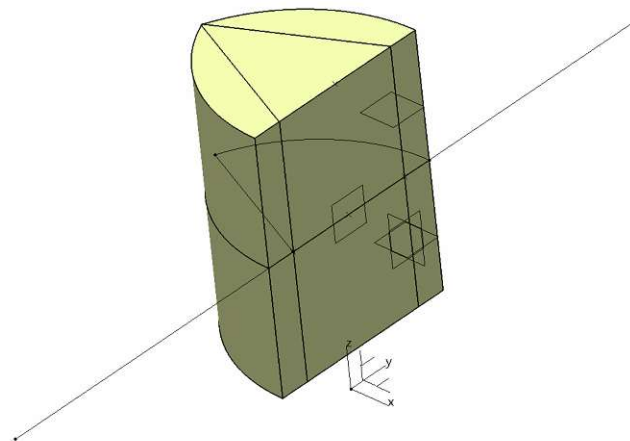


Abbildung 4.9: Erreichbarkeit

Orientierung im Raum

Zum Zweck der Orientierung des Menschmodells im Fahrzeug wird für das Skelett eine Drehachse definiert, welche parallel zur Z-Achse und durch den SRP¹ verläuft. Veranschaulicht wird dies in Abb. 4.10.

¹Sitzreferenzpunkt

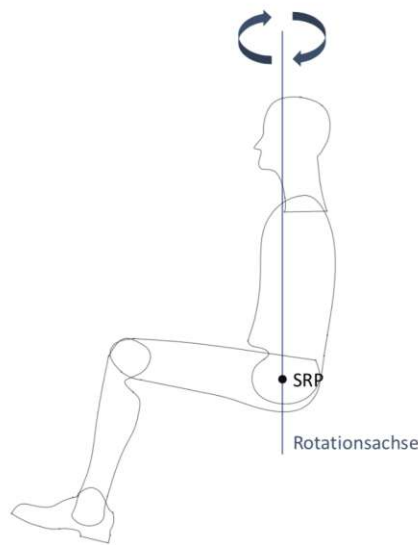


Abbildung 4.10: Rotationsachse zur Orientierung des Menschmodells [8]

4.1.2 Fahrzeugmodell

Das Fahrzeugmodell wird durch den Fahrzeuginnenraum und die Außenhaut charakterisiert. Dessen Aufbau wird im folgenden Abschnitt erläutert. An der Stelle sei nochmal erwähnt, dass das Hauptaugenmerk der Arbeit auf das Menschmodell gelegt wird und infolgedessen das Fahrzeugmodell nur mit den wichtigsten Elementen ausgeführt wird.

Gesamtfahrzeug

Der Aufbau des Fahrzeuges basiert, wie in Abb. 4.11 ersichtlich, auf Ebenen. Diese stellen die wichtigsten Abmessungen der Länge, Breite und Höhe dar. Weiters sind auch die beiden Achsen, Vorder- und Hinterachse, und der vordere bzw. hintere Windlauf abgebildet. Als Windlauf wird der Übergang zwischen Motorhaube und Frontscheibe sowie zwischen Heckscheibe und Kofferraum bezeichnet. Aus diesem groben Skelett werden sodann die Fahrzeugaußenflächen generiert, bestehend aus Motorhaube, Dach, Heck, Unterboden, Seitenwand mit Türen und B-Säule sowie alle Scheiben des Fahrgastraumes. Die Darstellung der Räder dient zur Verbesserung der Optik des Modells. Das Gesamtfahrzeug ist in Abb. 4.12 abgebildet.

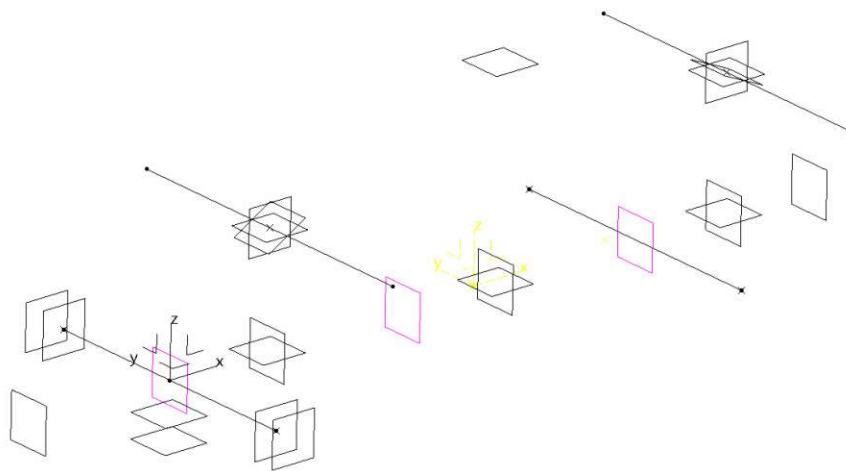


Abbildung 4.11: Bezugsebenen die das Fahrzeugskelett definieren

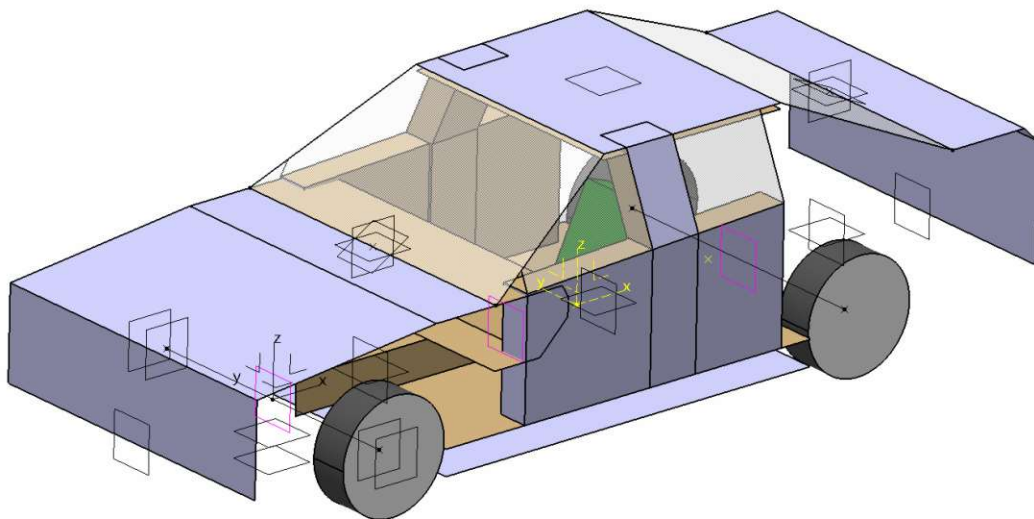


Abbildung 4.12: Gesamtfahrzeugmodell

Innenraum

Der Innenraum setzt sich aus Instrumententafel, Mitteltunnel und Fahrersitz zusammen. Es wird bewusst auf Elemente wie z.B. Lenkrad, Beifahrersitz und andere verzichtet um das Fahrzeugmodell einfach zu gestalten. Um jedoch die Platzverhältnisse und die mit den fahrfremden Tätigkeiten einhergehenden Wechselwirkungen mit dem Fahrzeugkonzept darstellen zu können werden die Türen und die B-Säule mit einer Ausprägung in Y-Richtung versehen. Ebenso wird die Dach- und die Bodendicke abgebildet, da auch dort die Ausübung von fahrfremden Tätigkeiten Auswirkungen zeigen die das Gesamtfahrzeugkonzept betreffen. In Abb. 4.13 ist ein Y-Schnitt durch das Fahrzeugmodell mit dem Innenraum ersichtlich.

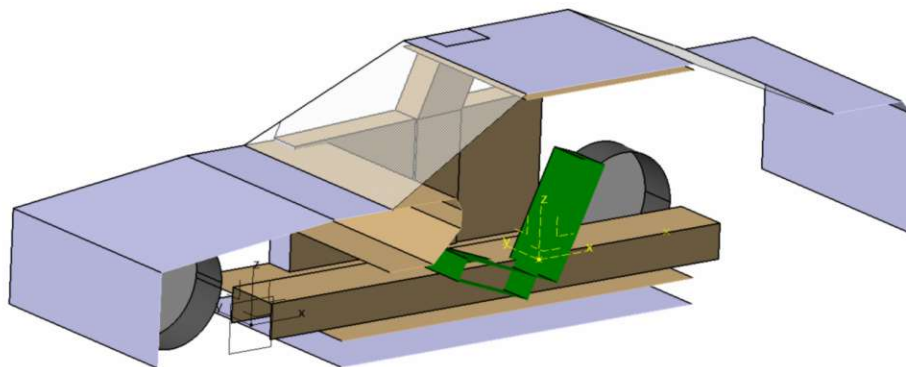


Abbildung 4.13: Y-Schnitt durch das Fahrzeugmodell

4.2 Parametrik

4.2.1 Parametrik des Menschmodells

Die Parametrik des Menschmodells setzt sich im Wesentlichen aus den Parametern der Skelettabmessungen, der Haltung und den Parametern für den Raumbedarf, die Sicht und die Erreichbarkeit zusammen.

Skelett

Das Drahtmodell besteht aus den Parametern die zur vollständigen Beschreibung des Skelettes erforderlich sind. Zum einen sind dies die Winkelparameter, welche nachfolgend noch beschrieben werden. Zum anderen sind auch die Längen der einzelnen Körperpartien als Parameter hinterlegt, da diese abhängig von dem eingestellten Bezugsjahr angepasst werden. Im Folgenden wird die Anthropometrie dazu beschrieben.

Anthropometrie Die Abmessungen der Körperelemente des Drahtmodells werden einerseits durch die Einstellung von Geschlecht und Perzentil definiert und andererseits durch das Bezugsjahr. Durch diesen Parameter wird die Akzeleration berücksichtigt. Dazu werden jeweils für das Jahr 2008 und 2025 ein *RAMSIS*-Manikin betrachtet an denen die relevanten Längenmaße der Körperelemente abgemessen werden, herangezogen werden eine durchschnittliche Korpulenz und Proportion. Für jedes Körperelement kann somit eine lineare Geradengleichung erstellt werden die die Akzeleration abbildet. Mithilfe dieser wird mit dem Parameter Bezugsjahr für den Bereich zwischen 2008-2038 das jeweilige Maß interpoliert bzw. extrapoliert. In dieser Zeitspanne ist die Akzeleration von geringem Ausmaß weshalb eine lineare Approximation für den Anwendungsfall der Diplomarbeit eine ausreichende Genauigkeit bietet.

Haltung Jene Parameter welche die Haltung charakterisieren sind die Winkelparameter die zwischen den Körperelementen definiert sind und so die Haltung des Menschmodells bilden. Wo die jeweiligen Parameter definiert sind wird in Abschnitt 4.1.1 näher erläutert.

Raumbedarf

Für den Raumbedarf erfolgt die Definition von sieben Parametern. Jeweils einen für den Kopf, den Torso/Hüfte, die Schulter/Oberarm, den Ellenbogen/Unterarm, den Ober- und Unterschenkel sowie für den Fuß. Damit können unterschiedliche Werte für den Freiraum (Offset zu den Körperflächen) an den verschiedenen Körperelementen angegeben und so individuell angepasst werden.

Sicht

Zur Charakterisierung des Sichtkegels sind drei Parameter notwendig. Den ersten für den Winkel in Y-Richtung und die beiden anderen für den Winkel einmal in die positive Z-Richtung und für die negative Z-Richtung. Dies ergibt sich dadurch, dass der Sichtkegel in Y-Richtung symmetrisch aufgebaut ist und in Z-Richtung asymmetrisch, da für die Sicht nach unten ein größerer Winkel erforderlich ist.

Erreichbarkeit

Die komplexere Geometrie der Erreichbarkeit erfordert die Parameter für den Abstand in X-Richtung, in Z-Richtung, für den inneren und äußeren Radius und für den Winkel. Diese bilden dann je nach geforderter Erreichbarkeit einen Halbkreis- oder Halbkreisringfläche aus denen der Raum der Erreichbarkeit gebildet wird, wie in Abschnitt 4.1.1 bereits erläutert.

Orientierung im Raum

Die Orientierung ist von der fahrfremden Tätigkeit abhängig und nicht wie bei der Fahrtätigkeit immer nach vorne gerichtet. Die Nulllage wird jedoch anhand der Fahrtätigkeit definiert.

4.2.2 Parametrik des Fahrzeugmodells

Die Parametrik des Fahrzeuges kann grundsätzlich in 2 Kategorien eingeteilt werden. Diese bilden die Längenmaße und die Winkelmaße. Die Längenmaße werden wiederum aufgrund des Koordinatensystems in Längen-, Breiten- und Höhenmaße differenziert. Die Gesamtheit dieser Parameter wird durch vorhandene Fahrzeugdaten in einer Konstruktionstabelle hinterlegt und kann somit nicht verändert werden, näheres zur Steuerung in Abschnitt 4.3.

Die Auswahl der Fahrzeugparameter zur Erstellung des Modells orientiert sich stark an die GCIE aus der die für diese Arbeit wichtigen Maße übernommen werden. Weitere notwendige Maße die in der GCIE nicht definiert sind werden hier ergänzt. Die Bezeichnungen der Parameter bzw. Maße werden von der GCIE übernommen, teilweise angepasst oder verändert.

Als Anmerkung sei erwähnt, dass die Definition mehrerer Maße der zweiten Sitzreihe erfolgt, obwohl diese im Modell nicht mit einem Menschmodell besetzt wird, da einige Maße des Fahrzeuges von dem SRP der Fondpassagiere abhängig sind.

Längenmaße

Alle Längenmaße die im Modell definiert sind, sind in Abb. 4.14 dargestellt. Das Exterieur bestimmende Maße sind der Radstand L101, gemessen von der Mitte der Vorderachse bis zur Mitte der Hinterachse, der Überhang vorne L104 und hinten L105, welcher sich von Fahrzeuganfang zur Vorderradmitte und von Hinterradmitte zu Fahrzeugende erstreckt. Diese charakterisieren die Länge des Fahrzeuges. Die Maße L150-1 und L150-2 bestimmen den Windlauf vorne und hinten. Ausschlaggebend für den Fahrzeuginsassen ist das Längenmaß L114 der ersten Sitzreihe, welches dem Abstand von Vorderachse zu SRP darstellt, und das Längenmaß L50-2 für die Fondpassagiere, mit der Distanz zwischen SRP der ersten und zweiten Sitzreihe. Die Position der Instrumententafel wird durch das Maß $L_{\text{SRP zu Cockpit}}$ vom SRP des Fahrers zur Vorderkante der Instrumententafel charakterisiert. Auch die Türausschnitte definieren sich über die Lage des Sitzreferenzpunktes. Dabei ergibt sich die Position der hinteren Kante der Türöffnung der Vordertür über das Maß $L_{\text{Fahrerrückfalltiefe}}$ und jene der Hintertür über

$L_{\text{Fondrückfalltiefe}}$. Mit der Länge $L_{\text{Fahrtür}}$ und $L_{\text{Fondtür}}$ sind die Türausschnitte vollständig bestimmt.

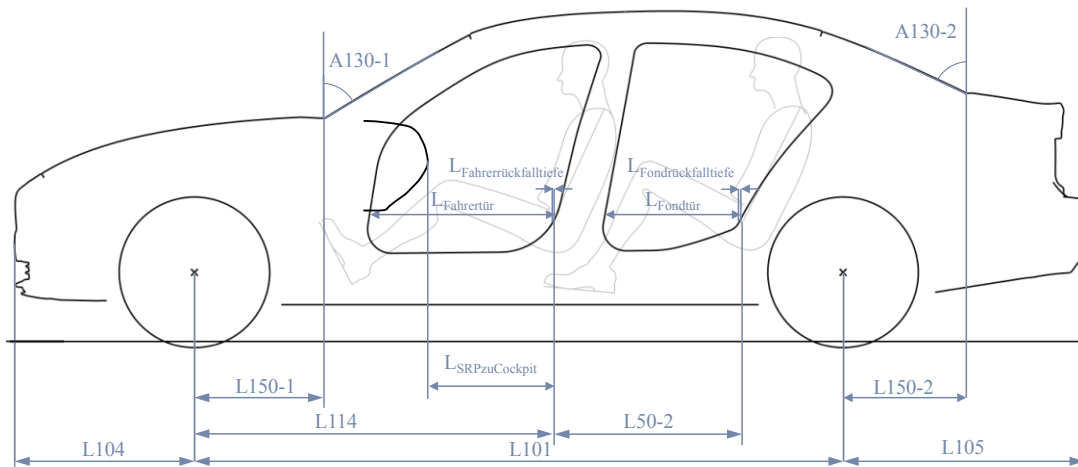


Abbildung 4.14: Längenmaße des Fahrzeuges [8]

Breitenmaße

Das Maß welches die Außenabmessung der Fahrzeugbreite begrenzt ist das W_{103} . Die Spurweite W_{101} die an beiden Achsen gleichgesetzt wird, wird zwischen der Mitte des linken und des rechten Reifens gemessen. Zur Ergänzung wird auch die Breite des Reifens als W_{Reifen} definiert. Die Ausprägungen des Tunnels, der Türdicke und der Dicke der B-Säule werden als W_{Tunnel} , $W_{\text{Tür}}$ und $W_{\text{B-Säule}}$ deklariert. Zur Bestimmung der Y-Position des SRP des Fahrers wird das Maß W_{20-1} herangezogen, welches von der Fahrzeugmitte aus gemessen wird. Im Bild 4.15 ist der X-Schnitt eines Fahrzeuges dargestellt, weshalb nur das Maß W_{20-1} eingetragen werden kann. Das Breitenmaß W_{20-2} ist jedoch analog dazu für die hintere Sitzreihe definiert. Die Breitenmaße werden in Abb. 4.15 veranschaulicht.

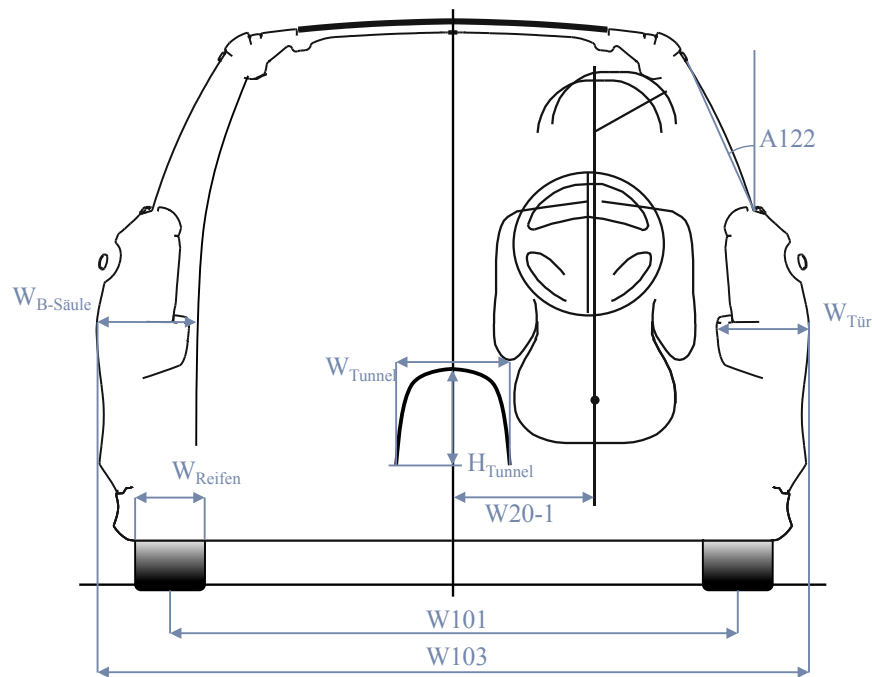


Abbildung 4.15: Breitenmaße des Fahrzeuges [8]

Höhenmaße

Abb. 4.16 zeigt eine grafische Darstellung der Höhenmaße. Ein wichtiges Maß zur Charakterisierung stellt die Fahrzeughöhe H_{100-B} dar. Diese wird von der Fahrbahnebene zum Dach des Fahrzeuges gemessen. Die Position des Fahrzeuges zur Fahrbahn wird dabei durch den statischen Reifenhalmesser R_{stat} definiert und durch die Bodenfreiheit H_{156} definiert. Wie schon bei den Längenmaßen beschrieben ist für die vollständige Beschreibung des Windlaufes auch die Höhe dessen notwendig und wird als H_{120-1} vorne und H_{120-2} hinten als Parameter deklariert. Die Instrumententafel wird über die Höhe des Fußraumes $H_{Fußraum}$ in ihrer Höhenausprägung definiert. Für das Erscheinungsbild des Fahrzeuges spielt die Höhe der Brüstungslinie eine maßgebende Rolle, weshalb sie über H_{25-1} vorne und H_{25-2} hinten, vom jeweiligen SRP aus gemessen, im Modell eingebaut wird. Die Höhenangabe der Sitzreferenzpunkte der Insassen, sowohl der ersten als auch der zweiten Sitzreihe, erfolgt durch die Maße H_{5-1} und H_{5-2} über der Fahrbahn. Auch die Dachdicke und die Bodendicke sind wichtige Maße die die Platzverhältnisse im Innenraum charakterisieren, weshalb diese als H_{Dach} und H_{Boden} im

Modell implementiert werden. Als letztes wird noch die Höhe des Tunnels als H_{Tunnel} definiert, welche in Abb. 4.15 ersichtlich ist.

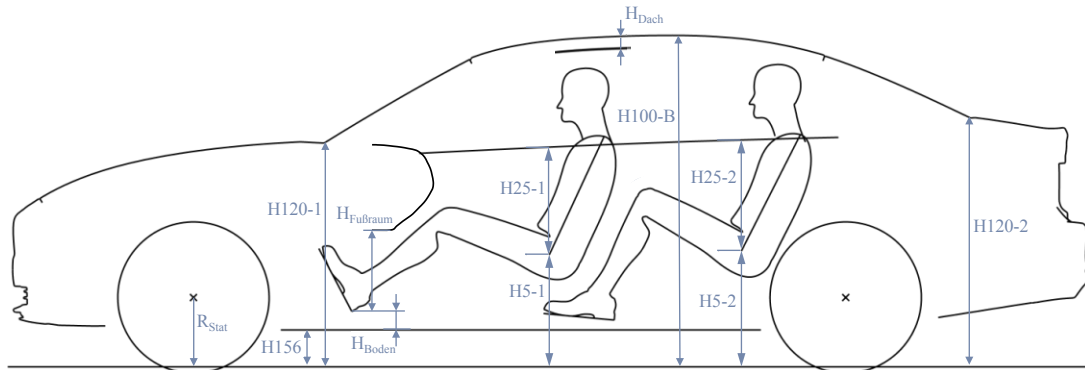


Abbildung 4.16: Höhenmaße des Fahrzeuges [8]

Winkelmaße

Jene Winkelmaße, welche große Auswirkungen auf den Fahrzeuginnenraum haben und deswegen im Modell mit aufgenommen werden ist der Frontscheibenwinkel A130-1, der Heckscheibenwinkel A130-2 und auch der Seitenscheibenwinkel A122. Diese sind im Bild der Längenmaße in Abb. 4.14 und Breitenmaße in Abb. 4.15 dargestellt.

4.3 Steuerung des gesamten Modells

Die Steuerung des Mensch- und des Fahrzeugmodells erfolgt durch die im Produkt definierten Parameter in Abb. 4.17. Zunächst können die Steuerungsarten der beiden Teilmodelle einzeln von *Automatisch* auf *Benutzerdefiniert* geändert werden. Die benutzerdefinierte Einstellung dient bei der Anwendung des Tools zur Anpassung einzelner Parameter, da im Zuge dessen alle Verknüpfungen mit Formeln oder Konstruktionstabellen aufgehoben werden. Beim Fahrzeug können nur der Fahrzeugtyp und jeweils 2-3 Beispielfahrzeuge aus dieser Kategorie ausgewählt werden. Hingegen erlaubt das Menschmodell eine wesentlich genauere Modifizierung. Als ersten Schritt können vorgefertigte fahrfremde Tätigkeiten ausgewählt

werden oder es erfolgt eine selbstständige Konfiguration. Bei der Selbstkonfiguration können dabei unterschiedliche Kombination zwischen den Parametern Haltung, Raumbedarf, Sicht, Erreichbarkeit und Orientierung eingestellt werden. Weiters gibt es auch die Möglichkeit die Anthropometrie des Menschen über die Parameter Bezugsjahr, Geschlecht und Perzentil zu verändern. Die Abmessungen des Skeletts sind dabei, wie schon in Abschnitt 4.1.1 erwähnt, vom Bezugsjahr (Zeitspanne: 2008-2038) und vom Perzentil (5., 50. und 95. Perzentil auswählbar) abhängig.

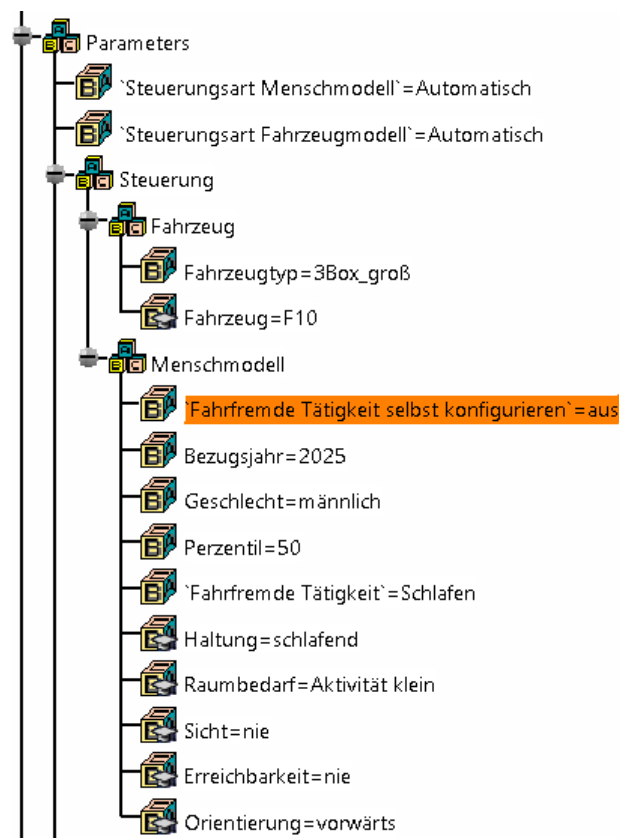


Abbildung 4.17: Steuerungsparameter des CAD-Modells

Kapitel 5

Anwendung und Validierung

5.1 Anwendung

In diesem Abschnitt wird auf die Wertebereiche der Parametrik des *CATIA*-Modells eingegangen.

5.1.1 Menschmodell

Es werden fünf fahrfremde Tätigkeiten aus der Umfrage in Abschnitt 2.5.1 extrahiert die im Modell zur Anwendung kommen. Diese sind:

- Entspannen
- Kommunizieren mit dem Beifahrer
- Kommunizieren mit dem Fond
- Arbeiten
- Schlafen

Aus diesen fünf Tätigkeiten ergeben sich die Parameterkategorien (Themenfelder der anthropometrischen Ergonomie) Haltung, Raumbedarf, Sicht, Erreichbarkeit und Orientierung im Raum. Die Zusammenhänge zwischen den fahrfremden Tätigkeiten und den Ausprägungen der Themenfelder werden in der folgenden Tabelle 5.1 dargestellt.

Tabelle 5.1: Geometrische Beschreibung der fünf fahrfremden Tätigkeiten [19]

Fahrfremde Tätigkeit	Haltung	Raumbedarf	Sicht	Erreichbarkeit	Orientierung
Entspannen	entspannt	Aktivität mittelklein	manchmal	selten	vorwärts
Kommunizieren (Beifahrer)	halb aufrecht	Aktivität groß	meistens	selten	vorwärts rechts
Kommunizieren (Fond)	halb aufrecht	Aktivität groß	meistens	selten	rückwärts rechts
Arbeiten	aufrecht	Aktivität mittel	dauerhaft	dauerhaft	vorwärts
Schlafen	schlafend	Aktivität klein	nie	nie	vorwärts

Haltung

Für die Haltungsparemeter werden Werte aus der Literatur [19] übernommen und teilweise ergänzt. In Tabelle 5.2 sind diese aufgelistet.

Tabelle 5.2: Parameterwerte der Haltung [19]

Haltung	aufrecht	halb aufrecht	halb entspannt	entspannt	schlafend
Kopf	140°	187°	185°	170°	170°
Schulter _x	10°	1°	1°	0°	0°
Schulter _y	30°	15°	15°	15°	15°
Ellenbogen	93°	121°	140°	132°	170°
Torso	9°	27°	45°	63°	81°
Hüfte	90°	104°	119°	132°	160°
Knie	95°	100°	115°	132°	170°
Fuß	97°	105°	108°	95°	95°

Raumbedarf

Die sieben Parameter des Raumbedarfs werden mit den Werten aus der Tabelle 5.3 befüllt und stellen den Offset in mm zu den Körperelementen dar.

Tabelle 5.3: Parameterwerte des Raumbedarfs [19]

Aktivität	klein	mittelklein	mittel	mittelgroß	groß
Kopf	20 mm	49 mm	77 mm	106 mm	134 mm
Oberarm	60 mm	84 mm	108 mm	131 mm	155 mm
Unterarm	73 mm	98 mm	123 mm	147 mm	172 mm
Torso	17 mm	44 mm	70 mm	97 mm	123 mm
Oberschenkel	59 mm	69 mm	79 mm	89 mm	99 mm
Unterschenkel	53 mm	63 mm	73 mm	83 mm	93 mm
Fuß	12 mm	38 mm	64 mm	90 mm	116 mm

Sicht

Aus Tabelle 5.4 können die Werte zur Einstellung der Parameter des Sichtkegels entnommen werden.

Tabelle 5.4: Parameterwerte für die Sicht [19]

Sicht	dauerhaft	oft	meistens	manchmal	selten	nie
Y	15°	30°	75°	95°	115°	0°
Z+	10°	25°	60°	110°	130°	0°
Z-	15°	40°	70°	130°	150°	0°

Erreichbarkeit

Mit den Parametern aus Abschnitt 4.2.1 für die Erreichbarkeit werden die Greifflächen aus Abb. 4.8 auf Seite 29 nachgebildet. Hierzu ergeben sich die Werte wie folgt:

Tabelle 5.5: Parameterwerte für die Erreichbarkeit [19]

Erreichbarkeit	dauerhaft	oft	meistens	manchmal	selten	nie
X-Bedienabstand	160 mm	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm	0 mm
Z-Bedienabstand	320 mm	380 mm	370 mm	410 mm	600 mm	0 mm
Äußerer Radius	408 mm	548 mm	370 mm	410 mm	600 mm	0 mm
Innerer Radius	1 mm	1 mm	165 mm	130 mm	160 mm	0 mm
Winkel	156°	162,5°	240°	297°	297°	0°

Die vier Zonen (1-4) aus Abb. 4.8 entsprechen dabei der Abstufung dauerhaft, oft, meistens und manchmal. Die fünfte Stufe (selten) bildet sich durch nochmalige Vergrößerung des Bereichs der Stufe manchmal.

Orientierung im Raum

Die folgende Tabelle 5.6 beinhaltet die Winkel zur Einstellung der Orientierung des Menschmodells im Fahrzeug.

Tabelle 5.6: Parameterwerte der Orientierung im Raum [19]

Orientierung	Z-Winkel
vowärts	0°
vorwärts rechts	45°
vorwärts links	315°
seitlich rechts	90°
seitlich links	270°
rückwärts rechts	135°
rückwärts links	225°
rückwärts	180°

5.1.2 Fahrzeugmodell

Wie schon in Abschnitt 4.3 erwähnt kann beim Fahrzeugmodell der Typ und 2-3 Beispielfahrzeuge daraus ausgewählt werden. Die Fahrzeugtypen sind in Abschnitt 2.2 klassifiziert. Alle Maße aus Abschnitt 4.2.2 der Fahrzeuge die zur Auswahl stehen sind in einer Excel-Tabelle gespeichert und werden über eine Konstruktionstabelle mit den Parametern in *CATIA* verknüpft. In Tabelle 5.7 sind alle Fahrzeuge die zur Auswahl stehen, nach Fahrzeugklasse und Größe geordnet, aufgelistet.

Tabelle 5.7: Auswählbare Fahrzeugvertreter der verschiedenen Kategorien

Kategorie	Größe	Fahrzeug
1-Box	klein	VW up!, Peugeot 108
	mittel	BMW 2 Active Tourer, BMW 2 Grand Tourer
	groß	VW Sharan, Ford Galaxy, VW T5
2-Box	klein	Mini 3 Türer, VW Polo
	mittel	BMW 3 Touring, BMW X3, Audi A4 Avant Mercedes C-Klasse T-Modell
	groß	BMW 5 Touring, Mercedes E-Klasse T-Modell
3-Box	klein	Mini Coupé, Audi TT, Toyota GT86
	mittel	BMW 3 Limousine (Baujahr 2011-2019), BMW 3 Limousine (Baujahr 2005-2011)
	groß	BMW 5 Limousine, Mercedes E-Klasse

5.2 Spezielle Anwendungsfälle

In diesem Abschnitt werden zwei verschiedene Anwendungsfälle mit dem CAD-Modell dargelegt. Zum einen wird in einem SUV¹ der Kategorie 2-Box mittel (BMW X3) die fahrfremde Tätigkeit Arbeiten und zum anderen die Tätigkeit Schlafen in einer Limousine der Kategorie 3-Box groß (BMW 5 Limousine) simuliert. Besonders die Fahrzeugkategorie der SUVs eignet sich nach einer ersten Überlegung gut, um in diesen Konzepten die fahrfremde Tätigkeit Arbeiten auszuüben, da diese eine große Fahrzeughöhe aufweisen, die eine Integration der aufrechten Haltung erleichtert. Ebenso das Fahrzeugkonzept der Limousine dient aufgrund des Komforts häufig für längere Reisen, weshalb in diesen in Zukunft die Zeit für Erholung und Schlafen genutzt werden könnte.

In beiden Fällen wird als Mensch das 50. Perzentil Mann aus dem Jahr 2025 herangezogen.

¹Sport Utility Vehicle

5.2.1 Arbeiten in einem SUV

In Abb. 5.1 ist die fahrfremde Tätigkeit Arbeiten in einem SUV abgebildet. In dieser Ansicht können bereits erste geometrische Inkonsistenzen erkannt werden.

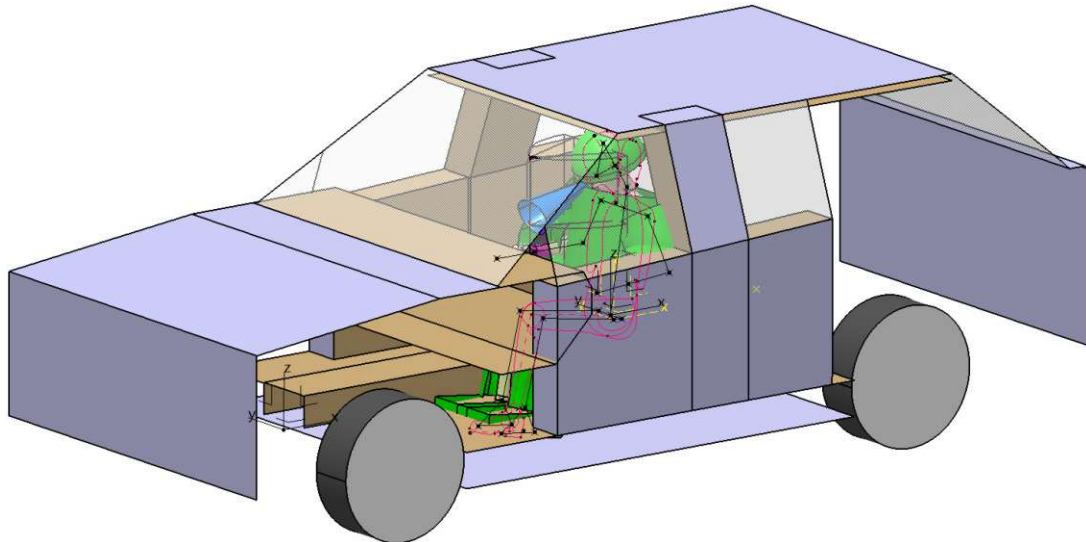


Abbildung 5.1: Fahrfremde Tätigkeit Arbeiten in einem SUV

Bei der Betrachtung des Y-Schnittes durch das Fahrzeug in Abb. 5.2 treten Kollisionen zwischen dem Oberarm bzw. des Raumbedarfs und der B-Säule sowie zwischen Unterarm und dessen Raumbedarf und der Türverkleidung auf.

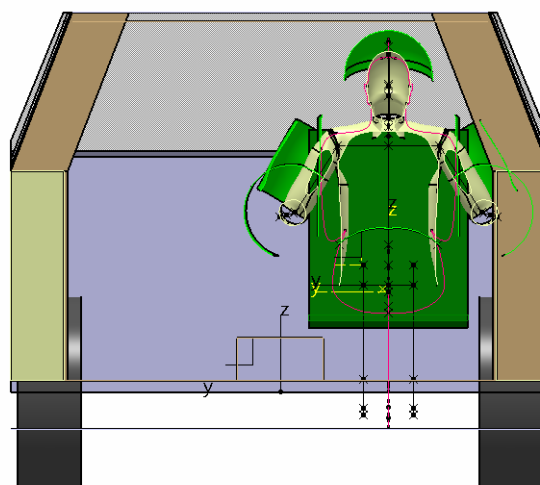


Abbildung 5.2: Y-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Arbeiten

Trotz der relativ großen Fahrzeughöhe von SUVs reicht diese jedoch nicht aus um eine aufrechte Haltung bei der Tätigkeit Arbeiten einzunehmen, wie in Abb. 5.3. Es kommt zu einer Durchdringung der Füße des Menschmodells durch den Boden des Fahrzeuges. Zudem ist das Menschmodell nur auf das 50. Perzentil Mann eingestellt, bei Einstellung des 95. Perzentil sind die Überschneidungen noch gravierender.

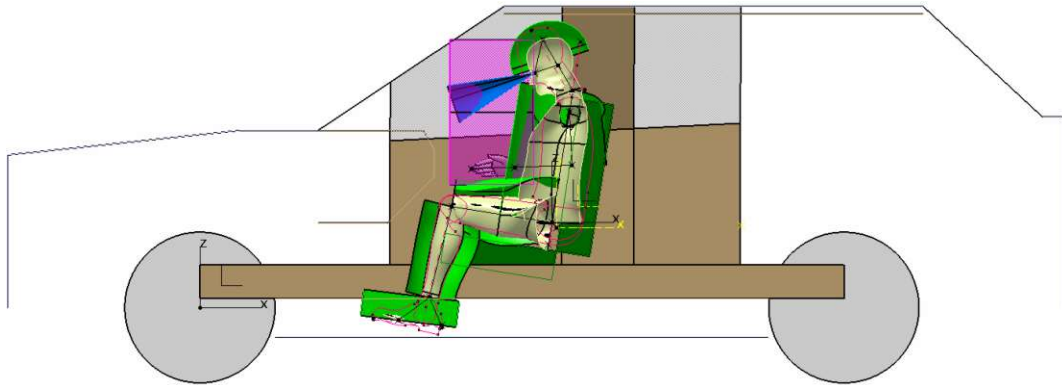


Abbildung 5.3: X-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Arbeiten

5.2.2 Schlafen in einer Limousine

Abb. 5.4 zeigt die fahrfremde Tätigkeit Schlafen in einer Limousine. Im Gegensatz zur fahrfremden Tätigkeit Arbeiten aus dem vorhergehenden Beispiel liegt hier das größte Konfliktpotential bei den Längenmaßen. So lässt eine Vorüberlegung bereits vermuten, dass der Innenraum in X-Richtung wesentlich zu klein ausgeprägt ist.

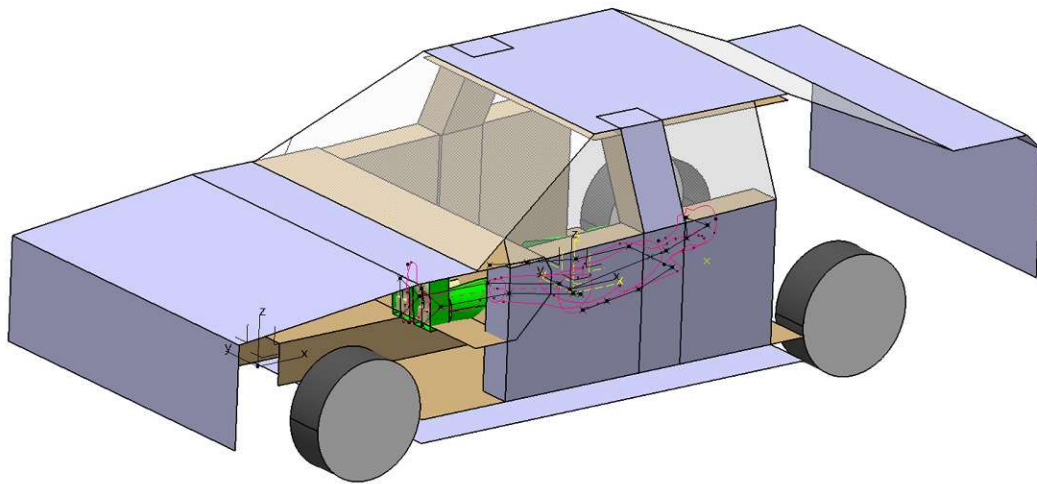


Abbildung 5.4: Fahrfremde Tätigkeit Schlafen in einer Limousine

Wie auch schon bei der fahrfremden Tätigkeit Arbeiten im SUV tritt eine Überschneidung des Ober- und Unterarms mit der B-Säule und der Türverkleidung auf. Zudem ist auch eine kleine Kollision des rechten Arms mit dem Mitteltunnel erkennbar. Beide Sachverhalte sind in Abb. 5.5 zu sehen.

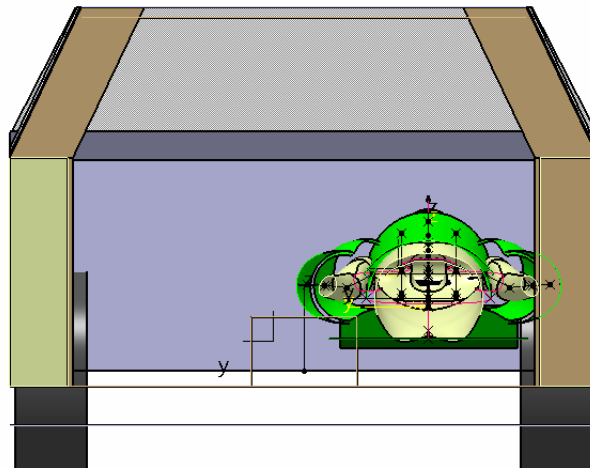


Abbildung 5.5: Y-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Schlafen

In Abb. 5.6 wird deutlich, dass durch die liegende Haltung Komplikationen mit großer Tragweite, aufgrund des geringen Platzangebotes in Fahrzeuginnenraum, auftreten. Der größte Konflikt stellt dabei die Kollision der Unterschenkel und Füße mit der Instrumententafel dar. Aber auch bei der Betrachtung des Oberkörpers wird klar, dass diese Position den gesamten Raum der zweiten Sitzreihe einnimmt.

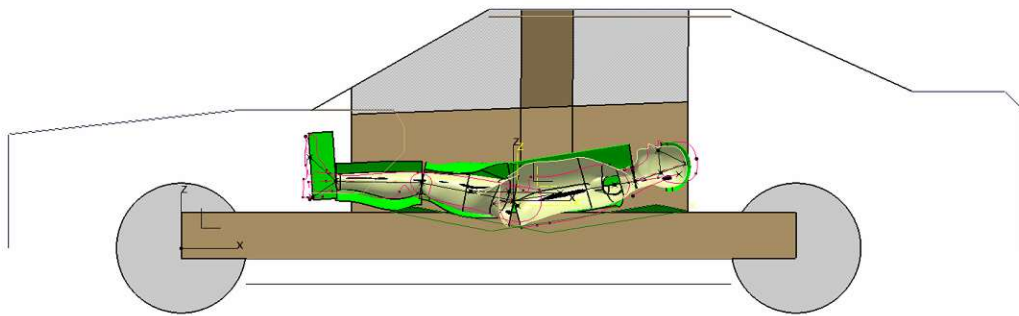


Abbildung 5.6: X-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Schlafen

5.3 Diskussion

Eine Veränderung der Position des Manikins im Sitzverstellfeld für die fahrfremde Tätigkeit Arbeiten im SUV würde nur auf den ersten Blick Abhilfe schaffen. Bei genauerer Betrachtung ist erkennbar, dass die Höhe im Fahrzeuginnenraum zu gering ist, um die aufrechte Haltung des Menschmodells integrieren zu können. Eine Verschärfung der Problematik stellt die Elektrifizierung des Antriebes dar. Durch batteriebetriebene Fahrzeuge, welche aktuell einen im Unterboden verbauten Hochvoltspeicher besitzen, ist es nicht möglich eventuelle Fußmulden im Boden einzuarbeiten, um die aufrechte Körperhaltung besser integrieren zu können. So ist eine Vergrößerung der Fahrzeughöhe eine denkbare Maßnahme. Ein Fahrzeug der Kategorie SUV wird dadurch jedoch noch größer, was sich wiederum negativ auf den Spritverbrauch bzw. auf die Effizienz aufgrund des vergrößerten Luftwiderstandes auswirkt.

Eine weitere Überlegung führt zu dem Ergebnis, dass die Durchführung der Tätigkeit Arbeiten mit einem Notebook Kollisionen mit der Instrumententafel bzw. mit dem Lenkrad zur Folge hat. So zumindest in aktuellen Fahrzeugen. In zukünftigen Fahrzeugkonzept ist z.B. denkbar, dass das Lenkrad eingeklappt wird sobald sich das Fahrzeug im autonom fahrenden Modus befindet. Dies hat zur Folge, dass das Platzangebot größer wird und somit die Tätigkeit Arbeiten erleichtert wird.

Auch bei der Tätigkeit Schlafen in der Limousine ist die Verschiebung des Menschmodells innerhalb des Sitzverstellfeldes keine Lösung, da eine Entschärfung des Konfliktes an den Füßen zu einer größeren Überschneidung am Oberkörper bzw. am Kopf mit der zweiten Sitzreihe führt.

Eine Möglichkeit zur Integration ist eine Verlängerung des Fahrzeuges bzw. des Radstandes. Aufgrund der Liegeposition bedingt dies jedoch einen sehr großen Eingriff in die Länge des Fahrzeuges und somit eine gravierende Veränderung des Fahrzeugkonzeptes. Eine Verlängerung des Radstandes führt zu einer Änderung der Fahrdynamik und hat somit einen großen Einfluss auf das Gesamtfahrzeug. Ohne die Fahrzeugabmessung zu groß zu verändern hat die Liegeposition zur Folge, dass in der zweiten Sitzreihe keine Passagiere mehr Platz finden. Desweiteren bringt es eine große Anzahl an Änderungsmaßnahmen für den Innenraum mit sich. Durch die schlafende Haltung entsteht eine Änderung des Bedarfs einer Armauflage, diese ist nicht mehr in der Türverkleidung sondern weiter in Richtung B-Säule erforderlich. Eine andere Option ist die Integration dieser in den Sitz.

Eine weitere Maßnahme, die zur Integration des Schlafens erforderlich ist, ist die Erhöhung der Position des Sitzes aufgrund der leichten Kollision mit dem Mitteltunnel. Dies spielt besonders bei Fahrzeugen mit Heck- und Allradantrieb aufgrund des Kardantriebes und des dadurch größeren Mitteltunnels eine Rolle.

Eine Auffälligkeit die bei beiden Anwendungen erkennbar ist, ist die Tatsache, dass die Fahrzeugbreite nicht ausreicht. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass es unabdingbar wird Fahrzeuge in Zukunft zu verbreitern.

Abschließend sei nochmal hervorgehoben, dass die betrachteten Haltungen aus der Literatur stammen. Durch konkrete Untersuchungen im Fahrzeug muss erst eruiert werden ob die Ausprägungen der Haltungen und auch der anderen Themenfelder der anthropometrischen Ergonomie für die fahrfremden Tätigkeiten dem Nutzerwunsch entsprechen. Aufgrunddessen wird dann die Entscheidung getroffen ob das Fahrzeugkonzept daran angepasst wird, oder ob der Nutzer in der Haltung und auch in den anderen Themenfeldern eingeschränkt wird. Eine Änderung der Haltung der Tätigkeit Schlafen in die Richtung der Entspannungshaltung, stellt möglicherweise eine annehmbare Einschränkung für den Nutzer dar. Dadurch muss das Fahrzeugkonzept nicht grundlegend verändert werden und erleichtert somit die Integration. Auch bei der Tätigkeit Arbeiten ist an eine Einschränkung des Nutzers in der Ausführung dieser zu denken. Beispielsweise in der Reduzierung des Raumbedarfs mit der Begründung, dass das Fahrzeug nicht den Büroarbeitsplatz ersetzen soll, sondern nur für kleinere, weniger zeitaufwändige Arbeiten genutzt werden kann. Eine zusätzliche Abweichung vom optimalen Arbeitsplatz ist beispielsweise die Positionierung des Arbeitsmediums (z.B. Laptop oder ähnliches) und damit einhergehend die notwendige Erweiterung des Sichtkegels des Nutzers.

Kapitel 6

Zusammenfassung und Fazit

Mit dem während dieser Arbeit entstandenen *CATIA*-Modell können erste Bewertungen zur Integration fahrfremder Tätigkeiten in bestehende Fahrzeugkonzepte durchgeführt werden. Es dient auch zur Anpassung des abstrakten Fahrzeugmodells an die gewünschte fahrfremde Tätigkeit. Durch die Beschreibung zweier Anwendungsfälle in Kapitel 5 werden die ersten Problematiken erkennbar, große Änderungen sind notwendig, um wie in den Beispielen die fahrfremden Tätigkeiten Schlafen und Arbeiten in das Fahrzeugkonzept integrieren zu können.

Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass mit dieser Arbeit nicht auf die Ausprägung der verschiedenen fahrfremden Tätigkeiten eingegangen wird. Ziel ist es ein Tool zu erzeugen mit dem diese bewertet werden können. Welche fahrfremde Tätigkeiten und in welcher Ausprägung diese in Zukunft in autonom fahrenden Fahrzeugen ausgeführt werden und somit eine Integration im Fahrzeugkonzept erfordern, müssen durch weitere Untersuchungen bzw. Studien erst erforscht werden.

Die Grenzen des Tools werden durch das sehr abstrakte Fahrzeugmodell ersichtlich. So ist die Instrumententafel als nur eine sehr einfache geometrische Form dargestellt die kein Lenkrad beinhaltet. Auch der Mitteltunnel, die Türverkleidungen und der Sitz sind nur in groben Zügen mit der Realität vergleichbar. Damit die geometrische Integration fahrfremder Tätigkeiten besser beurteilt werden kann ist hier eine detailreichere Ausgestaltung notwendig.

Die Vielzahl an erdenklichen fahrfremden Tätigkeiten wird dazu führen, dass nicht die Gesamtheit aller in jedes Fahrzeugkonzept integriert werden, sondern dass für bestimmte Konzepte nur bestimmte Tätigkeiten vorgehalten werden. So eignet sich ein SUV besonders gut zur Integration der fahrfremden Tätigkeit Arbeiten oder die Limousine zum Schlafen. Erdenklich ist auch, dass in Kleinstfahrzeuge die für die urbane Mobilität konzipiert sind keine fahrfremden Tätigkeiten integriert werden, da sich diese aufgrund ihrer Größe besonders schlecht eignen und sie auch zum Großteil für kurze Strecke eingesetzt werden. In Zukunft muss also entschieden werden, in welchem Fahrzeugkonzept wird welche fahrfremde Tätigkeit integriert.

Ist die Integration von möglichst vielen verschiedenen fahrfremden Tätigkeit in ein einziges Fahrzeugkonzept gewünscht, so wird dies zu großvolumigen Fahrzeugen der 1-Box Klasse führen. Gestützt wird diese These dadurch, dass aktuelle Fahrzeuge, die bereits jetzt eine Vielzahl an fahrfremden Tätigkeiten (für die Passagiere abgesehen vom Fahrer) zulassen, aus diesem Segment kommen. Beispiele hierfür sind der VW T6 oder die Mercedes V-Klasse, die durch ihre hohe Variabilität und ihrem großzügigen Platzangebot die Ausführung fast jeder erdenklichen fahrfremden Tätigkeit ermöglichen.

Durch die Elektrifizierung der Fahrzeuge und die damit einhergehende Vereinfachung des Antriebsstrangs erhöhen sich die Gestaltungsmöglichkeiten der Fahrzeugkonzepte. Dies erleichtert somit auch die Integration fahrfremder Tätigkeiten, da Fahrzeuge dann anders aufgebaut und gestaltet werden können.

Das Modell kann auch zur Konzeptentwicklung in der frühen Phase des Entwicklungsprozesses verwendet werden. So können Fahrzeuge schon im Vorfeld auf fahrfremde Tätigkeiten angepasst werden. Zur Verwendung des Modells in bereits bestehenden Fahrzeugkonzepten wäre eine Erweiterung sinnvoll. So bietet die wissensbasierte Konstruktion in *CATIA* auch die Möglichkeit sogenannte Prüfungen, wie in Abschnitt 3.2 bereits erwähnt, einzuführen. Damit können mögliche Kollisionen bzw. Überschneidungen mit dem Menschmodell besser und schneller erkannt werden. Ein weiterer möglicher Ausbau des Tools stellt eine automati-

sche Anpassung des Innenraums bzw. des Fahrzeugkonzeptes an die ausgewählte fahrfremde Tätigkeit dar.

Mit der Einführung von autonom fahrenden Fahrzeugen und der damit einhergehenden Umstellung der Fahrzeitnutzung von der Fahrtätigkeit zu fahrfremden Tätigkeiten ergeben sich auch noch weitere Problematiken. So zum Beispiel die Position des Gurtes, welcher zur Gewährleistung der Sicherheit in den Sitz integriert werden muss. Generell gilt es zu untersuchen wie der Passagier in den verschiedenen Haltungen bei einem Unfall optimal geschützt werden kann. Auch stellt sich die Frage der Anordnung der Bedienelemente des Infotainmentsystems bzw. des Fahrzeuges, die aktuell in den verschiedenen Ausprägungen der Entspannungshaltungen und der liegenden Haltung nur schwer oder gar nicht erreichbar sind.

Als Resümee dieser Arbeit wird festgehalten, dass bei den Fahrzeugen die sich aktuell auf dem Markt befinden noch großer Handlungsbedarf besteht, um fahrfremde Tätigkeiten in diesen zu integrieren. Somit steht also auch die Fahrzeugkonzeption im Vordergrund der Überlegungen. Dabei muss wahrscheinlich bald berücksichtigt werden, dass die Kaufentscheidung von Kunden nicht aufgrund von Fahrleistungen oder Alltagstauglichkeit, sondern besserer Eignung zur Ausführung bestimmter fahrfremder Tätigkeiten getroffen wird.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Anzeige im <i>Life</i> -Magazin von 1956 des Unternehmens Americas Independent Electric Light and Power Companies [1]	2
2.1	Entwicklungsprozess von Fahrzeugen der Marke <i>Opel</i> [4]	5
2.2	Mögliche Fahrzeugkonzepte abhängig von der Insassenhaltung [7]	6
2.3	Klassifizierung der Fahrzeuge nach ihrer Größe und ihrer Grundform [8]	8
2.4	Regelkreis der Fahraufgabe mit Zuordnung der einzelnen Tätigkeiten in die drei Bereiche [3]	11
2.5	Gewünschte fahrfremde Tätigkeiten während einer Fahrt in einem hochautomatisierten Fahrzeug [18]	16
2.6	Matrix zur geometrischen Beschreibung fahrfremder Tätigkeiten [19]	17
3.1	Entwicklung der Modellierungsarten von CAD-Systemen [20] . . .	18
4.1	Koordinatensystem des CAD-Modells	22
4.2	Menschmodell mit SAE-Schablone, Raumbedarf, Erreichbarkeit und Sichtkegel	23
4.3	Skelett des Menschmodells mit SAE-Schablone	24
4.4	Maße und Winkel des Skeletts des Menschmodells [8]	25
4.5	Skelett des Menschmodells mit Körperelementen	26
4.6	Menschmodell dargestellt mit Raumbedarf	27
4.7	Sichtkegel	28
4.8	Greifräume zur Ableitung der Erreichbarkeit [25]	29
4.9	Erreichbarkeit	29

4.10	Rotationsachse zur Orientierung des Menschmodells [8]	30
4.11	Bezugsebenen die das Fahrzeugskelett definieren	31
4.12	Gesamtfahrzeugmodell	31
4.13	Y-Schnitt durch das Fahrzeugmodell	32
4.14	Längenmaße des Fahrzeuges [8]	36
4.15	Breitenmaße des Fahrzeuges [8]	37
4.16	Höhenmaße des Fahrzeuges [8]	38
4.17	Steuerungsparameter des CAD-Modells	39
5.1	Fahrfremde Tätigkeit Arbeiten in einem SUV	46
5.2	Y-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Arbeiten . . .	46
5.3	X-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Arbeiten . . .	47
5.4	Fahrfremde Tätigkeit Schlafen in einer Limousine	48
5.5	Y-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Schlafen . . .	48
5.6	X-Schnitt durch das Fahrzeug: fahrfremde Tätigkeit Schlafen . . .	49

Tabellenverzeichnis

5.1	Geometrische Beschreibung der fünf fahrfremden Tätigkeiten [19]	41
5.2	Parameterwerte der Haltung [19]	42
5.3	Parameterwerte des Raumbedarfs [19]	42
5.4	Parameterwerte für die Sicht [19]	43
5.5	Parameterwerte für die Erreichbarkeit [19]	43
5.6	Parameterwerte der Orientierung im Raum [19]	44
5.7	Auswählbare Fahrzeugvertreter der verschiedenen Kategorien . . .	45

Literaturverzeichnis

- [1] MAURER, M.; GERDES, J. C.; LENZ, B.; WINNER, H., *Autonomes Fahren: technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*; Springer-Verlag: 2015.
- [2] TZIVANOPOULOS, T.; STIEG, J.; KRASTEVA, P.; VIETOR, T. in *14. Internationales Stuttgarter Symposium*, 2014, S. 1475–1488.
- [3] PISCHINGER, S.; SEIFFERT, U., *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*; Springer-Verlag: 2016.
- [4] MÜLLER, A. Systematische und nutzerzentrierte Generierung des Pkw-Maßkonzepts als Grundlage des Interior- und Exteriordesign., Diss., Universität Stuttgart, 2010.
- [5] HAHN, J. Eigenschaftsbasierte Fahrzeugkonzeption: Eine Methodik in der frühen Konzeptphase., Diss., Universität Magdeburg, 2017.
- [6] GCIE - GLOBAL CARS MANUFACTURERS INFORMATION EXCHANGE GROUP, *Package Drawing Exchanges: Model Year 2018*, 2018.
- [7] TZIVANOPOULOS, T.; WATSCHKE, H.; KRASTEVA, P.; VIETOR, T. *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift* 2015, 117, 16–21.
- [8] RÜCK, M. Aus- und Wechselwirkungen von fahrfremden Tätigkeiten auf das Maßkonzept zukünftiger Fahrzeugmodelle., Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2019.
- [9] MCGUIRE, N.; MADLEY, S.; SEVRENCE, S.; KOSTRZEWA, J.; BILK, J.; GOURD, D.; THYAGARAJAN, R. *GENPAD®-Ergonomic Packaging*; SAE Technical Paper, 2002.

- [10] BUBB, H.; BENGLER, K.; GRÜNEN, R. E.; VOLLRATH, M., *Automobilergonomie*; Springer-Verlag: 2015.
- [11] RAABE, R. Ein rechnergestütztes Werkzeug zur Generierung konsistenter PKW-Maßkonzepte und parametrischer Designvorgaben., Diss., Universität Stuttgart, 2013.
- [12] HUDELMAIER, J. Sichtanalyse im Pkw unter Berücksichtigung von Bewegung und individuellen Körpercharakteristika., Diss., Technische Universität München, 2003.
- [13] SAE - SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, *Surface Vehicle Recommended Practice: (R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*; SAE International: 2018, https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/, [besucht am 03.09.2019].
- [14] LENZ, B. in 8. Darmstädter Kolloquium 7./8. März 2017 Technische Universität Darmstadt Herausgeber: H. Winner und R. Bruder, 2017.
- [15] SEECK, A.; GASSER, T. M.; AUERSWALD, R. in 8. Darmstädter Kolloquium 7./8. März 2017 Technische Universität Darmstadt Herausgeber: H. Winner und R. Bruder, 2017.
- [16] MANSTETTEN, D. in 8. Darmstädter Kolloquium 7./8. März 2017 Technische Universität Darmstadt Herausgeber: H. Winner und R. Bruder, 2017.
- [17] PFLEGING, B. Automotive user interfaces for the support of non-driving-related activities., Diss., Universität Stuttgart, 2017.
- [18] PFLEGING, B.; RANG, M.; BROY, N. in *Proceedings of the 15th international conference on mobile and ubiquitous multimedia*, 2016.
- [19] SEEBACH, N.; FITZEN, F.; ARLT, F.; BENDER, B., *Geometrische Beschreibung fahrfremder Tätigkeiten*, 2018.
- [20] HARRICH, A. CAD-basierte Methoden zur Unterstützung der Karosseriekonstruktion in der Konzeptphase., Diss., Technische Universität Graz, 2015.

- [21] GRABNER, J.; NOTHHAFT, R., *Konstruieren von Pkw-Karosserien: Grundlagen, Elemente und Baugruppen, Vorschriftenübersicht, Beispiele mit CATIA V4 und V5*; Springer Science & Business Media: 2006; Bd. 5.
- [22] VAJNA, S.; WEBER, C.; ZEMAN, K.; HEHENBERGER, P.; GERHARD, D.; WARTZACK, S., *CAX für Ingenieure: Eine praxisbezogene Einführung*; Springer-Verlag: 2018.
- [23] EVERSHEIM, W.; SCHUH, G., *Integrierte Produkt-und Prozessgestaltung*; Springer-Verlag: 2005.
- [24] TECKLENBURG, G. Design of body assemblies with distributed tasks under the support of parametric associative design (PAD)., Diss., University of Hertfordshire, 2011.
- [25] ITEM INDUSTRIE TECHNIK GMBH, *Glossar*, <https://glossar.item24.com/glossarindex/artikel/item/greifraum.html>, [besucht am 30.08.2019].