



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Vienna University of Technology

## **Masterarbeit**

Konzeption zukünftiger Lkw-Fahrerhäuser unter Berücksichtigung ergonomischer  
Richtlinien für den Zeitraum 2025 – 2035

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## **Master of Science**

unter der Leitung von

**Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Matyas**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und  
Systemplanung)

**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und  
Systemplanung, Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

**Alexander Natlacen**

0925277 (066482)

Einsiedeleigasse 37

1130 Wien

Wien, im Juni 2015

---

Alexander Natlacen



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

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

**Masterarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Juni 2015

---

Alexander Natlacen

## **Danksagung**

Diese Arbeit entstand im Zuge meiner Tätigkeit als Thesisverfasser bei der MAN Truck & Bus AG in München in der Abteilung ERES am Forschungszentrum Fahrer-arbeitsplatz im Bereich Virtuelle Ergonomie. An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während des Verfassens dieser Masterarbeit sowie im Verlauf des Studiums unterstützt haben.

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt Matyas für sein Interesse an der Arbeit bedanken. Ebenso bei Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold für die operative Betreuung während der Arbeit.

Besonderen Dank möchte ich Herrn Florian Kremser aussprechen, welcher mich seitens MAN Truck & Bus AG betreut hat. Seine Unterstützung und konstruktive Kritik war stets eine Bereicherung für diese Arbeit.

Außerdem danke ich Herrn Andreas Zimmermann und Herrn Jürgen Kahle, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, meine Thesis bei MAN Truck & Bus AG zu verfassen. Ebenso danke ich allen weiteren Kollegen in der Dieselstraße für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung während dieser Zeit.

Zudem möchte ich mich bei meinen Eltern für die Geduld und die finanzielle Unterstützung während der gesamten Studiendauer bedanken sowie bei meinen Studienkollegen Clemens, Konstantin, Philip und Rainer (NC) für alle gemeinsamen Erlebnisse während der Studienzeit.

## **Kurzfassung**

Eine Vielzahl von Trends wirken auf den Nutzfahrzeugmarkt. Zu diesen Trends zählen vor allem der demographische Wandel, die Reduktion der Schadstoffemissionen, die höhere Transporteffizienz und der unfallfreie Transport. Unter Beachtung der gesetzlichen Vorschriften sind Nutzfahrzeughersteller angehalten, diese Trends bei der Gestaltung von zukünftigen Lkw-Fahrerhäusern zu berücksichtigen, um eine hohe Konkurrenzfähigkeit erzielen zu können.

Ausgehend von diesen Trends werden Konzepte für zukünftige Lkw-Fahrerhäuser für den Zeitraum 2025 – 2035 entwickelt. Hierfür werden im Verlauf eines Produktentwicklungsprozesses zunächst wesentliche Teilbereiche des Fahrerhauses getrennt voneinander betrachtet und Teillösungen auf methodische Art und Weise generiert. Der Hauptfokus liegt auf der Entwicklung eines ergonomischen Fahrerarbeitsplatzes unter Berücksichtigung neuer Technologien. Darüber hinaus findet die Entwicklung eines innovativen Wohnkonzepts statt.

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus der Konzeption werden schließlich Teillösungen zu Gesamtkonzepten zusammengeführt und als dreidimensionales CAD-Funktionsmodell aufgebaut. Dies ermöglicht, die Konzepte hinsichtlich ergonomischer Gesichtspunkte mit Hilfe von Analysemethoden der virtuellen Ergonomie zu analysieren und eine prospektive Evaluierung durchzuführen. Abschließend werden die entwickelten Konzepte miteinander verglichen und auf ihre Vor- und Nachteile untersucht.

Die Konzepte zeigen Lösungsansätze zur Einbindung neuer Technologien in Nutzfahrzeugen und in wie fern sich Erscheinung und Eigenschaften von Lkw in Europa zukünftig wandeln.

**Abstract**

The commercial vehicle market is subject to a variety of trends such as the demographic change, the reduction of pollutant emissions, a higher transport efficiency and accident-free transportation. In compliance with the legal regulations, vehicle producers are required to consider these trends in their designs of future lorry cabs to ensure a high degree of competitiveness.

Based on these trends concepts for future truck cabs are being developed for the period 2025 – 2035. For this purpose sections of a truck cab are examined separately during a product development process and partial solutions are generated in a methodological approach. The main focus is on the development of an ergonomic driver's workplace under consideration of new technologies. In addition, an innovative concept of living in the cab is developed.

On the basis of the knowledge achieved during the design of the product the partial solutions are merged into overall concepts and transmitted in virtual surrounding using CAD. This enables the analysis of the concepts regarding ergonomic aspects with the help of various tools of virtual ergonomics. In consequence, a prospective evaluation is carried out. Finally, the developed concepts are compared and discussed.

The concepts present solutions for the integration of new technologies in commercial vehicles and give an idea how the appearance and the characteristics of trucks in Europe change in the future.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
1.1	Problemstellung.....	4
1.2	Erwartetes Ziel .....	5
1.3	Methodische Vorgehensweise .....	6
1.4	Das Unternehmen .....	8
2	Trends der Zukunft.....	9
2.1	Demographischer Wandel und Urbanisierung .....	9
2.2	Hocheffiziente, lautlose und emissionsarme Nutzfahrzeuge.....	11
2.3	Vollständige Transparenz der Fahrzeugflotte .....	12
2.4	Unfallfreier Transport.....	13
2.5	Zunehmender Wettbewerb.....	14
2.6	Fazit.....	14
3	Theoretische Grundlagen.....	15
3.1	Grundlagen der Nutzfahrzeugtechnik.....	15
3.1.1	Bauarten für Nutzfahrzeuge.....	15
3.1.2	Motoranordnung bei Lastkraftwagen .....	15
3.1.3	Aerodynamik von Nutzfahrzeugen.....	16
3.1.4	Sicherheit von Nutzfahrzeugen.....	20
3.2	Gesetzliche Grundlagen.....	21
3.2.1	Abmessungen von Nutzfahrzeugen.....	21
3.2.2	Arbeits- und Lenkzeiten für Nutzfahrzeug-Fahrer.....	22
3.2.3	Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr .....	23
3.2.4	Lenkeinrichtung .....	24
3.3	Grundlagen der Fahrzeuginteraktion.....	24
3.3.1	Interaktionskanäle.....	26
3.3.2	Interaktionselemente .....	28
3.3.3	Umsetzung der Interaktionskonzepten im Fahrzeug .....	29
3.4	Grundlagen der Fahrzeugführung.....	33
3.4.1	Teilaufgaben der Fahrzeugführung .....	33
3.4.2	Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten.....	34

---

3.4.3	Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe .....	35
3.4.4	Wandel der Fahrzeugkontrolle.....	35
3.4.5	Automatisierte Fahrzeugführung .....	37
3.4.6	Aspekte der Fahrzeugautomatisierung.....	38
3.4.7	Kooperative Fahrzeugführung .....	40
3.4.8	Umsetzung der kooperativen Fahrzeugsteuerung.....	41
3.5	Grundlagen der methodischen Produktentwicklung.....	43
3.5.1	Münchener Vorgehensmodell (MVM).....	43
3.5.2	Morphologischer Kasten .....	45
3.5.3	Bewertungsmatrizen .....	45
4	Konzeption Fahrerhaus .....	46
4.1	Konzeptionsvorbereitung.....	46
4.1.1	Reduktion der Komplexität.....	46
4.1.2	Zielanalyse Fahrerhaus .....	48
4.2	Form des Fahrerhauses .....	50
4.2.1	Anforderungen an die Form des Fahrerhauses.....	51
4.2.2	Darstellung und Bewertung möglicher Fahrerhausformen .....	52
4.3	Fahrersitz .....	59
4.3.1	Geometrie eines Nutzfahrzeugsitzes.....	59
4.3.2	Festlegen der Bezugsgrößen .....	60
4.3.3	Zielgrößen der Fahrersitzposition .....	62
4.3.4	Anwendung der Bedingungen .....	64
4.4	Bedienelemente zur Fahrzeugführung.....	70
4.4.1	Analyse der Eigenschaften konventioneller Steuerelemente .....	70
4.4.2	Anforderung an zukünftige Steuerelemente .....	71
4.4.3	Alternative Steuerkonzepte.....	71
4.4.4	Entwurf eines Steuerkonzepts.....	74
4.5	Arbeitsplatzgestaltung.....	76
4.5.1	Zielgrößen der Arbeitsplatzgestaltung .....	77
4.5.2	Anwenden der Gestaltungsempfehlungen.....	80
4.6	Interaktionskonzept .....	81
4.6.1	Kompatibilität von Interaktionskonzepten im Nutzfahrzeug .....	82

---

4.6.2	Auswahl eines Interaktionskonzepts.....	84
4.7	Wohnbereich .....	86
4.7.1	Ermittlung des Wohnbereichs.....	86
4.7.2	Analyse der Einrichtungsgegenstände .....	89
4.7.3	Entwicklung eines Wohnraumkonzepts .....	90
5	Simulationsgestützte Konstruktion und Analyse .....	91
5.1	Übertragung der Konzepte A und B in virtuelle Umgebung .....	91
5.2	Ergonomische Analyse mit Hilfe des digitalen Menschmodell-Programms RAMSIS.....	93
5.2.1	Erzeugen des Manikins .....	94
5.2.2	Positionierung des Manikins .....	95
5.2.3	Anpassung der Neigung der Anzeigeelemente .....	96
5.2.4	Greifraum-Analyse.....	96
5.2.5	Direktsicht-Analyse .....	97
5.2.6	Blickdauer-Analyse .....	98
5.2.7	Reflektions-Analyse .....	99
5.2.8	Presbyopie-Analyse (Alterssichtigkeit) .....	100
5.3	Anpassung der Konstruktion .....	100
5.4	Entwurf eines innovativen Wohnkonzepts in CAD .....	102
6	Fazit.....	105
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	108
8	Literaturverzeichnis .....	110
9	Abbildungsverzeichnis.....	114
10	Tabellenverzeichnis.....	116
11	Abkürzungsverzeichnis .....	117

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Der europäische Nutzfahrzeugsektor ist einer Vielzahl von Trends ausgesetzt, welche das Produkt Lkw vielschichtig beeinflussen. Allerdings wirkt in der heutigen Zeit vor allem die europäische Gesetzeslage einschränkend auf die Ingenieure, wodurch lediglich die Verbesserung und die Weiterentwicklung des Produkts möglich ist, revolutionäre Neuentwicklungen jedoch kaum möglich sind.<sup>1</sup> Der Ruf, die Verkehrssicherheit zu erhöhen und die Kosten zu senken, lässt diesbezüglich jedoch inzwischen ein Umdenken erkennen.<sup>2</sup>

Ebenfalls zu beobachten ist eine zunehmend prekäre Lage bei der Akquise von Nachwuchskräften für den Fernverkehr in Europa, welche durch die ansteigende Transportleistung und die demographische Alterung ohnehin verstärkt wird. Darüber hinaus sind Mängel in der Qualität und Quote der Ausbildung, das negativ behaftete Image der Kraftfahrer, die unausgeglichene Balance zwischen Arbeit und Privatleben, arbeitserschwerende Gesetze sowie nicht angemessene Entlohnung Gründe für den Berufskraftfahrermangel.<sup>3</sup> Neben den Speditionen sind auch Nutzfahrzeughersteller angewiesen, angemessen auf diese Trends zu reagieren.

Des Weiteren drängen vermehrt neue Technologien auf den Automobilmarkt, welche auch im Nutzfahrzeug-Bereich eingesetzt werden. Dies ist besonders bei Systemen zur Erhöhung der Fahrzeugautomatisierung zu beobachten. Meist scheitert die Implementierung nicht an der Schwierigkeit der technischen Umsetzung im Fahrzeug, sondern an der fehlenden gesetzlichen Grundlage.<sup>4</sup>

Viele Einflussfaktoren wirken auf den Nutzfahrzeugmarkt und beeinflussen die Anforderungen zukünftiger Nutzfahrzeuge. Um die Auswirkungen auf den Nutzfahrzeugmarkt zu erkennen, eignet sich zur Gesamtbetrachtung die Erstellung von Konzepten für zukünftige Nutzfahrzeuge unter Berücksichtigung der genannten Einflussfaktoren.

---

<sup>1</sup> vgl. o.V.: New EU rules for safer and more environmental lorries (15.04.2013)  
[http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-13-328\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-328_en.htm) (Gelesen am: 04.12.2014)

<sup>2</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.16

<sup>3</sup> vgl. Lohre et al., 2014, S.86f

<sup>4</sup> vgl. Schulze, 2014, S.22f

## 1.2 Erwartetes Ziel

Ziel ist es, eine Gesamtbetrachtung für zukünftige Nutzfahrzeuge unter Berücksichtigung der mannigfaltigen Einflussfaktoren zu erstellen. Hierfür werden zunächst maßgebliche Zukunftstrends, welche die kommerzielle Transportindustrie beeinflussen, identifiziert und deren Auswirkungen auf zukünftige Nutzfahrzeuge festgestellt.

Auf dieser Grundlage werden Teillösungen für neuartige Fernverkehrs-Fahrerhäuser für den Zeitraum 2025 – 2035 gefunden, welche schließlich in Gesamtkonzepte zusammengefasst werden. Hierbei besteht die Möglichkeit, sich von heute existierenden Lösungen zu distanzieren und unter Annahmen in Zukunft vorstellbarer technologischer und gesetzlicher Rahmenbedingungen neue Ideen zu verwirklichen. Die weit vorangeschrittene Forschung zur Erhöhung des Automatisierungsgrads von Fahrzeugen im Straßenverkehr könnte in Zukunft eine Schlüsselrolle spielen, um den Fahrer von der Fahraufgabe zu entlasten und den Berufsstand Fernfahrer durch ein breiteres Aufgabenspektrum aufzuwerten.

In weiterer Folge werden die entwickelten Konzepte und generierte Ideen in ein dreidimensionales CAD-Funktionsmodell umgesetzt. Dies ermöglicht, die Konzepte beispielsweise hinsichtlich der Erreichbarkeit und Sichtbarkeit der Interaktionselemente zu analysieren. Abschließend können Vor- und Nachteile bzw. Gemeinsamkeiten der Konzepte diskutiert werden.

### 1.3 Methodische Vorgehensweise

Um die erläuterten Ziele zu erfüllen, wird zunächst eine umfassende Literaturrecherche betrieben. Im Rahmen dieser Recherche werden einerseits Themen wie allgemeine Nutzfahrzeugtechnik, neue Technologien und existierende Konzepte der Automobilindustrie sowie gegenwärtige und in Diskussion stehende Gesetzestexte analysiert. Andererseits wird nach der geeigneten Methodik für den Produktentwicklungsprozess gesucht. Hierbei kommt das Münchner Vorgehensmodell (MVM) nach Lindemann zum Einsatz.<sup>5</sup> Des Weiteren werden Kreativitätstechniken wie Brainstorming und der morphologische Kasten angewendet. Zur Herbeiführung von Entscheidungen werden Bewertungsmatrizen erstellt und Konstruktionsrichtlinien berücksichtigt. Bei der Erstellung eines CAD-Funktionsmodells wird die Software CATIA V5R19 verwendet. Die Analysen der Konzepte werden mit Hilfe der digitalen Menschmodellsoftware RAMSIS durchgeführt.

Aus der methodischen Vorgehensweise ergibt sich der Aufbau der Arbeit. In der *Einleitung* werden Problematik und Ziele sowie die methodische Vorgehensweise erläutert. Im darauffolgenden Kapitel *Trends der Zukunft* wird genauer auf die Motivation der Arbeit eingegangen. Dafür werden im Rahmen einer Literaturrecherche die auf den Nutzfahrzeugmarkt wirkenden Trends identifiziert. Das Kapitel *Theoretische Grundlagen* erläutert den State of the Art der Nutzfahrzeugtechnik. Dieses Kapitel bildet die Grundlage, um die im weiteren Verlauf der Arbeit behandelte Konzeption möglichst ganzheitlich zu analysieren. Im Kapitel *Konzeption Fahrerhaus* werden unter Verwendung von Kreativitätsmethoden wie morphologischer Kasten und Brainstorming sowie unter Berücksichtigung von Konstruktionsrichtlinien und im Rahmen der Literaturrecherche ermittelten Lösungen Konzepte erarbeitet. Diese werden zu Gesamtkonzepten zusammengefügt. Die Gesamtkonzepte werden im Rahmen der *Simulationsgestützte Konstruktion und Analyse* mittels CAD-Software virtuell im dreidimensionalen Raum dargestellt. Durch die virtuelle Darstellung können die Konzepte detailliert ausgearbeitet und hinsichtlich ergonomischer Kriterien analysiert werden. Die ergonomische Analyse erfolgt mit Hilfe des digitalen Menschmodells RAMSIS. Abschließend werden die Erkenntnisse im Kapitel *Fazit* diskutiert. Im abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse zusammengefasst und der Ausblick über die Thematik der Arbeit beschrieben.

Die beschriebene Vorgehensweise wird in Form eines Flussdiagramms dargestellt, welches die einzelnen Arbeitspakete enthält (vgl. Abbildung 1).

---

<sup>5</sup> vgl. Lindemann, 2009, S.46ff

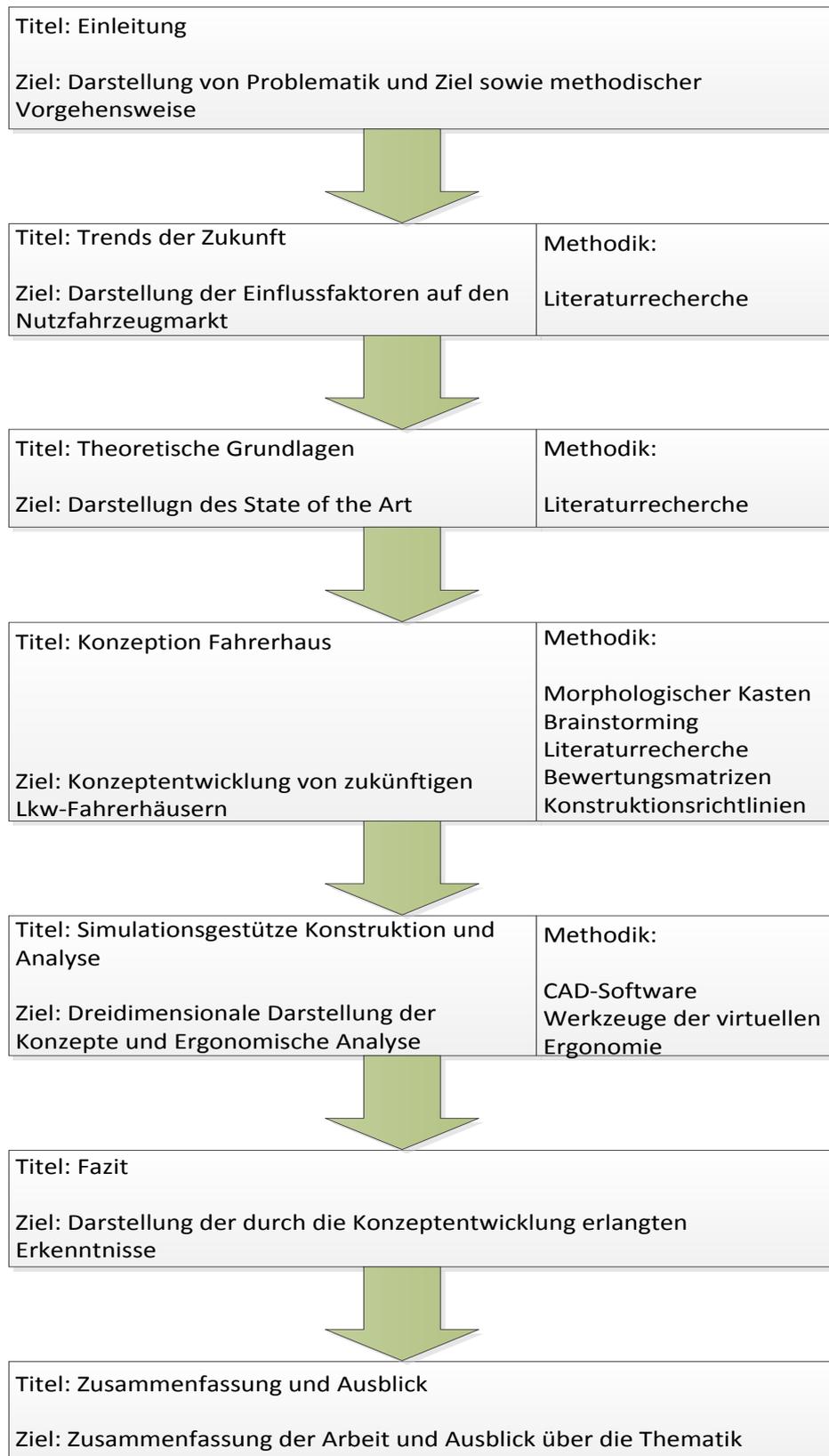


Abbildung 1: Arbeitspakete in Flussdiagramm-Darstellung

## 1.4 Das Unternehmen

*„Die MAN Gruppe ist eines der führenden Nutzfahrzeug-, Motoren- und Maschinenbauunternehmen Europas mit jährlich rund 14,3 Mrd. € Umsatz und weltweit etwa 55.900 Mitarbeitern. MAN ist Anbieter von Lkw, Bussen, Dieselmotoren, Turbomaschinen sowie Spezialgetrieben und hält in allen Unternehmensbereichen führende Marktpositionen. Die MAN Truck & Bus AG mit Sitz in München ist das größte Unternehmen innerhalb der MAN Gruppe und einer der führenden internationalen Anbieter von Nutzfahrzeugen und Transportlösungen.“<sup>6</sup>*

*„MAN Truck & Bus verfügt über Produktionsstätten in drei europäischen Ländern sowie in Russland, Südafrika, Indien und der Türkei. Die Produktpalette reicht von Lkw mit einem Gesamtgewicht von 7,5 bis 44 t für jeden Einsatzbereich und Sonderfahrzeugen bis 250 t Zuggesamtgewicht über Omnibusse und Reisebusse bis hin zu Diesel- und Gasmotoren.“<sup>7</sup>*

*„Das Leitbild der MAN Gruppe bildet den Rahmen für das verantwortungsvolle, den Grundsätzen der Nachhaltigkeit verpflichtete Handeln aller MAN-Mitarbeiter. Die Unternehmenswerte zuverlässig, innovativ, dynamisch und offen sind wesentliche Erfolgsfaktoren für MAN auf Produktmärkten, dem Kapitalmarkt, bei der Gewinnung qualifizierter Mitarbeiter und für die gesellschaftliche Akzeptanz aller unternehmerischen Aktivitäten. MAN blickt auf eine mehr als 250 Jahre währende Unternehmensgeschichte zurück.“<sup>8</sup>*

Die Abteilung Forschung und Entwicklung von MAN hat unter anderem den Auftrag, sich mit Nutzfahrzeugen der Zukunft auseinanderzusetzen. Hierbei entstehen neue Konzepte, wodurch das Produkt Lkw stetig weiterentwickelt werden kann. Der Nutzfahrzeugmarkt ist einem ständigen Wandel ausgesetzt. In diesem Kontext besteht der Bedarf an der Forschung für Konzepte zukünftiger Nutzfahrzeuge.

---

<sup>6</sup> <http://www.corporate.man.eu/de/unternehmen/man-auf-einen-blick/struktur/Uebersicht.html>  
(Gelesen am: 05.05.2015)

<sup>7</sup> ebenda

<sup>8</sup> ebenda

## 2 Trends der Zukunft

Weltweite Megatrends haben einen Einfluss auf in Zukunft entwickelte technische Produkte. In der Automobilindustrie ist dieser Einfluss besonders deutlich zu erkennen. Unter anderem wirken Politik, Wirtschaft, Technologie und Gesellschaft auf die Anforderungen zukünftiger Nutzfahrzeuge. Um eine hohe Konkurrenzfähigkeit zu erzielen, berücksichtigen Nutzfahrzeughersteller Zukunftstrends in ihren Innovationszielen. Die Auswirkungen der Megatrends variieren in Abhängigkeit des Kerngeschäfts und der Wachstumsziele einzelner Unternehmen. Daher gilt es, die Auswirkungen auf einzelne Unternehmen spezifisch zu prüfen.<sup>9</sup>

In weiterer Folge werden fünf bedeutende Megatrends der Nutzfahrzeugbranche erläutert, welche im Rahmen der Studie „Truck Transportation 2030“ identifiziert werden konnten:

- Demographischer Wandel und Urbanisierung
- Hocheffiziente, lautlose und emissionsarme Nutzfahrzeuge
- Vollständige Transparenz der Fahrzeugflotte
- Unfallfreier Transport
- Zunehmender Wettbewerb<sup>10</sup>

Ferner werden die Einflüsse der Megatrends auf die Konzeption eines zukünftigen Lkw-Fahrerhauses beschrieben und im Verlauf der Konzeption berücksichtigt.

### 2.1 Demographischer Wandel und Urbanisierung

Der Begriff *demographischer Wandel* bezeichnet die nachhaltige Veränderung der Altersstruktur in einer Gesellschaft. Weltweit nimmt die Population zu, weshalb für 2030 von einer Weltbevölkerung von 8,3 Mrd. Menschen ausgegangen wird. Gleichzeitig steigt das Durchschnittsalter der Bevölkerung. Daher wird von einer *demographischen Alterung* gesprochen, welche sich zufolge sinkender Geburtenraten und höherer Lebenserwartung ergibt.<sup>11</sup>

Derzeit liegt das Medianalter der EU-Bevölkerung bei 41,5 Jahren.<sup>12</sup> Deutschland weist mit einem Median von 45 Jahren sogar den Höchsten eines Landes der Europäischen Union auf. Der Trend der demographischen Alterung hält weiter an, sodass im Jahr 2030 in Deutschland ein Medianalter von über 49 Jahren prognostiziert

<sup>9</sup> vgl. Dannenberg et al., 2015, S.7f

<sup>10</sup> vgl. Dressler et al., 2012

<sup>11</sup> vgl. ebenda, S.8

<sup>12</sup> vgl. Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung: Deutschland hat die älteste Bevölkerung in Europa (11/2013), [http://www.bib-demografie.de/DE/Aktuelles/Grafik\\_des\\_Monats/Archiv/2013/2013\\_11\\_medialalter\\_eu.html](http://www.bib-demografie.de/DE/Aktuelles/Grafik_des_Monats/Archiv/2013/2013_11_medialalter_eu.html) (Gelesen am: 16.01.15)

wird.<sup>13</sup> Diese Entwicklung resultiert besonders aus der sinkenden Geburtenrate in den Industriestaaten. Die Geburtenrate in Entwicklungsländern bleibt hingegen weiterhin hoch, weshalb für 2030 prognostiziert wird, dass 85% (entspricht ca. 7 Mrd. Menschen) der Weltbevölkerung 2030 in Entwicklungsländern leben wird.<sup>14</sup>

Ein weiterer globaler Trend zeichnet sich in der Urbanisierung ab. Die Anzahl der in Städten wohnenden Menschen wird sich bis 2030 um 8,5% steigern, wobei sich dieser Trend besonders stark im ostasiatischen Raum abzeichnet.<sup>15</sup>

Der Megatrend demographischer Wandel und Urbanisierung hat Einfluss auf den globalen Nutzfahrzeugsektor. Aufgrund der wandelnden Zusammensetzung der Bevölkerung steigt der globale Bedarf nach Welthandel und Transport stetig an. Die Europäische Kommission rechnet bis 2030 mit einer Zunahme des Straßengüterverkehrs von 44% in der EU. Dieser Trend verschärft die ohnehin bereits angespannte Lage am Lkw-Fahrermarkt.<sup>16</sup> Die Auswirkung der demographischen Alterung lässt sich anhand der Differenz der aus dem Kraftfahrerberuf ausscheidenden und eintretenden Personen erkennen. Derzeit werden in Deutschland etwa 15.000 Zugänge pro Jahr verzeichnet, während 25.000 Personen aus dem Berufsstand austreten. Ein weiterer Grund für den Fahrermangel resultiert aus dem geringen Qualitätsniveau vorhandener Arbeitskräfte, welche vorausgesetzte Eigenschaften unzureichend erfüllen bzw. keine Bereitschaft zeigen, den Berufsstand längerfristig anzunehmen.<sup>17</sup>

Die Auswirkungen des Trends demographischer Wandel und Urbanisierung sind in zukünftigen Lkw zu berücksichtigen. Zudem resultiert aus der Urbanisierung eine Nachfrage nach hochspezialisierten Nutzfahrzeugen.<sup>18</sup>

---

<sup>13</sup> vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Wachstum und Demografie im internationalen Vergleich (05/2014), <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/wachstum-und-demografie-im-internationalen-vergleich,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (Gelesen am: 19.01.2015)

<sup>14</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.8

<sup>15</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.8

<sup>16</sup> vgl. Lohre et al., 2014, S. 10

<sup>17</sup> vgl. ebenda, S.40

<sup>18</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.9

## 2.2 Hocheffiziente, lautlose und emissionsarme Nutzfahrzeuge

Das Transportaufkommen wird in den kommenden Jahren weiter ansteigen. Prognosen aus dem Jahr 2004 zeigen, dass bis 2025 der Güterverkehr in Deutschland um 28% steigen wird.<sup>19</sup> Bei Betrachtung der Transportleistung innerhalb der europäischen Union lässt sich aus historischen Daten eine exponentielle Steigerung erkennen. Während 2012 etwa 1,69 Billion Tonnenkilometer (tkm) transportiert wurden, könnte dieser Wert unter Fortführung der Daten im Jahr 2035 auf über 4 Billion tkm steigen.<sup>20</sup>

Mit der steigenden Transportleistung geht der Anstieg der Emissionen einher. Die Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Umwelt veranlassen immer mehr Regierungen Gesetze zu verschärfen mit dem Ziel, die umweltbelastenden Emissionen zu reduzieren. Es wird erwartet, dass eine überarbeitete Gesetzgebungen für mittelschwere und schwere Lkw bis 2020 in Kraft treten wird, welche eine Emissionsreduktion von bis zu 30% bewirken soll. Trotz strenger werdender Gesetzesauflagen zu Schadstoffemissionen, ist mit einem Anstieg von mindestens 20% der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu rechnen, was in erster Linie aus dem zunehmenden Entwicklungsgrad von nicht-OECD-Ländern zu begründen ist.<sup>21</sup>

Maßnahmen zur Verbesserung der aerodynamischen Effizienz werden vom europäischen Gesetzgeber diskutiert. Damit diese Maßnahmen die Ladekapazität der Lkw nicht einschränken, ist eine Verlängerung der maximalen Fahrzeugabmessungen vorgesehen. Die Verlängerung ermöglicht eine Verbesserung der Aerodynamik durch eine optimierte Form der Karosserie, ohne die Ladekapazität reduzieren zu müssen. Diese Maßnahmen ermöglichen eine Verbrauchsreduktion von etwa 7-10%. Dies entspricht bei einer Jahreslaufleistung von 100.000 km einer Emissionsreduktion von etwa 7,8 Tonnen CO<sub>2</sub> bzw. 5.000€ eingesparten Treibstoffkosten.<sup>22</sup> Die Gesetzesanpassung würde eine Verlängerung des Fahrerhauses um 80 cm zulassen und 2022 in Kraft treten (Stand: 02/2013).<sup>23</sup>

---

<sup>19</sup> vgl. o.V.: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 (2005), [http://www.dlr.de/cs/Portaldaten/10/Resources/dokumente/daten\\_berichte/FE\\_96\\_857\\_2005\\_Verflechtungsprognose\\_2025\\_Gesamtbericht\\_20071114.pdf](http://www.dlr.de/cs/Portaldaten/10/Resources/dokumente/daten_berichte/FE_96_857_2005_Verflechtungsprognose_2025_Gesamtbericht_20071114.pdf) (Gelesen am: 29.01.2015)

<sup>20</sup> vgl. o.V.: EU transport in figures, statistical pocketbook 2014 (2014), <http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/doc/2014/pocketbook2014.pdf> (Gelesen am 21.01.2015)

<sup>21</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.10

<sup>22</sup> vgl. o.V.: New EU rules for safer and more environmental lorries (15.04.2013) [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-13-328\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-328_en.htm) (Gelesen am: 04.12.2014)

<sup>23</sup> vgl. o.V.: EU-Verkehrsminister für neue LKW-Maße und Gewichte (06.06.2014), <http://www.verkehrsrundschau.de/eu-verkehrsminister-fuer-neue-lkw-masse-und-gewichte-1368053.html> (Gelesen am: 08.12.2014)

Seitens der Europäischen Union wird u.a. aufgrund der nachstehenden Begründung eine Überarbeitung der Richtlinie in Erwägung gezogen: *„Die verbesserte Aerodynamik des Führerhauses von Kraftfahrzeugen könnte (...) zu messbaren Vorteilen hinsichtlich der Energieeffizienz der Fahrzeuge führen. Diese Verbesserung ist jedoch nach den derzeitigen von der Richtlinie 96/53/EG vorgegebenen Höchstlängen nicht realisierbar, ohne das Ladevermögen der Fahrzeuge zu verringern und das wirtschaftliche Gleichgewicht des Straßenverkehrssektors zu gefährden. Deshalb ist auch eine Ausnahmeregelung bezüglich der Höchstlängen erforderlich.“*<sup>24</sup>

Eine weitere Folge des Megatrends ist die zunehmende Hybridisierung und Elektrifizierung von Fahrzeugen. Besonders in Situationen des Stop-and-go-Verkehrs, die aufgrund des zunehmenden Verkehrsaufkommens weiter ansteigen werden, sind hybride und elektrische Antriebe effizienter. Des Weiteren werden für das Jahr 2030 emissionsfreie Bereiche in Städten erwartet, wodurch Hybrid- bzw. Elektroantriebe unumgänglich werden.<sup>25</sup>

## 2.3 Vollständige Transparenz der Fahrzeugflotte

Die Steigerung der Konnektivität sowohl innerhalb der Fahrzeugflotte, als auch zwischen Fahrzeugen und Umwelt ist ein wesentlicher Bestandteil des zukünftigen Transportwesens. Die Zunahme von elektronischen Systemen in Lkw lässt das Potenzial der Datengenerierung und -auswertung kontinuierlich ansteigen. Informationen bezüglich Fahrzeugposition, Straßen- und Fahrzeugzustand, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Wetterlage, Verkehrsaufkommen etc. können generiert und anschließend per vehicle-to-vehicle- (V2V) bzw. vehicle-to-infrastructure-Kommunikation (V2I) übermittelt werden. Der Datenaustausch kann direkt zwischen den kommunizierenden Partnern erfolgen, ohne dass eine zentrale Stelle in die Datenverteilung eingebunden werden muss. Der direkte Informationsaustausch erleichtert die zeitgerechte Verarbeitung und Speicherung der Datenmengen.<sup>26</sup>

Ein Standard für diese Art von Funknetzverbindungen ist in der durch das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) publizierten IEEE-Norm für V2V- und V2I-Kommunikation festgelegt. Der 2010 unter der Bezeichnung 802.11p verabschiedete Standard, überträgt auf dem Frequenzband von 5,850–5,925 GHz bis zu 27Mbit/s.<sup>27</sup>

---

<sup>24</sup> <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P8-TA-2015-0046+0+DOC+XML+V0//DE&language=DE#title2> (Gelesen am 02.04.2015)

<sup>25</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.12

<sup>26</sup> vgl. Glielmo, L.: Vehicle-to-Vehicle/Vehicle-to-Infrastructure Control, in: The Impact of Control Technology (2011), <http://www.ieeecss.org/sites/ieeecss.org/files/documents/loCT-Part4-13VehicleToVehicle-LR.pdf> (Gelesen am: 15.01.2015)

<sup>27</sup> vgl. [http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11\\_Timelines.htm](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm) (Gelesen am: 15.01.2015)

Der Megatrend hin zur vollständigen Transparenz der Fahrzeugflotte wirkt sich sowohl auf die Verkehrssicherheit, als auch auf die Transporteffizienz aus. Die aus der Umgebungssensorik und V2V-Kommunikation gewonnenen Daten helfen den Assistenzsystemen die Verkehrssituation besser zu verstehen. Zudem erlauben die gesammelten Informationen eine bessere Kontrolle der Fahrzeugflotten, wodurch Logistikoperationen effizienter durchgeführt werden können. 80% der im Rahmen der Studie befragten Logistikunternehmen vertreten die Meinung, dass eine maximale Flottentransparenz essenziell für effizienten Transport ist. Zudem werden aktuelle Informationen zur Fahrzeugflotte ähnlich relevant wie die zu transportierende Ladung selbst gesehen. Treibende Kraft hinter der Entwicklung hin zu transparenten Fahrzeugflotten ist das Bestreben, die laufenden Kosten stetig zu reduzieren.<sup>28</sup>

## 2.4 Unfallfreier Transport

Ehrgeizige Projekte wie die aus Schweden stammende Vision Zero oder das daraus resultierende von der EU verfolgte Ziel „bis 2050 die Zahl der Unfalltoten im Straßenverkehr auf nahe Null zu senken“<sup>29</sup> haben das Ziel, die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Unfallstatistiken zeigen, dass sich die Zahl der Todesopfer über die letzten Jahre reduziert hat. So sind 2012 auf Straßen in Ländern der EU 48,8% weniger Menschen umgekommen, als noch im Jahr 2001.<sup>30</sup> In der Industrie genießt die hohe Verkehrssicherheit nicht nur aufgrund des Fahrerschutzes hohe Priorität, die Sicherheit der geladenen Güter spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Allerdings ist besonders in Europa hierzu ein Umdenken zu erkennen. Während vor Jahren lediglich der wirtschaftliche Profit im Vordergrund stand, gelten gegenwärtig Sicherheit, Qualität und Umweltschutz als Schlüsselziele für Unternehmen.<sup>31</sup>

Konkrete Vorschläge zur Erhöhung der Verkehrssicherheit werden im Zuge der Diskussion zur Verlängerung der maximalen Fahrzeugabmessungen für Lkw eingebracht. Demnach wird aufgrund folgender Begründung eine Anpassung des Gesetzes in Erwägung gezogen:

*„Dass Fahrzeuge mit einer neuen Form von Führerhäusern ausgerüstet sein können, würde dazu beitragen, die Straßenverkehrssicherheit zu verbessern, indem tote Winkel im Sichtfeld des Fahrers verkleinert werden, insbesondere unterhalb der Windschutzscheibe, und sollte helfen, das Leben zahlreicher schutzbedürftiger Straßenverkehrsteilnehmer, wie Fußgänger oder Radfahrer, zu retten. Bei dieser neuen*

<sup>28</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.13f

<sup>29</sup> vgl. o.V.: Diskussion zum EU-Weißbuch Verkehr 2050 (04/2011), <http://www.dvr.de/dvr-direkt/2912.htm> (Gelesen am: 16.12.2014)

<sup>30</sup> vgl. o.V.: EU transport in figures, statistical pocketbook 2014 (2014), <http://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/doc/2014/pocketbook2014.pdf> (Gelesen am: 21.01.2015)

<sup>31</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.16

*Form von Führerhäusern könnten auch Strukturen zur Aufnahme der Aufprallenergie vorgesehen werden. Darüber hinaus dürften sich durch das potenzielle zusätzliche Volumen des Führerhauses Sicherheit und Komfort des Fahrers erhöhen.*<sup>32</sup>

## 2.5 Zunehmender Wettbewerb

Der Wettbewerb am Nutzfahrzeugmarkt hat einen wichtigen Einfluss auf den Markt und verbessert Preis und Qualität des Produkts. In Europa wird der Wettbewerb als relativ konstant hoch angesehen, was besonders aus der unterschiedlichen Gesetzgebung in unterschiedlichen Regionen der Welt resultiert. Dadurch fällt es Mitbewerbern aus fernen Regionen (besonders China und Indien) schwer, am Wettbewerb erfolgreich teilzunehmen.<sup>33</sup>

In Zukunft wird erwartet, dass Erstausrüster (*Original Equipment Manufacturer, OEM*) enge Allianzen mit Zulieferern eingehen werden. Die daraus resultierenden Baukastenlösungen sollen die Effizienz in Entwicklung und Produktion erhöhen.<sup>34</sup>

## 2.6 Fazit

Aus den beschriebenen Megatrends lassen sich Erkenntnisse für die Konzeption eines Lkw-Fahrerhauses ableiten. Der demographische Wandel zeigt einerseits die Notwendigkeit, die ältere Nutzerschicht bei der Auslegung zu berücksichtigen. Andererseits sollten Maßnahmen zur Aufwertung des Fahrerberufs getroffen werden. Hierbei kann der zunehmende Automatisierungsgrad verhelfen, um durch ein breiteres Aufgabenspektrum (z.B. die Möglichkeit Dispositionsaufgaben während automatisierter Fahrt durchzuführen) den Beruf attraktiver zu gestalten. Der zunehmende Automatisierungsgrad kann gemeinsam mit einer verbesserten Aerodynamik des Fahrerhauses zu hocheffizienten, lautlosen und emissionsarmen Nutzfahrzeugen führen. Darüber hinaus führt die ansteigende Technologisierung von Nutzfahrzeugen zu einer besseren Kommunikation hin zu vollständiger Transparenz der Fahrzeugflotte. Die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen hat einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Zudem verhilft die Kommunikation mit den Speditionen, die Nutzfahrzeuge effizienter einsetzen zu können. Der Megatrend hin zum unfallfreien Transport kann durch die Erhöhung der Verkehrssicherheit von Nutzfahrzeugen unterstützt werden. Hierfür besteht die Möglichkeit, die Karosserie verkehrssicherer zu gestalten.

---

<sup>32</sup> <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P8-TA-2015-0046+0+DOC+XML+V0//DE&language=DE#title2> (Gelesen am : 27.03.2015)

<sup>33</sup> vgl. Dressler et al., 2012, S.18

<sup>34</sup> vgl. ebenda, S.17

## 3 Theoretische Grundlagen

Im Folgenden werden die Grundlagen für die Gestaltung eines Lkw-Fahrerhauses aufgezeigt und hinsichtlich der Bereiche Nutzfahrzeugtechnik, Fahrzeuginteraktion, Fahrzeugführung und methodische Vorgehensweise sowie gesetzliche Regelungen erläutert. Diese Darstellung des State of the Art bewirkt, die im Verlauf des Kapitels 4 behandelten Konzeptionsabschnitte möglichst ganzheitlich zu analysieren.

### 3.1 Grundlagen der Nutzfahrzeugtechnik

#### 3.1.1 Bauarten für Nutzfahrzeuge

Nutzfahrzeuge haben die Aufgabe, Güter und Personen mit möglichst geringem Aufwand sicher zu transportieren. Grundsätzlich können Nutzfahrzeuge nach ihrer Anwendungsform unterschieden werden und lassen sich demnach in Lastkraftwagen (Lkw), mit dem Zweck des Gütertransports, Bus, welcher für den Personentransport eingesetzt wird und Sonderfahrzeug, welche besonders schwere Güter transportieren oder über speziellen Aufbauten verfügen, unterteilen.<sup>35</sup>

Lkw können zudem bezüglich des Aufbaus und des Anhängers des Lkw unterschieden werden. Neben dem gewöhnlichen Lkw, welcher mit unterschiedlichen Aufbauten (z.B. Pritsche, Koffer, Kipper etc.) kombiniert werden kann, bezeichnet man einen Lkw mit Anhänger als Lastzug (Gliederzug) und eine Sattelzugmaschine kombiniert mit Auflieger als Sattelzug. Eine Sonderform des Sattelzugs stellt der in Australien zugelassene „ROAD TRAIN“ dar, welcher aus Sattelzugmaschine und mehreren Aufliegern besteht, wodurch eine Fahrzeuglänge von über 50 m erreicht werden kann.<sup>36</sup>

#### 3.1.2 Motoranordnung bei Lastkraftwagen

Ein weiteres maßgebliches Unterscheidungsmerkmal des Lastkraftwagens ist die Motoranordnung. Diesbezüglich werden Lkw in Frontlenkfahrzeug (Frontlenker), Frontlenker mit Unterflurmotor und Haubenfahrzeug (Hauber) unterteilt.<sup>37</sup>

Der Motor eines Frontlenkers befindet sich unter dem Fahrerhaus, wodurch sich der Fahrzeuglenker im Gegensatz zum Personenkraftwagen (Pkw) und Hauber relativ weit vorne im Fahrzeug befindet und das Lenkrad daher vor der Vorderachse sitzt. Diese Bauweise ermöglicht eine große Ladelänge, einen geringen Wendekreis und eine gute Straßenübersicht für den Fahrzeuglenker. Nachteile dieser Bauweise sind

---

<sup>35</sup> vgl. MAN Nutzfahrzeuge-Gruppe, 2008, S.32

<sup>36</sup> vgl. ebenda

<sup>37</sup> vgl. ebenda, S.31 bzw. S.81

die erforderliche Geräuschkapselung des Motors und die schwierige Zugänglichkeit zum Motor, weshalb moderne Frontlenker über einen komplizierten Kippmechanismus zur Freilegung des Motors verfügen.<sup>38</sup>

Der Frontlenker mit Unterflurmotor ermöglicht wie das Frontlenkfahrzeug eine gute Straßenübersicht für den Fahrzeughenker. Die Motoranordnung gewährleistet eine günstige Schwerpunktlage und eine gute Erreichbarkeit des Motors, weshalb ein aufwendiger Kippmechanismus nicht notwendig ist. Allerdings benötigt die Motoranordnung einen höher liegenden Rahmen, der die Nutzladung verringert.<sup>39</sup>

Die Motoranordnung des Haubers führt zu einem größeren Radstand und aufgrund der Trennung zwischen Motorraum und Fahrerhaus zu geringeren Vibrationen, wodurch sich Sicherheit und Komfort erhöhen. Zudem ist der Motor aufgrund guter Erreichbarkeit wartungsfreundlicher. Die Anordnung des Haubers verlangt jedoch eine größere Fahrzeuglänge, welche in Ländern mit vorgeschriebener maximaler Fahrzeuglänge zu kürzerer Aufbauhöhe führt. Zudem sind das Lenkverhalten und die Fahrbahnübersicht im Vergleich zu den anderen Varianten negativ behaftet.<sup>40</sup>

### 3.1.3 Aerodynamik von Nutzfahrzeugen

Die Aerodynamik hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der Fahrzeugkarosserie. Diese bildet einerseits die Grundlage für das Aussehen des Fahrerhauses und den verfügbaren Innenraum. Andererseits reduziert eine aerodynamisch effiziente Karosserie die Betriebskosten.<sup>41</sup>

Die Wirtschaftlichkeit von Nutzfahrzeugen ist in der Transportbranche von großer Bedeutung. Neben der konstanten Weiterentwicklung der Motorentechnik zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs liegt in der Gestaltung der Nutzfahrzeug-Karosserie weiteres Potenzial zur Kraftstoffeinsparung. Hier kann der Fahrtwiderstand, welcher einen deutlichen Anteil des Kraftstoffverbrauchs ausmacht, reduziert werden.<sup>42</sup>

Der Fahrtwiderstand setzt sich aus drei Größen zusammen:

1. Beschleunigungs- und Steigungswiderstand
2. Rollwiderstand
3. Luftwiderstand<sup>43</sup>

---

<sup>38</sup> vgl. MAN Nutzfahrzeuge-Gruppe, 2008, S.31 bzw. S.81

<sup>39</sup> vgl. ebenda

<sup>40</sup> vgl. ebenda

<sup>41</sup> vgl. ebenda, S.87

<sup>42</sup> vgl. ebenda, S.87

<sup>43</sup> vgl. Frank, 2012, S.4

Je nach Charakteristik der Fahrstrecke haben diese Größen einen unterschiedlichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Bei Fahrten mit gleichmäßiger Geschwindigkeit (z.B. auf Autobahnen) – bei Nutzfahrzeugen im Fernverkehr ein Zustand mit großer Häufigkeit – trägt der Luftwiderstand mehr als 35% des Fahrtwiderstandes bei (vgl. Abbildung 2).<sup>44</sup>

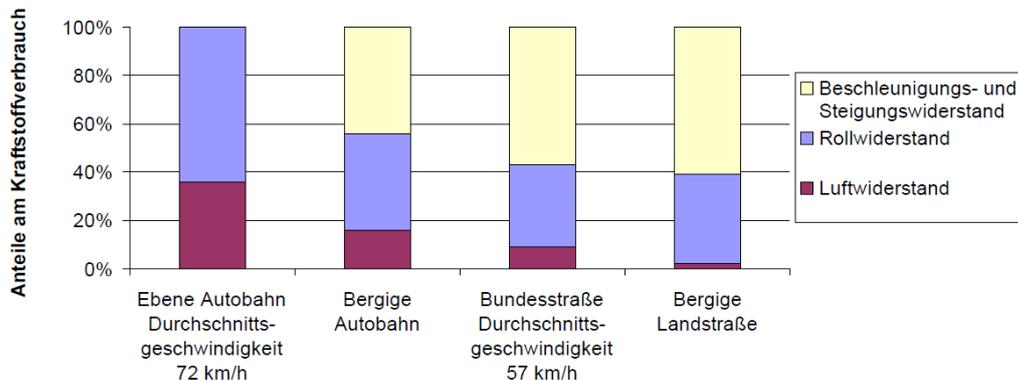


Abbildung 2: Fahrwiderstandsanteile am Kraftstoffverbrauch<sup>45</sup>

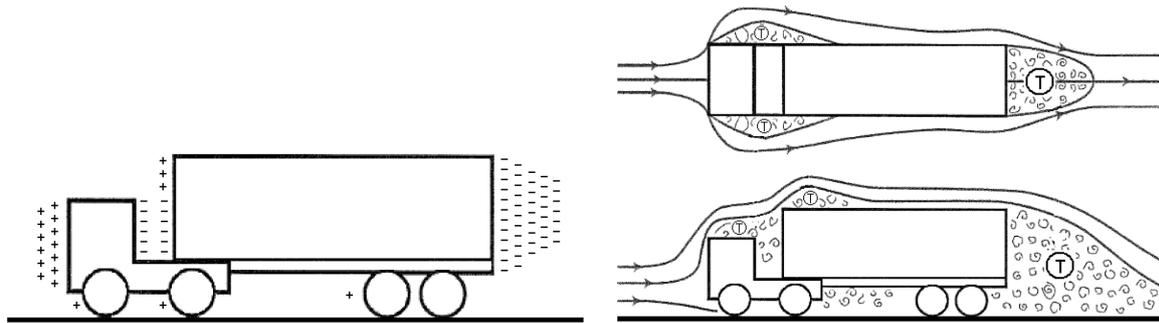
Die Form eines heutigen Lkw gilt aufgrund der steilen Front und des abrupt abschließenden Hecks als stumpfer Gegenstand. Wird dieser von Luft umströmt, entstehen Druck- und Reibwiderstände. Während Reibwiderstände durch die Beschaffenheit der Oberfläche entstehen, werden Druckwiderstände aufgrund von Staudruck an der Front, Unterdruck am Heck und Luftablösungen an den Kanten erzeugt. Das Fluid trifft zunächst auf die Fahrzeugfront und erzeugt einen Überdruck. Anschließend kann es der Kontur des Körpers nicht folgen und löst an den Kanten von ihr ab. Dadurch entstehen Verwirbelungen, an denen das Fluid ungeordnet ist – sogenannte „Totwassergebiete“. Die Verwirbelungen führen zu Unterdruckgebieten. Sowohl Über- als auch Unterdruckgebiete erhöhen den Strömungswiderstand des Körpers.<sup>46</sup>

Der Bereich des Fahrerhauses ist an der Front von Überdruckgebieten und im Bereich der Seiten- und Dachflächen sowie an der Rückseite des Fahrerhauses von Unterdruck- bzw. Totwassergebieten geprägt (vgl. Abbildung 3).

<sup>44</sup> vgl. Frank, 2012, S.9

<sup>45</sup> ebenda, S.15

<sup>46</sup> vgl. ebenda, S.5



**Abbildung 3: Druckverteilung (li.) und Totwassergebiete (re.) bei Umströmung eines Nutzfahrzeugs<sup>47</sup>**

Charakterisiert wird der Luftwiderstand eines Objekts durch den Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$ . Dieser beschreibt die aerodynamische Formgüte eines Gegenstandes. Je kleiner der Wert, desto geringer ist der Luftwiderstand eines Fahrzeuges.<sup>48</sup>

Der  $c_w$ -Wert wird unter der Annahme eines idealen Anströmwinkels  $\beta=0$  ermittelt, welcher z.B. bei windstillen Verhältnissen vorherrscht. Da die Aerodynamik eines Fahrzeuges in der Realität auch durch Seitenwind beeinflusst wird, muss der Tangentialkraftbeiwert  $c_t$  berücksichtigt werden. Bei Fahrten unter natürlichen Umweltbedingungen kann von einem durchschnittlichen Winkel von  $\beta=14^\circ$  ausgegangen werden.<sup>49</sup>

Bei Personenkraftfahrzeugen werden in der Regel deutlich geringere  $c_w$ -Werte als im Nutzfahrzeugsektor erzielt (vgl. Abbildung 4). Dies resultiert einerseits aus den unterschiedlichen Ansprüchen an die jeweiligen Fahrzeugtypen. Während beim Pkw neben der Zweckerfüllung das Design des Fahrzeugs einen wesentlichen Anteil auf das Kaufverhalten der Konsumenten hat, spielen im Nutzfahrzeugsektor u.a. die variable Funktionalität, Gewicht und Kosten eine wesentliche Rolle auf die Fahrzeugauslegung.<sup>50</sup>

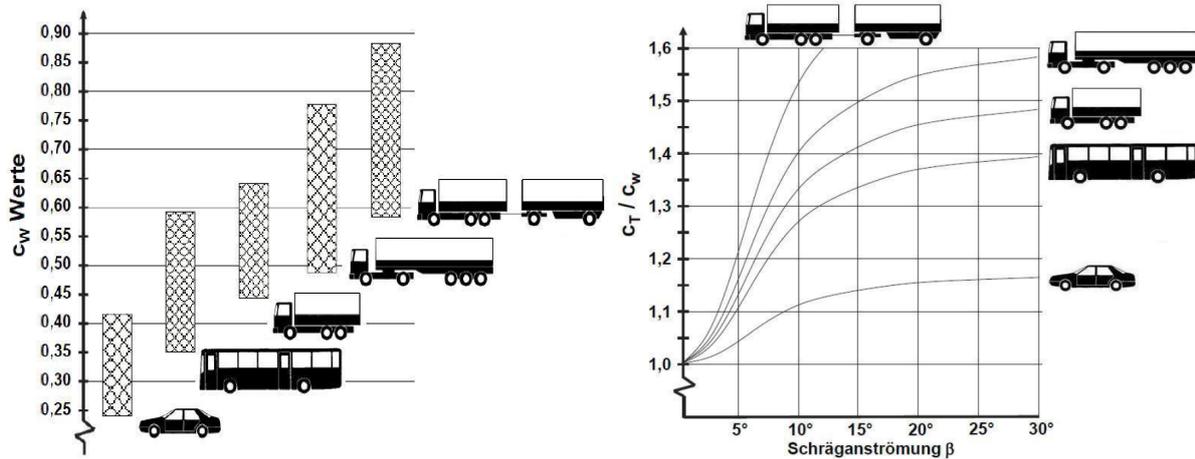
Zudem hat die Gesetzgebung einen wesentlichen Einfluss auf das Aussehen von Nutzfahrzeugen. Die gesetzlichen Vorgaben der zulässigen Gesamtlänge von Nutzfahrzeugen schränken die Konstruktion von aerodynamisch optimierten Nutzfahrzeugen ein (vgl. Kapitel 3.2.1).

<sup>47</sup> Frank, 2012, S.17

<sup>48</sup> vgl. ebenda, S.6

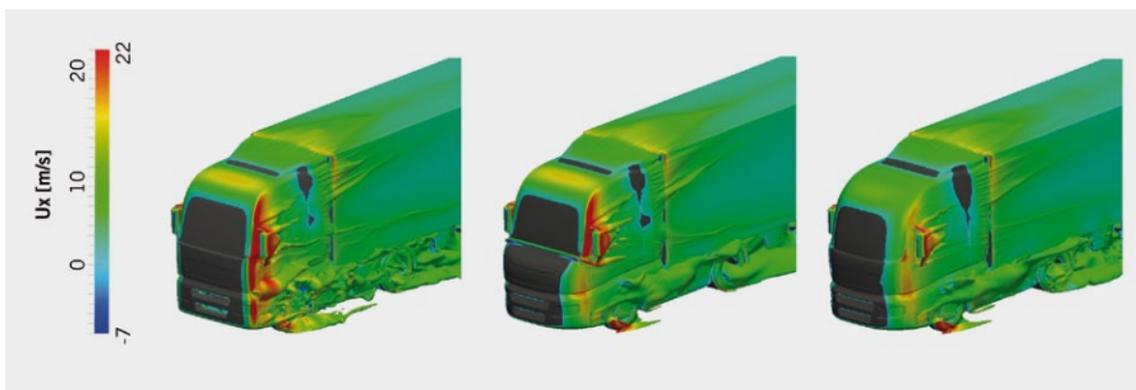
<sup>49</sup> vgl. ebenda, S.6

<sup>50</sup> vgl. ebenda, S.8



**Abbildung 4: Formgüte verschiedener Fahrzeugtypen**  
 Li.: unter idealem Anströmwinkel ( $\beta=0$ )<sup>51</sup>  
 Re.: unter Schräganströmung<sup>52</sup>

Mittels numerischer Strömungsmechanik (*computational fluid dynamics*, CFD) lässt sich die Druckverteilung an Gegenständen simulieren. Im Rahmen einer Studie wurden die aerodynamischen Eigenschaften von modifizierten Fahrzeugkarosserien ermittelt. Verglichen wurde ein Modell mit verlängerter Motorabdeckung (Kurzhauber) sowie ein Modell mit verlängerter Fahrzeugfront mit einem Referenzmodell, welches der Form eines heutigen Lkw entspricht. Die CFD-Analyse zeigt die Druckverteilung, welche durch den angeströmten Fahrtwind entsteht. Charakterisiert wird die Druckverteilung durch den Druckbeiwert  $c_p$ , welcher die Größe des Staudrucks quantifiziert. Je geringer dieser ausfällt, desto geringer ist der Luftwiderstand (vgl. Abbildung 5).<sup>53</sup>



**Abbildung 5: Verlust kinetischer Energie (li. Referenzmodell, mi. Kurzhauber, re. verlängerte Front)**<sup>54</sup>

<sup>51</sup> Frank, 2012, S.6

<sup>52</sup> ebenda, S.8

<sup>53</sup> vgl. Hoepke et al., 2013, S.73

<sup>54</sup> Indinger et al., 2012, S.632

Das Ergebnis der Studie zeigt, dass durch die Verlängerung der Fahrzeugfront eine Reduktion des Staudrucks bewirkt werden kann. Diese resultiert besonders aufgrund von reduzierten Totwassergebieten durch größere Radien.

### 3.1.4 Sicherheit von Nutzfahrzeugen

Nutzfahrzeuge verfügen über ein hohes Sicherheitsniveau. In diesem Zusammenhang kann zwischen aktiver und passiver Sicherheit unterschieden werden. Aktive Sicherheit umfasst Maßnahmen zur Reduktion des Unfallrisikos sowie zur Erhöhung des Fahrkomforts, um die Leistungsfähigkeit des Fahrers nicht negativ zu beeinflussen.<sup>55</sup>

Zu den Teilbereichen der aktiven Sicherheit zählen:

- Fahrsicherheit
- Konditionssicherheit
- Wahrnehmungssicherheit
- Bedienungssicherheit<sup>56</sup>

Der Teilbereich Fahrsicherheit beinhaltet Maßnahmen, welche das Fahrzeug bei sämtlichen Straßenverhältnissen leicht zu beherrschen und sicher zu führen machen. Dies umfasst die Auslegung und Abstimmung von Fahrgestell, Bremsen, Radführung, Bereifung, Federung und Lenkung. Assistenzsysteme, wie beispielsweise ESP oder der Notbremsassistent können die Fahrsicherheit zudem verbessern.<sup>57</sup>

Die Konditionssicherheit stellt sicher, dass die Insassen über lange Fahrzeiten leistungsfähig bleiben und ein hohes Wohlbefinden verspüren. Hierzu sind physische Belastungen, wie Vibrationen, Geräusche und klimatische Einflüsse relevant.<sup>58</sup>

Die Wahrnehmungssicherheit umfasst das sichere Erkennen aller Verkehrsgeschehnisse in der Fahrzeugumgebung. Die Wahrnehmung kann durch entsprechende Assistenzsysteme unterstützt werden. Beispielsweise werden der Fahrspurverlauf (Lane Guard System) und der Fernbereich vor dem Fahrzeug (Adaptive Cruise Control) bereits erfasst und der Fahrer mit entsprechenden Informationen versorgt. Die Anzahl der Systeme zur sensorischen Erfassung der Fahrzeugumgebung in modernen Fahrzeugen nimmt zu, wodurch Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern vermieden werden soll.<sup>59</sup>

---

<sup>55</sup> vgl. MAN Nutzfahrzeuge-Gruppe, 2008, S.319

<sup>56</sup> vgl. ebenda

<sup>57</sup> vgl. ebenda

<sup>58</sup> vgl. ebenda

<sup>59</sup> vgl. ebenda

Die Bediensicherheit betrifft die Anordnung und das Aussehen von Bedienelementen im Fahrzeug. Sie sollten gut erreichbar sein und so angeordnet sein, dass der Fahrer in seiner Fahraufgabe nur geringfügig und kurzzeitig abgelenkt ist.<sup>60</sup>

Die passive Sicherheit umfasst Maßnahmen, welche die Auswirkungen eventueller Unfälle vermindern. Man unterscheidet zwischen:

- Äußerer Sicherheit
- Innerer Sicherheit<sup>61</sup>

Die äußere Sicherheit beinhaltet Maßnahmen, welche die Gefahr von Personen außerhalb des Fahrzeugs bzw. in anderen Fahrzeugen verringert. Wichtige Faktoren hierfür sind die Außenform und das Deformationsverhalten der Karosserie.<sup>62</sup>

Die innere Sicherheit dient dem Schutz der Fahrzeuginsassen. Hierfür werden auftretende Kräfte und das Verletzungsrisiko durch Anpassung der Form und der Härte von Innenraumgegenständen minimiert. Zudem haben die Eigenschaften der Karosserie erheblichen Einfluss auf die innere Sicherheit.<sup>63</sup>

## 3.2 Gesetzliche Grundlagen

### 3.2.1 Abmessungen von Nutzfahrzeugen

In Ländern der EU und der Schweiz sind die wichtigsten Maß- und Gewichtsgrößen von Nutzfahrzeugen durch die EU-Richtlinie 96/53/EG festgelegt, auf dessen Grundlage nationale Verkehrsverordnungen beruhen. In dieser ist die maximale Fahrzeugbreite auf 2,55 m (Kühlfahrzeugaufbauten 2,60 m) beschränkt. Die maximale Fahrzeughöhe beträgt 4 m. Die höchstzulässige Fahrzeuglänge eines Einzelfahrzeugs beträgt 12 m, eines Gliederzugs 18,75 m und eines Sattelzugs 16,5 m, wobei die maximale Ladelänge des Gliederzugs 15,65 m und die des Sattelzug 13,6 m nicht überschreiten darf. Das höchstzulässige Fahrzeuggewicht hängt sowohl von der Fahrzeugart, als auch von der Achsanzahl ab.<sup>64</sup>

Gemäß des US-amerikanischen Gesetzestextes ist die Maximallänge von Nutzfahrzeugen nicht beschränkt. Lediglich die maximale Ladelänge ist gesetzlich vorgeschrieben. Dieses gesetzliche Detail führt zu maßgeblichen Unterschieden des äußeren Erscheinungsbildes der Lkw (vgl. Abbildung 6). Während in Europa die Fahrer-

---

<sup>60</sup> vgl. MAN Nutzfahrzeuge-Gruppe, 2008, S.319

<sup>61</sup> vgl. ebenda, S.332

<sup>62</sup> vgl. ebenda, S.332

<sup>63</sup> vgl. ebenda, S.332

<sup>64</sup> vgl. ebenda, S.33

cabine platzsparend über dem Motor liegt (Frontlenker), wird in den USA der Motor meist vor dem Fahrerhaus angebracht (Hauber).<sup>65</sup>

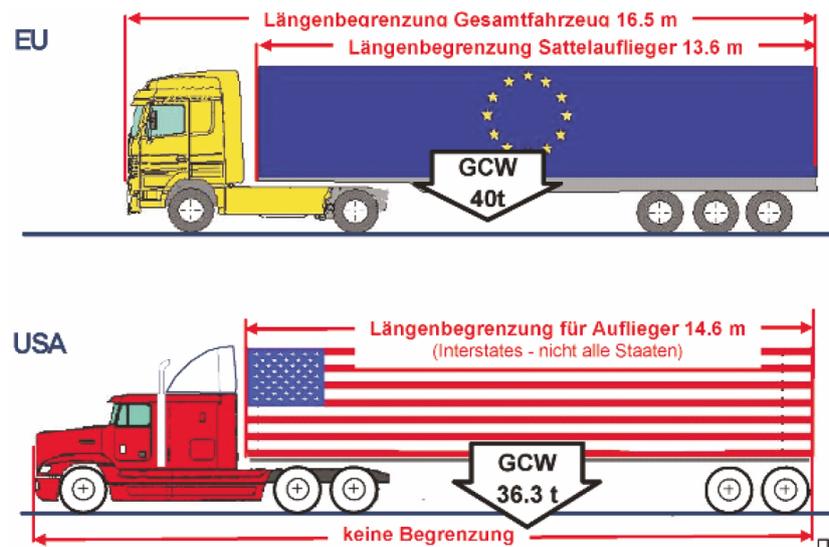


Abbildung 6: Gesetzliche Längenbegrenzungen für Auflieger und Gesamtfahrzeug im Vergleich EU-USA<sup>66</sup>

### 3.2.2 Arbeits- und Lenkzeiten für Nutzfahrzeug-Fahrer

Zum Schutz der Fahrzeuglenker und anderer Verkehrsteilnehmer gelten in Europa gemäß Verordnung (EG) Nr. 561/2006 die Arbeits- und Lenkzeitregelung für Nutzfahrzeugfahrer. Diese beschränkt die maximalen Lenkzeiten und gibt die einzuhaltenden Lenkzeitunterbrechungen bzw. Ruhezeiten vor.<sup>67</sup>

Tabelle 1 führt diese exemplarisch auf:

<b>Kriterium</b>	<b>Dauer</b>
<i>Tageslenkzeit</i>	<i>Maximal 9 Stunden; Verlängerung auf 10 Stunden nur 2-mal pro Woche erlaubt;</i>
<i>Wöchentliche Lenkzeit</i>	<i>Maximal 56 Stunden;</i>
<i>Summierte Gesamtlenkzeit</i>	<i>Maximal 90 Stunden (in zwei aufeinanderfolgenden Wochen);</i>
<i>Ununterbrochene Lenkzeit</i>	<i>Maximal 4,5 Stunden;</i>

<sup>65</sup> vgl. Hoepke et al., 2013, S.23

<sup>66</sup> Ziegler, 2008, S.205

<sup>67</sup> vgl. MAN Nutzfahrzeuge-Gruppe, 2008, S.42

<i>Lenkzeitunterbrechung</i>	<p><i>Mindestens 45 Minuten, sofern keine Ruhezeit eingelegt wird;</i></p> <p><i>Aufteilung in 15 und 30 Minuten (nur in dieser Reihenfolge) erlaubt;</i></p> <p><i>Mindestens 11 Stunden;</i></p>
<i>Ununterbrochene tägliche Ruhezeit</i>	<p><i>Aufteilung in 3 und 9 Stunden (insgesamt 12 Stunden, nur in dieser Reihenfolge) erlaubt;</i></p> <p><i>Verkürzung auf 9 Stunden (nur 3-mal zwischen zwei wöchentlichen Ruhezeiten) erlaubt;</i></p>
<i>Wöchentliche Ruhezeit</i>	<p><i>Mindestens 45 Stunden (ist spätestens nach sechs 24-Stunden-Zeiträumen einzulegen);</i></p> <p><i>Verkürzung auf 24 Stunden möglich, wenn innerhalb von 2 Wochen erfolgen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>• 2 Ruhezeiten von mindestens 45 Stunden oder</i></li> <li><i>• 1 Ruhezeit von mindestens 45 Stunden und 1 Ruhezeit von mindestens 24 Stunden</i></li> </ul>

Tabelle 1: Arbeits- und Lenkzeiten für Nutzfahrzeug-Fahrer<sup>68</sup>

### 3.2.3 Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr

Das Wiener Übereinkommen ist ein 1968 erarbeiteter Vertrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch international standardisierte Verkehrsregeln. Unter anderem besagt es gemäß BGBl. Nr. 289/1982 Art8 Abs5:

*„Jeder Führer muss dauernd sein Fahrzeug beherrschen oder seine Tiere führen können.“<sup>69</sup>*

Bzw. gemäß Art13 Abs1:

*„Jeder Fahrzeugführer muss unter allen Umständen sein Fahrzeug beherrschen, um den Sorgfaltspflichten genügen zu können und um ständig in der Lage zu sein, alle ihm obliegenden Fahrbewegungen auszuführen. [...]“<sup>70</sup>*

Da gemäß des Wiener Übereinkommens Assistenzsysteme zum Zweck eines autonomen Fahrbetriebs keinesfalls zulässig sind, wurde 2014 der Rechtsstandard über-

<sup>68</sup> MAN Nutzfahrzeuge-Gruppe, 2008, S.42

<sup>69</sup> BGBl. Nr. 289/1982 Art8 Abs5

<sup>70</sup> BGBl. Nr. 289/1982 Art13 Abs1

arbeitet. Demnach sind automatisierte System zulässig, solange der Fahrer jederzeit die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen oder das automatisierte System übersteuern kann.<sup>71</sup>

### 3.2.4 Lenkeinrichtung

Die deutsche Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) schreibt vor, wie die Auslegung von Lenkanlagen im Straßenverkehr zu erfolgen hat. Gemäß BGBl. I S. 679 vom 26.04.2012 besagt §38 u.a.:

*„Bei Versagen der Lenkhilfe muss die Lenkbarkeit des Fahrzeugs erhalten bleiben.“<sup>72</sup>*

Gemäß dieses Gesetzestextes ist der Einsatz der Steer-by-Wire-Technik, welche beispielsweise im Flugzeugbau zum Stand der Technik zählt, nicht rechtskonform.

Der Begriff *Steer-by-Wire* bezeichnet die „*elektromechanische oder elektrohydraulische Ausführung der Lenkung ohne energetische Kopplung von Lenkbetätigung (Lenkrad) und Radverstellung.*“<sup>73</sup> Dies bedeutet, dass Lenkrad und Räder nicht durch mechanische Elemente verbunden sind, sondern Sensoren die Lenkradstellung erfassen, welche durch ein elektronisches Signal (*wire*) an die Radverstellung übermittelt wird. Dies bietet neben der Reduktion des Fahrzeuggewichts durch den Wegfall von mechanischen Verbindungselementen, dem Fahrer die Möglichkeit die Rückmeldung der Lenkung variabel einstellen zu können. Zudem werden störende Vibrationen, welche durch Straßenunebenheiten verursacht werden, nicht auf das Lenkrad übertragen. Der Infiniti Q50 ist das erste straßenzugelassene Fahrzeug, welches über die *Steer-by-Wire*-Technik verfügt. Der Pkw besitzt jedoch über ein redundantes Back-Up-System, durch welches bei einem Systemausfall eine mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Räder hergestellt werden kann.<sup>74</sup>

## 3.3 Grundlagen der Fahrzeuginteraktion

Infotainment ist ein Kofferwort, welches sich aus den englischen Begriffen *information* (Information) und *entertainment* (Unterhaltung) zusammensetzt. Im Fahrzeug wird es als Überbegriff für die Vielzahl der angebotenen Fahrzeugfunktionen verwendet (vgl. Abbildung 7). Infotainmentsysteme haben die Aufgabe, dem Fahrer aus dem

---

<sup>71</sup> vgl. o.V.: UN revolutionieren Straßenverkehrsregeln von 1968 (16.05.2014)  
<http://www.welt.de/wirtschaft/article128095552/UN-revolutionieren-Strassenverkehrsregeln-von-1968.html> (Gelesen am:19.12.2014)

<sup>72</sup> BGBl. I S. 679 §38

<sup>73</sup> Winner et al., 2012b, S.673

<sup>74</sup> vgl. Reichenbach, M.: Infiniti Q50: mit Steer-by-Wire in das Premiumsegment (10.10.2013)  
<http://www.springerprofessional.de/servlet/segment/springer-professional/infiniti-q50-mit-steer-by-wire-in-das-premiumsegment/4732774.html> (Gelesen am: 18.01.2015)

mannigfaltigen Funktionsangebot gewünschte Informationen und Unterhaltung zur Verfügung zu stellen.<sup>75</sup>

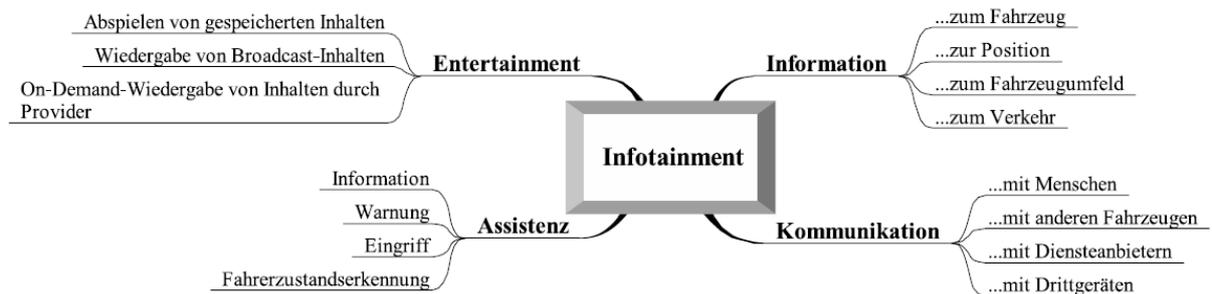


Abbildung 7: Aspekte des Infotainment im Kraftfahrzeug<sup>76</sup>

Das Infotainmentangebot steht unter einem ständigen Wandel bezüglich Umfang und Funktionalität. Durch die fortschreitende Technik der Mikroelektronik ist seit Mitte der 1970er Jahre ein besonderer Anstieg des Angebots zu verzeichnen. Dies hatte zur Folge, dass die Anzahl der Anzeige- und Bedienelemente im Fahrzeug anstieg. Um die Benutzerschnittstelle trotzdem übersichtlich und bedienfreundlich gestalten zu können, wurde von Fahrzeugherstellern versucht, die Vielzahl an Informationen in einem Anzeigeelement darzustellen und die Funktionen mit einem zentralen Bedienelement zu steuern. Als eines der ersten Systeme dieser Art kann BMWs *iDrive* genannt werden. In der 2001 erschienenen Benutzerschnittstelle fungiert ein Dreh-Drück-Steller als Eingabegerät und ein zentral angeordneter Display als Anzeige. Die durch diese Entwicklung resultierende Anzahl an Anzeige- und Bedienelementen lässt sich anhand der Ausstattung des Fahrerarbeitsplatzes im Verlauf der Zeit zeigen (vgl. Abbildung 8 li.).<sup>77</sup>

Das Kombinations-Instrument (auch Kombiinstrument) bereitet in konventioneller Form auf die Fahraufgabe bezogene Informationen auf. Aufgrund von hoher Genauigkeit, geringer Abmessung und schneller Erfassung durch den Benutzer haben sich Zeiger mit Schrittmotoren, welche Informationen auf Rundanzeigen darstellen, etabliert.<sup>78</sup>

Kombiinstrument und Infotainmentsystem werden meist in räumlich abgetrennten Bereichen angebracht. Auf die Fahraufgabe bezogene Daten werden vorzugsweise innerhalb eines Blickbereichs von 30° bezüglich der Sichtlinie des Fahrers dargestellt, wodurch sie in kurzer Zeit abgelesen werden können.<sup>79</sup>

<sup>75</sup> vgl. Meroth et al., 2008, S.1

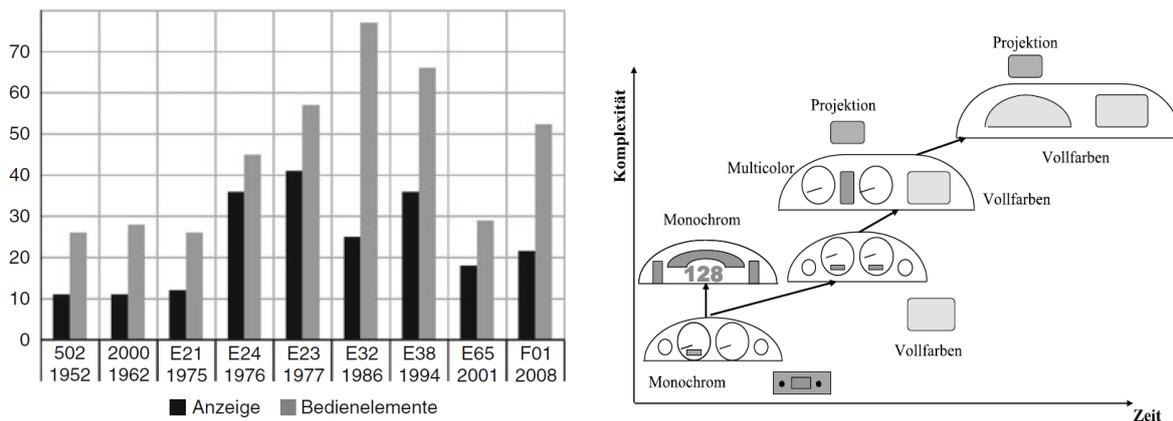
<sup>76</sup> ebenda

<sup>77</sup> vgl. ebenda, S.321 bzw. Abel et al., 2013, S.951

<sup>78</sup> vgl. Abel et al., S.906f

<sup>79</sup> vgl. ebenda

Im Laufe der Zeit hat sich die Komplexität und die damit einhergehende Vielfältigkeit der Anzeigeelemente erhöht (vgl. Abbildung 8 re.). So lassen moderne Anzeigesysteme es zu, Informationen variabel darzustellen und verfügen über keine strikte Trennung zwischen Kombiinstrument und Infotainmentsystem. Möglich macht dies beispielsweise eine Ergänzung der Rundanzeigen durch multifunktional nutzbare Displays oder das Ersetzen des konventionellen Kombiinstrument durch ein frei programmierbares Kombiinstrument (FPK), welches beliebige graphische Darstellungen erlaubt.<sup>80</sup>



**Abbildung 8: li.: Verlauf der Anzahl von Anzeige- und Bedienelemente am Beispiel BMW<sup>81</sup> re.: Trends bei Verteilung von Anzeigen am Fahrerplatz<sup>82</sup>**

### 3.3.1 Interaktionskanäle

Die Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine lassen sich in drei Interaktionskanäle unterteilen. Die Interaktion in jedem dieser Kanäle kann – sofern die Maschine über die benötigte Funktionalität verfügt – von Mensch zu Maschine und vice versa erfolgen.

#### Visueller Kanal (Sehen)

Als Empfänger erkennt der Mensch während der Steuerung eines Fahrzeuges seine Umwelt überwiegend über den visuellen Kanal. Objekte im Straßenverkehr werden durch das Auge erfasst und anschließend vom Menschen interpretiert. Auch im Fahrzeug wird hauptsächlich der visuelle Kanal benutzt, um zahlreiche Informationen an den Fahrer zu übermitteln.<sup>83</sup>

Als Sender ist es dem Menschen möglich, beispielsweise via Gestik oder Mimik mit dem Fahrzeug zu interagieren. Hierfür benötigt das Fahrzeug eine visuelle Bildverar-

<sup>80</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.907

<sup>81</sup> ebenda, S.591

<sup>82</sup> Meroth et al., 2008, S.79

<sup>83</sup> vgl. Reif, 2010, S.122

beitung, welche die vom Menschen übermittelten Informationen erkennt und interpretiert.<sup>84</sup>

### **Akustisch auditiver Kanal (Sprechen und Hören)**

Da sich der Mensch zum Empfangen von akustischen Signalen der Tonquelle nicht explizit zuwenden muss, eignet sich dieser Kanal im Fahrzeug zur Übermittlung von Hinweisen und Gefahren. Im Verkehrsumfeld ist darüber hinaus eine Bestimmung der Geräuschquelle möglich. Die Übermittlung von räumlichen oder komplexen Informationen über den akustischen Interaktionskanal kann sich oft als schwierig erweisen.<sup>85</sup>

Das Senden von akustischen Signalen an die Maschine ermöglicht dem Fahrer eine Interaktion ohne Abwendung des Blicks von der Fahrbahn. Die Vielfältigkeit der Sprache (die deutsche Sprache setzt sich beispielsweise aus 40 Phonemen zusammen)<sup>86</sup>, erlaubt dem Benutzer in verhältnismäßig kurzer Zeit komplexe Befehle an die Maschine zu übermitteln. Komplexe Sprachbefehle können allerdings zu einer erhöhten Beanspruchung der kognitiven Kapazität des Menschen führen.<sup>87</sup>

Damit aus ergonomischer Sicht eine gut funktionierende Spracheingabe erfolgen kann, ist die Latenzzeit während Dialogen von unter einer Sekunde einzuhalten. Des Weiteren sollte eine Worterkennungsrate von 95% nicht unterschritten werden.<sup>88</sup>

### **Haptisch kinästhetischer Kanal (Bedienen und Fühlen)**

Über den haptischen Kanal können dem Menschen Rückmeldungen bei allen motorischen Bedienvorgängen übermittelt werden. Eine Rückmeldung kann z.B. bei der Bedienung eines Stellteils über die Ausführung der Funktion erfolgen. Während der Fahrzeugführung geben Lenkrad und Bremse haptische Rückmeldung bezüglich der Umweltbedingungen, über den kinästhetischen Kanal sind Rückmeldungen durch Beschleunigungen im Fahrzeug wahrnehmbar. Des Weiteren können dem Menschen Gefahrensituationen haptisch beispielsweise durch Straffen des Sicherheitsgurts oder Vibration beziehungsweise kinästhetisch durch einen kurzen Bremsruck signalisiert werden.<sup>89</sup>

---

<sup>84</sup> vgl. Reif, 2010, S.122

<sup>85</sup> vgl. ebenda, S.123

<sup>86</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.918

<sup>87</sup> vgl. Reif, 2010, S.123

<sup>88</sup> vgl. Meroth et al., 2008, S.74

<sup>89</sup> vgl. Reif, 2010, S.123

Zur Informationsübermittlung von Fahrer an Fahrzeug wird der haptische Sinneskanal permanent benötigt. Auf diese Weise kann der Fahrer Elemente zur Längs- und Querverführung, Stellteile und berührungsempfindliche Bedienelemente steuern.<sup>90</sup>

### 3.3.2 Interaktionselemente

In Kraftfahrzeugen kommt eine umfangreiche Auswahl an Interaktionselementen zum Einsatz, welche sich durch die Art des Interaktionskanals bzw. durch Aussehen und Funktion unterscheiden. Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu stellen, werden gängige Interaktionselemente vorgestellt.

Als **Stellteil** wird ein „*Teil eines Stellteil-Systems, das vom Operator, z. B. durch Druck, direkt betätigt wird*“<sup>91</sup> bezeichnet. Stellteile lassen sich bezüglich Funktion in Taster, Schalter und Steller unterteilen.<sup>92</sup>

**Anzeigeelemente** dienen der Visualisierung von Informationen, welche durch den Fahrer abgelesen werden können. Während für die Bedienung des Radios ein- bis zweizeilige Displays ausreichen, werden zur Anzeige moderner Boardcomputersysteme größere Displays benötigt. Neben Bildschirmen zur Anzeige des Infotainment-systems werden in modernen Fahrzeugen auch Kombiinstrumente teilweise via Farbdisplay angezeigt.<sup>93</sup>

**Berührungsempfindliche Oberflächen** finden zunehmende Verbreitung im Automobilsektor. Durch Berühren einer Fläche kann der Nutzer eine Vielzahl von Single- bzw. Multi-Touch-Gesten ausführen. Die Besonderheit dieser Schnittstelle liegt in der hohen Vielfalt von möglichen Befehlen. Zur Interaktion werden berührungsempfindliche Oberflächen meistens in Kombination mit einem Display eingesetzt. Berührungsempfindliche Oberfläche und Displays können sich in verschiedenen Positionen befinden (Touchpad mit Display). Diese Anordnung eignet sich z.B. zur Steuerung eines Cursors, zur Eingabe von Single- bzw. Multi-Touch-Gesten oder für Texteingaben durch Zeichen von Buchstaben. Des Weiteren kann ein Display selbst mit einer berührungsempfindlichen Oberfläche ausgestattet sein (Touchscreen). Aufgrund der Vielzahl an Darstellungsmöglichkeiten in Kombination mit Gesten bietet der Touchscreen extrem variable Gestaltungsmöglichkeiten. Der Nachteil liegt in dem fehlenden haptischen Feedback, in der Verschmutzung der Oberfläche durch Berührung und in der schwierigen Bedienung in unruhiger Umgebung. Touchscreens sind zudem für eine blinde Bedienung ungeeignet.<sup>94</sup>

---

<sup>90</sup> vgl. Reif, 2010, S.123

<sup>91</sup> DIN EN ISO 894-1, 2010, S.5

<sup>92</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S.555

<sup>93</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.917

<sup>94</sup> vgl. Meroth et al., 2008, S.125

Die Verständigung über den akustisch auditiven Kanal mittels **Sprachsteuerung** ist für den Menschen eine sehr natürliche Form der Kommunikation. Diese Art von Interaktion erleichtert dem Benutzer insbesondere das Ausführen von Funktionen, für welche eine Vielzahl von Eingaben hintereinander zu erfolgen hat. Die Ablenkung des Fahrers während der Bedienung des Infotainmentsystems ist in Fahrzeugen ein besonders wichtiges Kriterium. Hier ermöglicht Sprachsteuerung dem Fahrer eine Interaktion, ohne seinen Blick der Fahrbahn abzuwenden.<sup>95</sup>

Optische Sensoren ermöglichen dem System eine Interaktion durch **Gestik** und **Mimik** des Menschen, welche beobachtet und analysiert werden kann. Der Nutzer kann beispielsweise durch definierte Handgesten Befehle übermitteln. Außerdem ermöglichen optische Sensoren das Verhalten des Menschen zu erkennen. Beispielsweise kann durch Analyse der Augen (*Eye Tracking*) blickgesteuerte Interaktionen durchgeführt oder der Müdigkeitszustand des Menschen erkannt werden.<sup>96</sup>

### 3.3.3 Umsetzung der Interaktionskonzepten im Fahrzeug

In Folgenden werden einige Beispiele von Umsetzungen von Interaktionskonzepten vorgestellt.

#### Kombiinstrument

Anhand der vorgestellten Konzepte ist ein Trend hin zu freiprogrammierbarer Kombiinstrumente zu erkennen.

Teilweise freiprogrammierbare Kombiinstrumente können mechanische Anzeigeelemente kombiniert mit Displayanzeigen enthalten (vgl. Abbildung 9), oder aus mehreren, von einander räumlich abgetrennten Displayanzeigen bestehen (vgl. Abbildung 10). Die Darstellung kann somit je nach Fahrmodus angepasst werden, die Grundstruktur bleibt jedoch erhalten.



**Abbildung 9: Teilweise freiprogrammierbares Kombiinstrument**  
re.: Konventionelle Anzeige<sup>97</sup> li.: Night-Vision Anzeige<sup>98</sup> (Mercedes S-Klasse W221 - 2005)

<sup>95</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.918

<sup>96</sup> vgl. Lichtenstein, 2009, S.79ff

<sup>97</sup> [http://i.auto-bild.de/ir\\_img/1/0/9/3/4/5/1/Kombiinstrument-Mercedes-S-320-CDI-729x486-243f1b55a99fbf28.jpg](http://i.auto-bild.de/ir_img/1/0/9/3/4/5/1/Kombiinstrument-Mercedes-S-320-CDI-729x486-243f1b55a99fbf28.jpg) (Abgerufen am: 18.03.2015)



Abbildung 10: Kombiinstrument mit getrennten Anzeigen (Volvo V40 – 2012)<sup>99</sup>

FPKs bestehen aus einem allumfassenden Anzeigeelement. Dieses beinhalten meist virtuelle Rundanzeigen, welche an konventionelle Kombiinstrumente erinnern sollen (vgl. Abbildung 11). Durch die freie Programmierbarkeit ermöglichen viele Hersteller die Auswahl diverser Modi, welche mit Darstellungsänderungen einhergehen. Dies bewirkt, dass Anzeigen verschoben, neu skaliert oder anders visualisiert werden. Des Weiteren kann das FPK genutzt werden, um Inhalte des Kombiinstrument und Infotainmentsystems enger zu verflechten. Dies führt dazu, dass ausgewählte Informationen des Infotainmentsystems im Kombiinstrument dargestellt werden, wodurch sie aufgrund der zentralen Lage leichter abgelesen werden können (vgl. Abbildung 11 bzw. Abbildung 12).



Abbildung 11: FPK mit Rundanzeigen (Jaguar X351 - 2009)<sup>100</sup>



Abbildung 12: FPK "Virtual Cockpit" (Audi - 2014)<sup>101</sup>

<sup>98</sup> <http://www.bosch-presse.de/presseforum/show/thumbna...>

1-AE13195.jpg?id=3038,2&maxwidth=153&maxheight=113 (Abgerufen am: 18.03.2015)

<sup>99</sup> <http://cdn2.ubergizmo.com/wp-content/uploads/2012/11/volvo-panel.jpg> (Abgerufen am: 19.3.2015)

<sup>100</sup> <http://image.motortrend.com/f/28465136%20w786%20ar1/2011-Jaguar-XJL-Supercharged-instruments-nav-display.jpg> [http://www.canadianautoreview.ca/images/car\\_photos/2013-Jaguar-XJ-3.0L-AWD/normal/2013-jaguar-xj-awd-digital-settings.JPG](http://www.canadianautoreview.ca/images/car_photos/2013-Jaguar-XJ-3.0L-AWD/normal/2013-jaguar-xj-awd-digital-settings.JPG) (Abgerufen am: 19.03.2015)

## Infotainment

Infotainmentsysteme mit geringer Komplexität bestehen aus einem oder mehreren von einander unabhängigen Geräten, in welchen die Bedienung und sämtliche Funktionen enthalten sind. Aufgrund zunehmender Funktionalität und Komplexität moderner Infotainmentsysteme werden zentrale Benutzerschnittstellen verwendet. Da das Infotainmentsystem auch für den Beifahrer leicht zu bedienen sein soll, befinden sich Anzeige und Bedienung meist im Bereich der Mittelkonsole. Moderne Infotainmentsysteme verfügen zudem über weitere redundante Ein- und Ausgabegeräte. Diese erlauben dem Nutzer, je nach Situation und Vorliebe auf verschiedenen Wegen mit dem System zu interagieren. Diese Redundanz kann beispielsweise durch zusätzliche Taster oder Drehregler am Lenkrad, durch den akustisch auditiven Kanal (Sprachsteuerung), oder durch eine zusätzliche Anzeige in Form eines Head-up-Displays (HUD) realisiert werden.<sup>102</sup>

Moderne Infotainmentsysteme bestehen aus einem hochauflösenden Farbdisplay und einem dazu passendem Eingabegerät. Abgesehen von zusätzlichen redundanten Bedienelementen werden moderne Infotainmentsysteme durch zentrale Steuergeräte bedient. Dafür werden meist Stellteile oder berührungsempfindliche Oberflächen verwendet. Solche Stellteile dienen meist, einen Cursor auf der dazugehörigen Anzeige in beide Achsrichtungen zu bewegen, sowie Menüpunkte auszuwählen. Sie werden meist in unmittelbarer Nähe der Anzeige im mittleren Bereich der Mittelkonsole oder im unteren Bereich der Mittelkonsole platziert (vgl. Abbildung 13).<sup>103</sup>



**Abbildung 13: Interaktionselemente im Fahrzeug**  
li.: Dreh-Drück-Steller und Taster nahe der Anzeige (Peugeot 308 CC1,6 THP - 2007)<sup>104</sup>  
re.: Dreh-Drück-Steller und Taster im unteren Bereich der Mittelkonsole (Audi A3 - 2012)<sup>105</sup>

<sup>101</sup> [http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung\\_durch\\_technik/content/2014/03/audi-virtual-cockpit.html](http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung_durch_technik/content/2014/03/audi-virtual-cockpit.html)  
(Abgerufen am: 20.03.2015)

<sup>102</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.918f

<sup>103</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.917

<sup>104</sup> interne Quelle MAN Truck & Bus AG

Eine weitere Bedienform ist die Eingabe durch eine berührungsempfindliche Oberfläche. Diese kann im Display integriert sein (Touchscreen) und ermöglicht die Interaktion direkt auf der Anzeigefläche (vgl. Abbildung 14 li.). Berührungsempfindliche Oberflächen können auch in Form eines Touchpads zum Erfassen von Fingerbewegungen (Single- bzw. Multi-Touch-Gesten) verwendet werden (vgl. Abbildung 14 re.).<sup>106</sup>

Berührungsempfindliche Oberflächen vermitteln durch ihre Mechanik keine haptische Rückmeldung. Wird diese gewünscht, ist eine künstliche Erzeugung notwendig. Dies kann beispielsweise elektromechanisch erzeugt werden, indem haptische Rezeptoren durch Aktoren angeregt werden, um den Nutzer während der Interaktion über einen Signaleingang zu informieren.<sup>107</sup>



**Abbildung 14: Berührungsempfindliche Oberflächen im Fahrzeug**  
li.: 17 Zoll Touchscreen (Tesla Model S - 2012)<sup>108</sup>; re.: Touchpad (Mercedes C-Klasse - 2014)<sup>109</sup>

## Fazit

Die vorgestellten Umsetzungen lassen erkennen, dass in modernen Fahrzeugen zunehmend FPKs anstatt konventioneller Rundinstrumente zum Einsatz kommen. Außerdem ist erkennbar, dass zur Interaktion mit Infotainmentsystemen vorzugsweise Stellteile, allerdings ebenfalls berührungsempfindliche Oberflächen benutzt werden. Entweder in Form eines Touchpads (meist in Kombination mit Stellteilen) oder eines Touchscreen (anstelle von Stellteilen).

<sup>105</sup>[http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/de/themes/2012/01/Intelligent\\_networking\\_with\\_Audi\\_connect.img.html/infodetail/images/textimage\\_4/imagezoom/600x400+-+Audi+A3+Mittelkonsole+mit+MMI-Terminal.jpg%5e](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2012/01/Intelligent_networking_with_Audi_connect.img.html/infodetail/images/textimage_4/imagezoom/600x400+-+Audi+A3+Mittelkonsole+mit+MMI-Terminal.jpg%5e) (Abgerufen am: 20.03.2015)

<sup>106</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.909

<sup>107</sup> vgl. Brandenburg et al., 2013, S.9ff

<sup>108</sup> <http://www.teslamotors.com/sites/default/files/images/model-s/gallery/interior/hero-01-LHD.jpg?201501121530> (Abgerufen am : 20.03.2015)

<sup>109</sup> [https://www.conti-online.com/www/linkableblob/presseportal\\_com\\_de/9424986/data/img\\_2014\\_02\\_28\\_daimler\\_de-data.jpg](https://www.conti-online.com/www/linkableblob/presseportal_com_de/9424986/data/img_2014_02_28_daimler_de-data.jpg) (Abgerufen am : 20.03.2015)

## 3.4 Grundlagen der Fahrzeugführung

### 3.4.1 Teilaufgaben der Fahrzeugführung

Die Fahrzeugführung betrifft sämtliche Aufgaben, welche der Fahrer während der Fahrt erledigt. Die Interaktionen zwischen Mensch und Maschine können nach Bubb in drei Fahraufgaben untergliedert werden:<sup>110</sup>

#### 1. Primäre Fahraufgabe

Hierzu zählen sämtliche Aufgaben, welche für den Fahrprozess selbst notwendig sind. Der Fahrer hat die Aufgabe, sämtliche äußeren Einflüsse wie z.B. Straßenverlauf, Witterungsbedingungen oder andere Verkehrsteilnehmer zu erkennen und entsprechend zu reagieren. Mithilfe von Bedienelementen können Regelungseingriffe vorgenommen werden, welche in der sogenannten Nachführgröße resultieren.<sup>111</sup>

#### 2. Sekundäre Fahraufgabe

Die sekundären Fahraufgaben umfassen Tätigkeiten, welche die Primäraufgaben unterstützen, aber zur Bewältigung dieser nicht unbedingt notwendig sind. Sie dienen zur Aufrechterhaltung der sicheren Fahrzeugführung. Man unterscheidet zwischen solchen, durch die der Fahrer aktiv mit der Umwelt interagiert wie Hupen oder Blinken und welchen, die der Fahrer bedingt durch Umwelteinflüsse ausführt wie Aktivieren der Scheibenwischer oder Scheinwerfer. In modernen Fahrzeugen werden einige dieser Fahraufgaben assistiert durchgeführt. So können beispielsweise Scheibenwischer und Scheinwerfer durch Sensorik automatisch gesteuert werden. Die Möglichkeit der intuitiven Bedienung ist aus ergonomischer Sicht bei sekundären Aufgaben besonders wichtig. Vor allem, um dem Fahrer das Übersteuern der Assistenzsysteme zu erleichtern.<sup>112</sup>

#### 3. Tertiäre Fahraufgabe

Unter diesen Fahraufgaben fallen alle Tätigkeiten, welche nicht unmittelbar mit der Fahrzeugführung in Zusammenhang stehen. Diese beinhalten u.a. die Betätigung von Klimaanlage, Infotainment oder Navigation, aber auch z.B. die Ent- und Verriegelung des Fahrzeugs. In den letzten Jahren hat die Anzahl von Elementen der tertiären Aufgabe zugenommen. In Zukunft ist mit einer Fortführung dieses Trends zu rechnen. Dadurch ergibt sich für den Fahrzeughersteller die Pflicht, trotz zunehmender Unterhaltungsangebote den Fahrer nicht zusätzlich von der

---

<sup>110</sup> vgl. Bubb, 2003, S.15

<sup>111</sup> vgl. ebenda

<sup>112</sup> vgl. ebenda

primären Fahraufgabe abzulenken, um eine sichere Fahrzeugführung ermöglichen zu können.<sup>113</sup>

### 3.4.2 Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten

Das Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen (vgl. Abbildung 15 li.) ist ein ingenieurpsychologisches Modell für zielgerichtete Tätigkeiten. Durch die Drei-Ebenen-Struktur lässt sich die kognitive Beanspruchung des Menschen während einer Tätigkeit in drei Kategorien unterteilen. Das Modell eignet sich zur Darstellung des menschlichen Verhaltens in komplexen Anforderungssituationen, wie sie während der Fahrzeugführung im Straßenverkehr vorkommen. Ist der Mensch solch einer Situation ausgesetzt, wird zunächst versucht die Aufgabe auf Ebene des *wissensbasierten Verhaltens* zu bewältigen. Grundlage für die Handlung bietet bereits erworbenes oder noch zu erwerbendes Wissen, welches in einem mentalen Prozess mittels Durchspielen von Handlungsalternativen auf Brauchbarkeit geprüft wird. Die nächste Ebene beschreibt das *regelbasierte Verhalten*, in welcher der Mensch auf Grundlage von bereits häufiger aufgetretenen Situationen auf gespeicherte Verhaltensmuster, welche in Vergangenheit zum gewünschten Ziel geführt haben, zurückgreift. Die dritte Ebene umfasst das *fertigkeitsbasierte Verhalten*, welches durch reflexartige Reiz-Reaktions-Mechanismen gekennzeichnet ist. Dieses Verhalten erfolgt sehr kurzfristig und lässt zu, nichtaufgabenbezogene Tätigkeiten nebenbei auszuführen.<sup>114</sup>

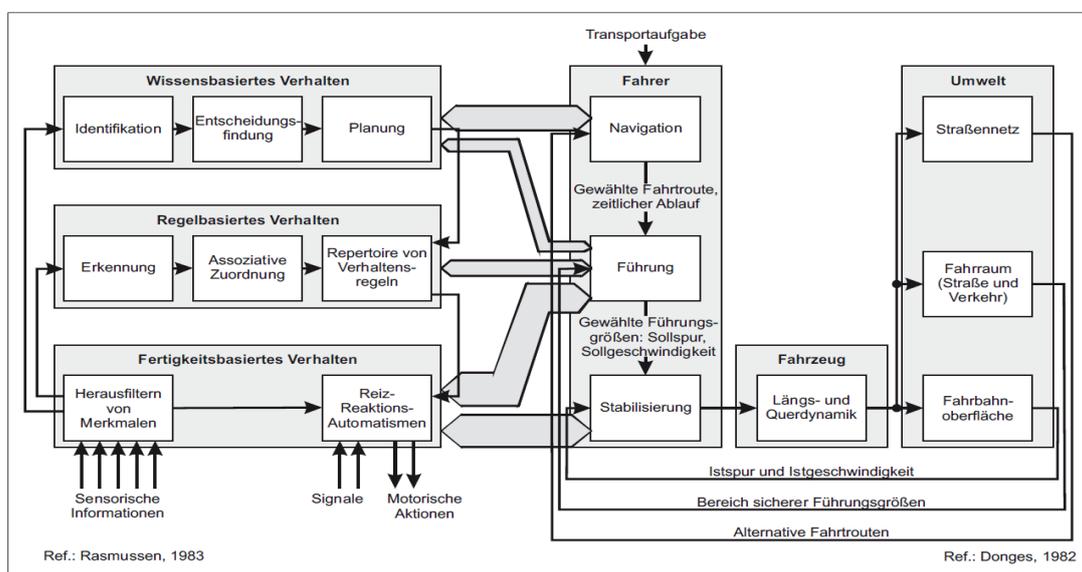


Abbildung 15: Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten nach Rasmussen (li.)  
Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges (re.)<sup>115</sup>

<sup>113</sup> vgl. Bubb, 2003, S.15

<sup>114</sup> vgl. ebenda

<sup>115</sup> Donges, 2012, S.15

### 3.4.3 Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe

Im Kontext der Fahraufgabe eignet sich das Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen zur Beschreibung der menschlichen Aufgabe im Wirkungsgefüge zwischen Mensch, Fahrzeug und Umwelt. Dieses Zusammenspiel kann durch die Drei-Ebenen-Hierarchie nach Donges veranschaulicht werden (vgl. Abbildung 15 re.). Demzufolge beginnt der Regelkreis mit der Navigationsaufgabe, welche die Fahrtroute und den voraussichtlichen Zeitbedarf umfasst. Je nach Störeinfluss kann sie angepasst werden. In unbekannter Umgebung entspricht die Navigationsaufgabe einem bewussten Planungsprozess, weshalb sie sich auf der Ebene des *wissensbasierten Verhaltens* abspielt. In bekannter Umgebung gilt die Navigationsaufgabe als bereits gelöst und muss lediglich durch den Fahrer überwacht werden. Die Führungsaufgabe und die Stabilisierungsaufgabe beschreiben den eigentlichen dynamischen Fahrprozess, welcher aufgrund der Bewegung des eigenen Fahrzeugs bzw. fremder Objekte kontinuierlich angepasst werden muss. Hierfür werden zur Führung unter Berücksichtigung von Route und Verkehrssituation die Führungsgrößen wie Sollspur und Sollgeschwindigkeit abgeleitet. Welches Verhalten der Mensch zur Bewältigung der Fahrzeugführung zeigt, hängt von der individuellen Erfahrung ab. Da ungeübten Fahrern noch nicht die benötigten Erfahrungen und Fertigkeiten zur Verfügung stehen, wird die Fahraufgabe auf der Ebene des *wissensbasierten Verhaltens* ausgeübt. Aufgrund der längeren Reaktionszeit bedingt durch *wissensbasiertes Verhalten* lässt sich die Unfallbeteiligung von Fahranfängern erklären. Durch Erlangen eines Repertoires von Verhaltensmustern kann die Führungsaufgabe zunehmend auf der Ebene des *fertigkeitsbasierten Verhaltens* durchgeführt werden. Erst beim Eintreten von kritischen Bedingungen muss der Fahrer auf *regelbasiertes* oder gar auf *wissensbasiertes Verhalten* zurückgreifen. Bei der Stabilisierungsaufgabe bilden Fahrer und Fahrzeug ein eng gekoppeltes System. Erfahrene Fahrer agieren auf der Ebene des *fertigkeitsbasierten Verhaltens*.<sup>116</sup>

### 3.4.4 Wandel der Fahrzeugkontrolle

Die Zunahme an Systemen zur Unterstützung der Fahrzeugkontrolle verändert die Rolle des Fahrers in der Drei-Ebenen-Hierarchie. Ins Fahrzeug mitgebrachte elektronische Geräte, welche nicht auf die Nutzertauglichkeit im Fahrzeug optimiert sind, können Einfluss auf eine oder mehrere der drei Ebenen haben. Als Beispiel kann das Mobiltelefon genannt werden. Mit der Motivation die Navigation besser durchführen zu können, können mittels eines Mobilfunkgesprächs Weganweisungen entgegen genommen werden. Gleichzeitig kann dies eine Benachteiligung der anderen Ebenen mit sich bringen. Auf Führungsebene würde der Einsatz eines Mobiltelefons die Reaktionsfähigkeit reduzieren, auf Stabilisierungsebene ist durch die kognitive Zu-

---

<sup>116</sup> vgl. Donges, 2012, S.16f

satzbeanspruchung beispielsweise mit schlechterer Spurhalteleistung zu rechnen. Eine Freisprecheinrichtung könnte zur Verringerung dieser Leistungseinbußen eingesetzt werden.<sup>117</sup>

Fahrzeuge der Zukunft könnten die Rollenverteilung zwischen Mensch und Maschine neu definieren. Das hierarchisch auf drei Ebenen aufgeteilte Modell muss dafür weiterentwickelt werden. Die Adaption sieht eine autonome Kontrolle der Stabilisierung und Führung durch das Fahrzeug vor. Der Fahrer ist für strategische Entscheidungen verantwortlich (vgl. Abbildung 16).<sup>118</sup>

Zunehmende Automatisierung bringt neue Aufgaben für den Fahrer mit sich. Dem Fahrer unterliegt die Beobachtung und Überwachung der ordnungsgemäßen Funktionsweise des Fahrzeuges. Des Weiteren muss er bei Systemausfall die Kontrolle wieder übernehmen.<sup>119</sup>

Die neuen Aufgaben zeigen, dass der Mensch keinesfalls durch höhere Automatisierung ersetzt wird. Vielmehr sollen Mensch und Maschine als intelligentes Team, in dem jeder seine Stärken ausspielen kann, zusammen arbeiten.<sup>120</sup>

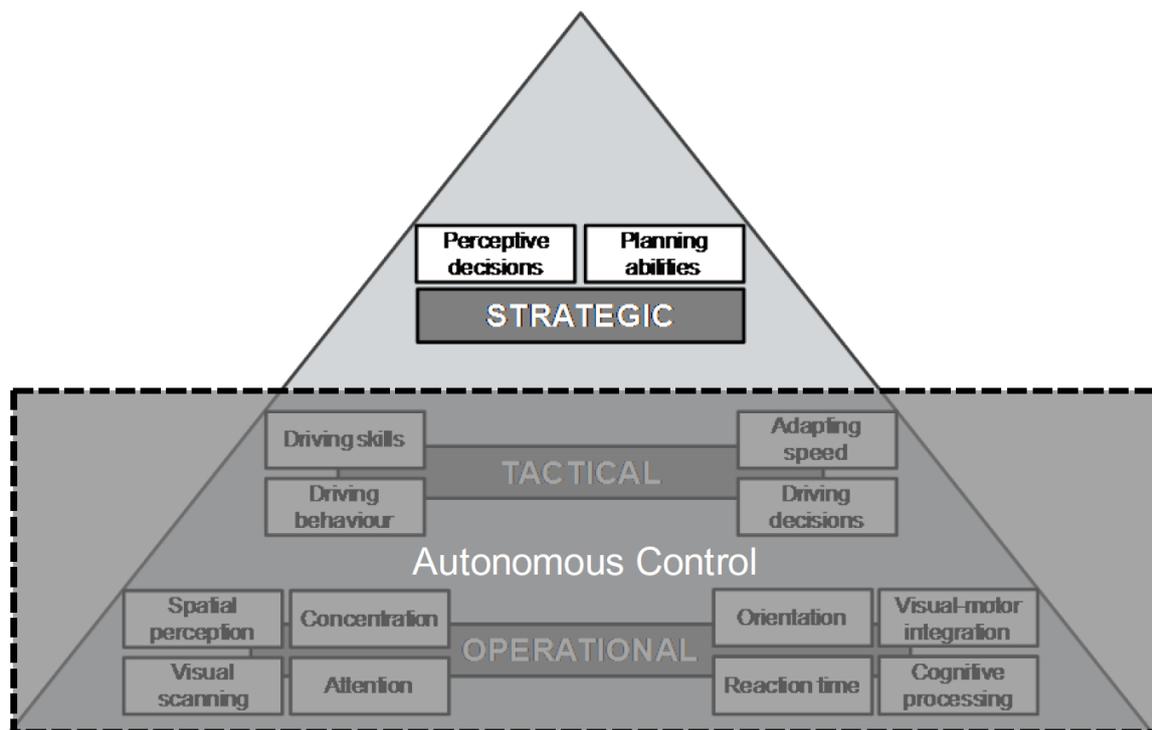


Abbildung 16: Weiterentwicklung der Drei-Ebenen-Hierarchie<sup>121</sup>

<sup>117</sup> vgl. Lee et al., 2004, S.583ff

<sup>118</sup> vgl. Krupenia et al., 2014, S. 3671

<sup>119</sup> vgl. ebenda

<sup>120</sup> vgl. Dekker et al., 2002, S.241

<sup>121</sup> Krupenia et al., 2014, S. 3671

### 3.4.5 Automatisierte Fahrzeugführung

Der Mensch verfügt über herausragende Fähigkeiten, ein Fahrzeug sicher zu steuern. Ihm ist es möglich, die Umgebung wahrzunehmen, das Fahrzeug stabil auf der Straße zu halten und Fahrmanöver unter Rücksichtnahme auf die aktuelle Verkehrssituation durchzuführen. Allerdings kann durch zunehmenden Automatisierungsgrad der Fahrkomfort, die Verkehrssicherheit und die Effizienz erhöht werden. Die Entwicklung von Systemen, welche die Fahrzeugautomatisierung erhöhen, schreitet schnell voran.<sup>122</sup> Laut Experten scheint es möglich, dass hochautomatisierte „Fahrzeuge bis 2018 oder 2019 auf der Straße sein könnten – zunächst auf der Autobahn und später im urbanen Raum.“<sup>123</sup>

Aufgrund der fehlenden rechtlichen Richtlinien wurde die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) aufgefordert, die Fahrzeugautomatisierung in Grade zu unterteilen und diese zu definieren. Sie soll die Grundlage für juristische Bewertungen bilden.

<b>Nomenklatur</b>	<b>Fahraufgaben des Fahrers nach Automatisierungsgrad</b>
Vollautomatisiert	<p><i>Das System übernimmt Quer- und Längsführung vollständig in einem definierten Anwendungsfall</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen</i></li> <li>• <i>Vor dem Verlassen des Anwendungsfalles fordert das System den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahraufgabe auf</i></li> <li>• <i>Erfolgt dies nicht, wird in den risikominimalen Systemzustand zurückgeführt</i></li> <li>• <i>Systemgrenzen werden alle vom System erkannt, das System ist in allen Situationen in der Lage, in den risikominimalen Systemzustand zurückzuführen</i></li> </ul>

<sup>122</sup> vgl. Kammel, 2012, S.651

<sup>123</sup> Schulze, 2014, S.23

<i>Hochautomatisiert</i>	<p><i>Das System übernimmt Quer- und Längsführung für einen gewissen Zeitraum in spezifischen Situationen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen</i></li> <li>• <i>Bei Bedarf wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert</i></li> <li>• <i>Systemgrenzen werden alle vom System erkannt. Das System ist nicht in der Lage, aus jeder Ausgangssituation den risikominimalen Zustand herbeizuführen</i></li> </ul>
<i>Teilautomatisiert</i>	<p><i>Das System übernimmt Quer- und Längsführung (für einen gewissen Zeitraum oder/und in spezifischen Situationen)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen</i></li> <li>• <i>Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein</i></li> </ul>
<i>Assistiert</i>	<p><i>Fahrer führt dauerhaft entweder die Quer- oder die Längsführung aus. Die jeweils andere Fahraufgabe wird in gewissen Grenzen vom System ausgeführt</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Der Fahrer muss das System dauerhaft überwachen</i></li> <li>• <i>Der Fahrer muss jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit sein</i></li> </ul>
<i>Driver only</i>	<p><i>Fahrer führt dauerhaft (während der gesamten Fahrt) die Längsführung (Beschleunigen/Verzögern) und die Querführung (lenken) aus</i></p>

**Tabelle 2: Grade der Automatisierung und ihre Definition Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)<sup>124</sup>**

### 3.4.6 Aspekte der Fahrzeugautomatisierung

Der Fahrzeugautomatisierungsgrad wird durch die Anzahl und das Zusammenspiel der verfügbaren Fahrerassistenzsysteme (FAS) definiert. Laut BASt wird zwischen fünf Stufen der Fahrzeugautomatisierung unterschieden (vgl. Kapitel 3.4.5). In der niedrigsten Automatisierungsstufe (*Driver Only*) bekommt der Fahrer keine technische Unterstützung seitens des Fahrzeugs zur Durchführung der primären Fahraufgabe. Die zweite Stufe (*Assistiertes Fahren*) existiert beispielsweise in Form von

<sup>124</sup> Gasser et al., 2012

adaptiver Abstandsregelung (ACC) und Spurhalteassistenten (LKS) teilweise in heutigen Fahrzeugen. Aktuell entwickelte Technologien realisieren bereits die dritte Stufe der Fahrzeugautomatisierung (*teilautomatisiertes Fahren*). Typisch dafür ist beispielsweise der Stauassistent, welcher das Fahrzeug selbstständig durch den Stop-and-go-Verkehr führt. Laut Experten werden Fahrzeuge in Zukunft mit Technologien ausgestattet sein, welche die vierte Stufe der Fahrzeugautomatisierung (*hochautomatisiertes Fahren*) zulässt.<sup>125</sup>

Auf dem Weg zur Erreichung der fünften Stufe (*vollautomatisiertes Fahren*) sind noch viele Fragen zu klären. Neben der technischen Entwicklung von mit einander harmonisierenden Fahrerassistenzsystemen, was bereits eine Herausforderung darstellt, ist die Rechtmäßigkeit solcher Systeme noch nicht geklärt. Den europäischen Rechtsgrundsätzen zufolge darf das Schadensrisiko von Verkehrsteilnehmern durch vollautomatisiertes Fahren nicht höher ausfallen, als das Vergleichsrisiko des aktuellen Zustands.<sup>126</sup> Zudem ist trotz prognostizierter Abnahme der Unfalltoten durch FAS, ein Haftungsproblem zu befürchten. Das heutige Straßenverkehrssystem fordert in Deutschland jährlich ca. 5.000 Tote und mehrere 100.000 Verletzte. Das Straßenverkehrsrecht beruht auf dem Ansatz, dass bei Schädigung anderer Verkehrsteilnehmer der Schadensverursacher für den Schaden haftet. Im Falle von automatisierter Fahrt ist diese Schuld- bzw. Haftungsfrage wesentlich schwieriger zu klären. Der Gesetzgeber hat einen klaren gesetzlichen Rahmen zu schaffen, bevor solche Systeme zum Einsatz kommen können.<sup>127</sup>

Die Zunahme des Automatisierungsgrades in Fahrzeugen führt gleichzeitig zu neuen Aufgaben, welche auf den Fahrer zukommen. Er muss die Funktionsweise der Assistenzsysteme und deren Grenzen kennen, um die Systemüberwachung durchführen zu können. Es bedarf einer permanenten Bereitschaft, damit die Rückübernahme der Fahraufgabe jederzeit vollzogen werden kann. Diese kann willentlich durch den Fahrer, um das System zu übersteuern, oder obligatorisch durch das System, wenn das System an die Systemgrenzen stößt, erfolgen. In beiden Fällen ist das Situationsbewusstsein (*situation awareness*) des Fahrers notwendig, damit dieser die Fahraufgabe sicher übernehmen kann und kritische Fahrsituationen vermieden werden können. Eine wesentliche Voraussetzung für eine sichere Übernahme ist, dass trotz Arbeitsabnahme durch Fahrerassistenzsysteme der Fahrer im Informationsfluss beibehalten wird.<sup>128</sup>

---

<sup>125</sup> vgl. Schulze, 2014, S.22f

<sup>126</sup> vgl. Winner et al., 2012a, S.662

<sup>127</sup> vgl. Homann, 2005, S.240ff

<sup>128</sup> vgl. Hakuli et al., 2012, S.641

### 3.4.7 Kooperative Fahrzeugführung

Ein Ansatz, welcher eine hohe Integration des Fahrers bei gleichzeitig hohem Automatisierungsgrad berücksichtigt, ist die kooperative Fahrzeugführung. Diese sieht eine intensive, kooperative Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug vor. Charakteristisch hierfür ist ein dynamisch wechselnder Automatisierungsgrad, wodurch Fahrer und Automation situationsabhängig unterschiedlich stark in die aktuelle Verkehrssituation eingebunden werden.<sup>129</sup>

Inwiefern die Kooperation zwischen Fahrer und Fahrzeug stattfinden kann, hängt vom System und vom Bedienkonzept der Assistenz ab. Grundsätzlich kann in der Zusammenarbeit zwischen Fahrer und FAS unterschieden werden, ob die Automation den Fahrer während der Ausführung unterstützt, oder ob der Fahrer das System mit dem Durchführen einer Teilaufgabe delegiert. In weiterer Folge können FAS hinsichtlich zweier Kriterien klassifiziert werden: der Anordnung von Fahrer und Assistenzsystem und der zeitlichen Wirkreihenfolge.<sup>130</sup>

Die **Anordnung** beschreibt, in welcher Form der Fahrer auf das Fahrzeug Einfluss nehmen kann. Wenn der Fahrer zur Durchführung der Fahraufgabe direkt auf das Fahrzeug einwirkt und das FAS den Fahrer simultan oder abwechselnd in der Fahraufgabe unterstützt, wird von einer **parallelen Anordnung** gesprochen. Als Beispiel kann der aktive Spurhalteassistent (*Lane Keeping Support*, LKS) genannt werden, bei welchem der Fahrer direkt auf das Fahrzeug einwirkt und in seiner Handlung unterstützt wird. Des Weiteren ist eine **serielle Anordnung** möglich, in der der Fahrer nur durch ein Assistenzsystem auf das Fahrzeug einwirken kann, welches seine Eingaben simultan oder sequentiell umsetzt. Ein Beispiel hierfür ist das halbautomatische Getriebe, bei dem der Fahrer den Wunsch zum Gangwechsel an das System übermittelt, welches anschließend den Gangwechsel vornimmt.<sup>131</sup>

Die **zeitliche Wirkreihenfolge** unterscheidet zwischen einer simultanen und sequenziellen Wirkreihenfolge. Bei **simultaner Wirkreihenfolge** wirken Fahrer und FAS zeitgleich auf das Fahrzeug ein bzw. führt das FAS den Fahrerwunsch ohne Zeitverzug aus. Dies kann beispielsweise durch ein Steer-by-Wire System realisiert werden, indem der Fahrer über das Lenkrad seinen Lenkwunsch dem System übermittelt, welches die Eingabe zeitgleich durchführt. Bei **sequenzieller Wirkreihenfolge** wirken Fahrer und FAS abwechselnd oder ereignisdiskret auf das Fahrzeug ein. Diese Wirkreihenfolge entspricht zum Beispiel der des Adaptive-Cruise-Control (ACC), wo Fahrer und FAS abwechselnd auf das Fahrzeug einwirken.<sup>132</sup>

---

<sup>129</sup> vgl. Hakuli et al., 2012, S.641

<sup>130</sup> vgl. ebenda, S.642

<sup>131</sup> vgl. ebenda, S.643f

<sup>132</sup> vgl. ebenda, S.643f.

Zum Erreichen einer hohen Ergonomie der kooperativen Fahrzeugsteuerung sind die Transitionen zwischen den einzelnen Automatisierungsgraden besonders wichtig. Dies zeigt sich auch während den Versuchen, die kooperative Fahrzeugsteuerung in die Praxis umzusetzen.<sup>133</sup>

### 3.4.8 Umsetzung der kooperativen Fahrzeugsteuerung

In weiterer Folge werden exemplarisch zwei Konzepte vorgestellt, welche aus unterschiedlichen Ansätzen heraus versuchen, die kooperative Fahrzeugführung umsetzen.

#### **Conduct-by-Wire**

Das unter dem Namen *Conduct-by-Wire* bekannte Konzept ist eine Umsetzung des manöverbasierten Fahrens. Die Idee des Konzepts besteht darin, sämtliche Assistenzsysteme in ein allumfassendes System zu integrieren. Die Fahrzeugstabilisierung wird vollständig durch *Conduct-by-Wire* ausgeführt. Der Fahrer muss lediglich diskrete Manöver-Befehle zur Querführung des Fahrzeuges (z.B. Fahrstreifenwechsel, Abbiegen etc.) erteilen. Darüber hinaus kann der Fahrer Parameter (z.B. gewünschte Fahrgeschwindigkeit, Abstand zum vorrausfahrenden Fahrzeug) bestimmen. Jeder Manöver-Befehl wird vom System erfasst und auf Durchführbarkeit geprüft. Bei positiver Prüfung wird der Befehl ausgeführt. Sollte die Durchführung in einem angemessenen Zeitrahmen nicht möglich sein, wird der Fahrer darüber informiert und der Befehl verworfen.<sup>134</sup>

In aktuellen Fahrzeugen wird jedes Assistenzsystem separat angesteuert. Bei solch einem Paradigmenwechsel der Fahrzeugsteuerung wird ein neues globales Interaktionskonzept benötigt. Daher dient zur Interaktion mit *Conduct-by-Wire* eine Manöverschnittstelle in Form eines Touchscreens mit haptischem Feedback, welche in der Lenkradmitte positioniert wird. Auf diesem werden neben Geschwindigkeit und Parametereinstellungen verfügbare Manöver in Form von Icons angezeigt (vgl. Abbildung 17). Durch Berühren der Icons wird der Manöver-Befehl abgegeben.<sup>135</sup>

---

<sup>133</sup> vgl. Hakuli et al., 2012, S.644

<sup>134</sup> vgl. Franz et al., 2011, S.295

<sup>135</sup> vgl. ebenda, S. 297f



Abbildung 17: Anzeigebild des taktilen Touch-Displays für manöverbasiertes Fahren<sup>136</sup>

Die Benutzung des Touch-Displays führt – wie von den Entwicklern erwartet – zu großer Ablenkung der Testpersonen. Daher wird als Manöverschnittstelle ein überarbeitetes Interaktionskonzept in Form einer gestenerkennenden Touchoberfläche verwendet. Mit Hilfe dieser kann der Fahrer durch Fingergesten Manöver erteilen und Parameter einstellen. Die Gestenerkennung kann in der rechten Armablage positioniert werden und „blind“ betätigt werden. Informationen über zu Verfügung stehenden Manövern, Geschwindigkeit und Abstand zu vorrausfahrenden Fahrzeugen werden auf einem Head-Up-Display visualisiert. Dadurch kann die Blickabwendungen von der Fahrbahn deutlich reduziert werden.<sup>137</sup>

Der Einsatz von *Conduct-by-Wire* hängt neben dem Fahrerwunsch auch von den Umgebungsbedingungen ab. Beispielsweise stellen Autobahnen gute Rahmenbedingungen für einen hohen Unterstützungsgrad und aufgrund der vorhandenen Fahrstreifen eine gute Befahrbarkeit dar. In unstrukturierten Umgebungen wie Freiflächen stößt das *Conduct-by-Wire* Prinzip an seine Grenzen, weshalb auf konventionelle Elemente der Fahrzeugführung zurückgegriffen werden muss.<sup>138</sup>

## H-Mode

Der Begriff *H(orse)-Mode* ist eine Designmetapher und beschreibt das Verhältnis zwischen Fahrer und Fahrzeug. Inspiriert aus dem Zusammenwirken zwischen Reiter und Pferd wird dieses Verhältnis auf die Steuerung von Fahrzeugen angewendet. Hierbei steht der Reiter für den Fahrer und das Pferd für das Fahrzeug. Demzufolge ist das Fahrzeug in der Lage, durch vorhandene Sensorik selbständig einem Weg zu folgen und Hindernissen auszuweichen, allerdings behält der Fahrer stets die Kontrolle. Eine weitere Metapher gibt den Automatisierungsgrad der Kooperation an. *Tight rein* (kurzer Zügel) steht für eine niedrige Automatisierung, in welcher der Fah-

<sup>136</sup> Kauer et al., 2010, S.1217

<sup>137</sup> vgl. Franz et al.; 2011, S.299f

<sup>138</sup> vgl. Hakuli et al., 2012, S.646

rer genaue Bewegungen durch kontinuierliche Steuerung vorgeben kann. *Loose rein* (langer Zügel) symbolisiert eine hohe Automatisierung, in der der Fahrer mittels Bewegungssequenzen diskrete Signale an das Fahrzeug zur Ausführung geben kann. In jeder Situation ergänzen sich Fahrer und Automation.<sup>139</sup>

Die Funktionsweise von *H-Mode* erfolgt, indem Fahrer und System die Fahrzeugumgebung (Straßenzustand, Verkehrssituation etc.) erfassen und eine Handlungsempfehlung abgeben. Die Absichten werden durch Interaktion abgeglichen und in einem Summationspunkt (z.B. haptisches Stellteil) addiert. Während der Führung unter kurzem Zügel steuert der Fahrer unterstützt durch Automatisierung das Fahrzeug. Durch einen längeren Zügel werden die Handlungsabsichten der Automation im Summationspunkt stärker gewichtet. Im Extremfall liefert der Fahrer nur noch diskrete Befehle, wie es bei *Conduct-by-Wire* vorgesehen ist. Der Übergang zwischen der Zügelänge kann stufenlos durch eine Gewichtungsfunktion am Summationspunkt erfolgen. Diese könnte auch intuitiv beispielsweise durch ein festes Zugreifen mit der Hand erfolgen.<sup>140</sup>

Die Hierarchie zwischen Fahrer und Fahrzeug ist analog zu der zwischen Reiter und Pferd aufgebaut. Während das Fahrzeug eine hohe Autorität auf Stabilisierungsebene hat, wird der Fahrer auf einer höheren Ebene angesiedelt, wodurch sich eine asymmetrische Hierarchie ergibt.<sup>141</sup>

## 3.5 Grundlagen der methodischen Produktentwicklung

Im Folgenden werden einige Methoden der Produktentwicklung erläutert, welche im Verlauf der Konzeptionsphase zum Einsatz kommen.

### 3.5.1 Münchener Vorgehensmodell (MVM)

Die Entwicklung eines Produkts ist ein komplexer und schwer zu überschauender Prozess ist. Um einen guten Überblick über den Produktentwicklungsprozess zu bewahren, wird das Münchener Vorgehensmodell (MVM) angewendet. Das MVM baut auf den Phasen des allgemeinen Problemlösezyklus auf:<sup>142</sup>

- *Ziel beziehungsweise Problem klären*
- *Lösungsalternativen generieren*
- *Entscheidung herbeiführen*<sup>143</sup>

---

<sup>139</sup> vgl. Hakuli et al., 2012, S.647

<sup>140</sup> vgl. ebenda

<sup>141</sup> vgl. ebenda, S.648

<sup>142</sup> vgl. Lindemann, 2009, S.42f

<sup>143</sup> ebenda, S.46

Im MVM werden diese Phasen in sieben Arbeitsschritte aufgeteilt. Diese sind in einer Netzwerk-Struktur angeordnet, wodurch das MVM flexibel anwendbar ist. Dies erlaubt, die einzelnen Schritte in verschiedener Reihenfolge und wiederholt zu durchlaufen.<sup>144</sup>

Der erste Arbeitsschritt umfasst die Zielplanung (1), welche sich aus der Analyse der auf den Nutzfahrzeugsektor wirkenden Megatrends (vgl. Kapitel 2) ergibt. In der Konzeptionsphase (vgl. Kapitel 4) folgen die weiteren Schritte zwei bis sechs des MVM. Zunächst wird die Komplexität des Konstrukts „Lkw-Fahrerhaus“ mittels Modularisierung entschärft (2). Die theoretischen Grundlagen bilden die Basis für eine grobe Analyse des Ziels (3) und die Ermittlung von Lösungsideen (4). Schließlich werden die aus der Modularisierung stammenden einzelnen Teilbereiche behandelt, auf welche jeweils die Schritte (3) bis (6) iterativ angewendet werden. Zuletzt wird im Rahmen der Konstruktion (vgl. Kapitel 5) angestrebt, die Zielerreichung durch den Einsatz von Werkzeugen der virtuellen Ergonomie abzusichern (7). Aus diesem Vorgehen ergibt sich eine Abfolge der Arbeitsschritte (schwarz) und die sich wiederholenden Schritte für jedes Modul (3) bis (6) (blau) durch das MVM (vgl. Abbildung 18).

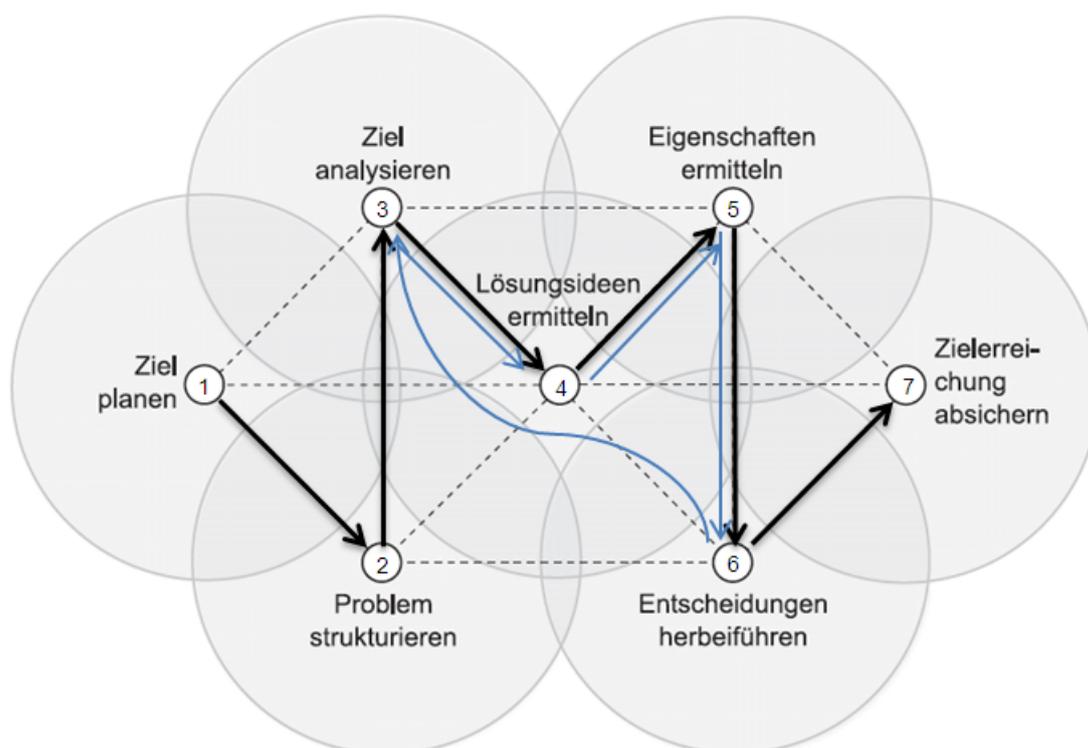


Abbildung 18: Abfolge der Schritte des Münchener Vorgehensmodells<sup>145</sup>

<sup>144</sup> vgl. Lindemann, S.46f

<sup>145</sup> ebenda, 2009, S.47

### 3.5.2 Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten wird zur Aufteilung eines komplexen technischen Problems in einfach zu bearbeitende Teilbereiche benutzt. Er dient zum Ordnen von bestehenden Lösungsideen und zum Verschaffen eines Überblicks über Teilfunktionen und Teillösungen eines Problems. Mit Hilfe des morphologischen Kastens können durch Kombination von Teillösungen Gesamtkonzepte erstellt werden.<sup>146</sup>

Hierzu werden zunächst Funktionen und Eigenschaften des Problems gesammelt und in der Kopfspalte eingetragen. Denkbare Teillösungsideen oder Ausprägungen werden den Elementen der Kopfspalte zeilenweise zugeordnet. Diese Teillösungen oder Ausprägungen lassen sich zu Gesamtkonzepten zusammenfügen. Hier gilt es zu beachten, ob die kombinierten Teillösungen miteinander kompatibel sind.<sup>147</sup>

### 3.5.3 Bewertungsmatrizen

Gewichtete Bewertungsmatrizen werden verwendet, um Lösungen differenziert und objektiv zu bewerten. Lösungen können so hinsichtlich ausgewählter Kriterien verglichen werden. Sie werden bei einer Vielzahl von relevanten Bewertungskriterien eingesetzt. Es besteht die Möglichkeit durch das Einführen einer Gewichtung ausgewählte Kriterien stärker zu berücksichtigen.<sup>148</sup>

Zunächst werden Bewertungskriterien unter Berücksichtigung der Anforderungen bestimmt. Als nächstes werden die einzelnen Lösungen hinsichtlich der Kriterien mit Zahlenwerten bewertet. Die Übersetzung des Erfüllungsgrads in einen Punktwert kann mittels einer Wertfunktion erfolgen. Man unterscheidet zwischen linear progressiv oder degressiv steigenden oder fallenden Wertfunktionen. Für die Punktwerte bieten sich ganze Zahlen (z.B. 1-10) an. Nach der Bewertung sämtlicher Lösungen kann durch Addieren der Punkte aller Kriterien pro Lösung eine Gesamtpunktezahl errechnet werden.<sup>149</sup>

---

<sup>146</sup> vgl. Lindemann, S.281

<sup>147</sup> vgl. ebenda

<sup>148</sup> vgl. ebenda, 2009, S.296

<sup>149</sup> vgl. ebenda, S.296 bzw. S.326

## 4 Konzeption Fahrerhaus

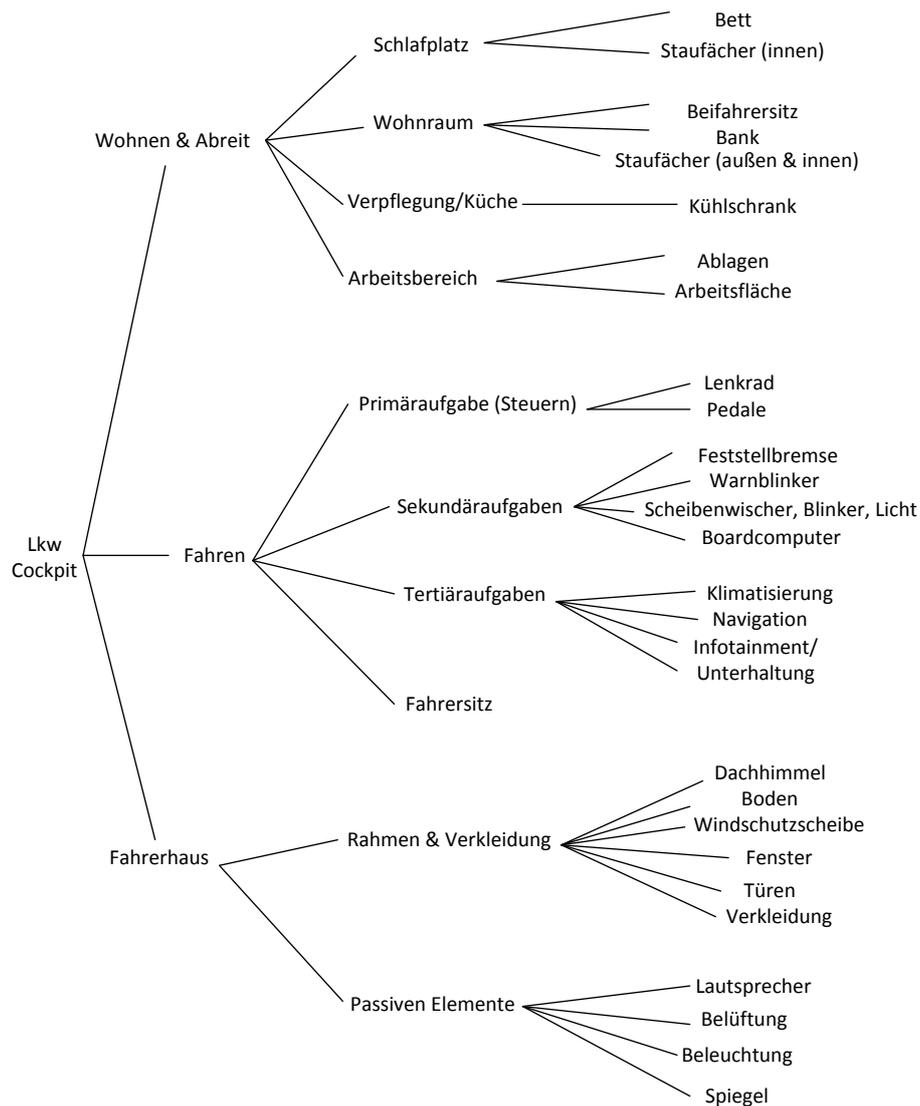
Die Konzeptionsphase hat das Ziel mehrere Konzepte für Lkw-Fahrerhäuser für den Zeitraum 2025 – 2035 zu entwerfen. Zunächst erfolgt die Konzeptionsvorbereitung, in denen das Fahrerhaus durch Modularisierung in überschaubare Bereiche unterteilt wird und zu erfüllende Eigenschaften durch eine morphologische Analyse definiert werden. In der darauf folgenden Konzeption der Module werden Teillösungen für die zuvor eingegrenzten Bereiche gefunden. Zum Finden der jeweiligen idealen Teillösung werden Megatrends im Nutzfahrzeugsektor (vgl. Kapitel 2), Ergebnisse aus Literaturrecherche, Bewertungsmatrizen und Konstruktionsrichtlinien herangezogen.

### 4.1 Konzeptionsvorbereitung

#### 4.1.1 Reduktion der Komplexität

Die Konzeption eines neuartigen Lkw-Fahrerhauses ist aufgrund der hohen Komplexität und vielseitig verflochtenen Einflüsse schwer zu überschauen. Bevor mit der Konzeption begonnen werden kann, ist das Problem zu strukturieren. Hierfür wird das Lkw-Fahrerhaus in Teilbereiche unterteilt.

Als Grundlage für diese Unterteilung wird das Ergebnis eines Experten-Brainstormings unter Beteiligung von Mitarbeitern der MAN Truck & Bus AG herangezogen. Während des Brainstormings werden zunächst die Teilnehmer aufgefordert, markante Funktionselemente eines Lkw-Fahrerhauses zu nennen. Diese werden schriftlich festgehalten und anschließend nach der Bottom-Up Methode zusammengefasst. So können Schrittweise die einzelnen Elemente zu Teilgruppen zusammengefasst werden. Das Ergebnis des Brainstormings ist eine hierarchische Gliederung eines Lkw-Fahrerhauses, welche sich ausgehend vom Fahrerhaus zu einzelnen Elementen aufspaltet (vgl. Abbildung 19).



**Abbildung 19: Modularisierung des Fahrerhauses**

In einem weiteren Schritt werden gemeinsam mit den Teilnehmern des Brainstormings in Anlehnung an diese Gliederung relevante „Module“ extrahiert, welche im Rahmen der Konzeption konkret behandelt werden:

1. Form des Fahrerhauses
2. Fahrersitz
3. Bedienelemente zur Fahrzeugführung
4. Arbeitsplatzgestaltung
5. Interaktionskonzept
6. Wohnbereich

Im Rahmen der Konzeption des Fahrerhauses wird für jedes Modul eine optimale Teillösung entwickelt. Aufgrund der hohen Vernetzung der Teilsysteme eines Lkw-Fahrerhauses ist die gegenseitige Beeinflussung der Module zu berücksichtigen.

### 4.1.2 Zielanalyse Fahrerhaus

Bei der Entwicklung eines Fernverkehr-Fahrerhauses können viele verschiedene Zielzustände erreicht werden. Während einige Lösungen nicht zulässig bzw. nicht sinnvoll erscheinen, existieren viele realisierbare Lösungswege, welche über unterschiedliche Eigenschaften verfügen und unterschiedliche Ziele erfüllen. Um einen Überblick über die Teillösungsideen zu schaffen und diese zu ordnen, wird ein morphologischer Kasten verwendet. Auf dessen Grundlage werden Gesamtlösungsideen gebildet.<sup>150</sup>

Zunächst werden Teilprobleme in die Kopfspalte eingetragen. Anschließend erfolgt die Zuordnung denkbarer Teillösungsideen zu den Teilproblemen. Die Anzahl der Teillösungsideen kann variieren. Das Ergebnis ist ein morphologischer Kasten, welcher eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten zulässt (vgl. Tabelle 3).<sup>151</sup>

Parameter	Ausprägung					
	quaderförmig – eckig – funktionell		Kugelförmig – rund – übersichtlich		Kegelförmig – elliptisch – aerodynamisch effizient	
<b>Cockpit-Form</b>						
<b>Anzahl zugelassener Personen</b>	0	1	2	3	4	
<b>Fahrerposition</b>	Links	Mittig	Rechts	n.v.		
<b>1. vollwertiger Beifahrersitz</b>	Links neben dem Fahrer	Rechts neben dem Fahrer	Hinter dem Fahrer	Schräg rechts hinter dem Fahrer	Schräg links hinter dem Fahrer	n.v.
<b>2. vollwertiger Beifahrersitz</b>	Links neben dem Fahrer	Rechts neben dem Fahrer	Hinter dem Fahrer	Schräg rechts hinter dem Fahrer	Schräg links hinter dem Fahrer	n.v.
<b>wegklappbarer Beifahrersitz</b>	Links neben dem Fahrer	Rechts neben dem Fahrer	Hinter dem Fahrer	Schräg rechts hinter dem Fahrer	Schräg links hinter dem Fahrer	n.v.
<b>Arbeitsplatz</b>	Am Fahrerplatz		Am eigenen Arbeitsplatz (z.B. Beifahrerplatz)		Am zum Arbeitsplatz transformierten Fahrerplatz	

<sup>150</sup> vgl. Lindemann, 2009, 281

<sup>151</sup> vgl. ebenda

Ruheplatz	Liegend (Bett)		Lehnend (verstellbarer Sitz)		Sitzend (Sitz)	
Verpflegung	n.v.	Aufbewahren (Kühlschrank)	Aufwärmen (Mikrowelle)	Kochen (Herd u.Ä.)	?	
Tisch	n.v.	Aufklappbar für 1 Person	Aufklappbar für 2 Personen	Permanent		
Wasserversorgung	n.v.	Zum Waschen	Zum Trinken, Kochen und Waschen			
Automatisierungsgrad	Driver Only	Assistiert	Teil-automatisiert	Hoch-automatisiert	Voll-automatisiert	
manuelle Fahrzeugsteuerung	Rotation um Mittelpunkt (Lenkrad)	Rotation um Kippunkt (Sidestick)	Linear (Schieber)	Gesten gesteuert (2D oder 3D)	Fern-gesteuert	?
Kommunikation mit Umwelt	n.v.	Mobilfunk	Mobilfunk & Internet	Mobilfunk & Internet & X2X		
Entertainmentangebot	n.v.	Audio (Sprache bzw. Musik)	Audio & Video (TV)	Audio & Video interaktiv (Konsole)		

Tabelle 3: Morphologischer Kasten

In einem weitem Schritt werden mit Unterstützung eines Experten der MAN Truck & Bus AG zwei Lösungswege gefunden:

**Konzept A** (blau) stellt eine konservative Variante dar. Ausprägungen heutiger Lkw-Fahrerhäuser werden teilweise beibehalten bzw. unter Berücksichtigung von technischen Entwicklungen und Gesetzesänderungen für 2035 adaptiert, weshalb dieser Weg als Evolution zu sehen ist. Zum Erzielen einer höheren Effizienz wird das äußere Erscheinungsbild aerodynamisch effizient ausgelegt. Wie bei heutigen Lkw werden zwei vollwertige Sitze für Fahrer und Beifahrer nebeneinander positioniert. Die fortschreitende Technologisierung lässt einen deutlich höheren Automatisierungsgrad zukünftiger Lkw vermuten, weshalb die Integration eines Arbeitsplatzes erfolgen soll. Zudem ist mit einer Weiterentwicklung des Infotainmentsystems und der Kameratechnik zur Erweiterung des Sichtfelds auszugehen. Da ein Fahrerhaus für Fern-

fahrten ausgelegt wird, beinhaltet die Wohnausstattung Schlafmöglichkeiten und Küchengeräte zur Lebensmittelkühlung und Zubereitung von Getränken.

**Konzept B** (orange) beinhaltet neben bekannten Merkmalen eines Lkw-Fahrerhauses einige neue Lösungskonzepte. Mit einer aerodynamischen Form wird wie in Lösungsweg 1 die aerodynamische Effizienz gesteigert. Der Fahrerarbeitsplatz befindet sich in zentraler Position des Fahrerhauses. Das Konzept eines zentralen Fahrersitzes im Nutzfahrzeug wurde z.B. im Rahmen des Projektes *European Bus System of the Future (EBSF)* verwirklicht. Dies trägt positiv zur Verkehrsübersicht bei und ermöglicht die Realisierung eines neuartigen Innenraumkonzepts. Des Weiteren konnte in einer Studie festgestellt werden, dass im Fernverkehr der Beifahrersitz kaum benutzt wird.<sup>152</sup> Zurückzuführen ist dies u.a. auf die gesetzliche Lenkzeitregelung (vgl. Kapitel 3.2.2), da die Fahrdauer durch einen zweiten Fahrer nicht verkürzt werden kann. Um die Nutzung des Fahrzeugs nicht einzuschränken, soll dennoch die Möglichkeit bestehen eine zweite Person mitzuführen, weshalb ein wegklappbarer Beifahrersitz vorgesehen wird. Wie in Lösungsweg 1 wird aufgrund der fortschreitenden Fahrzeugautomatisierung versucht ein Konzept zur Integration eines Arbeitsplatzes zu finden. Der Wohnbereich beinhaltet neben einem Bett auch Koch- und Essmöglichkeit. Hierfür wird der aufgrund des zentralen Fahrerarbeitsplatzes zusätzlich entstehende Platz genutzt.

## 4.2 Form des Fahrerhauses

*„A brick is the least aerodynamic shape you can imagine, that's why we need to improve the shape of the lorries on our roads. These changes make road transport cleaner and safer. They will reduce hauliers' fuel bills and give European manufacturers a head-start in designing the truck of the future, a greener truck for the global market.“<sup>153</sup>*

Die Form heutiger Lkw hat eine ähnliche aerodynamische Effizienz wie jene eines Ziegelsteins. Mit einer Verbesserung der Form hin zu einer höheren aerodynamischen Effizienz werden Lkw umweltfreundlicher und sicherer. Dies führt zu einer Reduktion der Betriebskosten und ermöglicht europäischen Nutzfahrzeugherstellern umweltfreundlichere Lkw für den Weltmarkt zu produzieren.

Diese Worte zeigen die Notwendigkeit der Adaption des Gesetzestextes für effiziente und sichere Lkw auf Europas Straßen, welches innerhalb der nächsten Jahre umgesetzt werden soll (vgl. Kapitel 0).

---

<sup>152</sup> vgl. Michel, 2013, S.185

<sup>153</sup> Kallas, New EU rules for safer and more environmental lorries (15.04.2013)  
[http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-13-328\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-328_en.htm) (Gelesen am: 4.12.2014)

## 4.2.1 Anforderungen an die Form des Fahrerhauses

Unter Berücksichtigung der Trends der Zukunft, wird die Erhöhung der Effizienz zur Reduktion der Umweltbelastung und der Kosten sowie die Verbesserung der Verkehrssicherheit angestrebt (vgl. Kapitel 2). Die Form des Fahrerhauses soll diese Ziele bestmöglich erfüllen und ausreichend Komfort und Platz bieten.

### Effizienz

Aufgrund der hohen Bedeutung der Effizienz eines Nutzkraftfahrzeugs, wird an die Außenform die Anforderung eines minimalen Luftwiderstandes gestellt. Sie soll dem Luftstrom ermöglichen, an der Fahrzeugfront vorbeizuströmen, an den Kanten nicht abzureißen und anschließend effizient am Auflieger vorbeiströmen (vgl. Kapitel 3.1.3).

Im Rahmen dieser Arbeit werden zur Beurteilung der Effizienz weder Windkanalversuche noch Versuche mittels numerische Strömungsmechanik (*computational fluid dynamics*, CFD) durchgeführt. Daher wird auf Ergebnisse vorhandener Studien bzw. auf angereichertes Fachwissen zu Grundlagen der Aerodynamik zurückgegriffen.

Verglichen zu heute gängigen Lkw-Formen, sollen größere Rundungen am Fahrerhaus zu einem besseren Umströmungsverhalten und einem reduzierten  $c_w$ -Wert des Lkw führen (vgl. Kapitel 3.1.3).

### Sicherheit

Um dem Trend zur zunehmenden Verkehrssicherheit gerecht zu werden, sollen sicherheitssteigernde Maßnahmen während der Konzeption des Fahrerhauses einfließen. Mittels einer größeren und abgerundeten Windschutzscheibe soll dem Fahrer eine verbesserte Verkehrsübersicht ermöglicht werden. Dies hat den Zweck, Unfälle mit beispielsweise Radfahrern oder Fußgängern zu vermeiden.<sup>154</sup> An der Fahrzeugfront soll eine Knautschzone (auch „Crashnose“) den Motorraum umgeben. Die Crashstruktur hat die Aufgabe, im Falle eines Aufpralls die kinetische Energie kontrolliert in Verformungsenergie umzuwandeln. Harte Motorelemente, welche ein hohes Verletzungspotenzial bei Unfällen mit sich bringen, befinden sich daher nicht mehr direkt hinter der Frontabdeckung.<sup>155</sup>

---

<sup>154</sup> vgl. o.V.: New EU rules for safer and more environmental lorries (15.04.2013)  
[http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-13-328\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-328_en.htm) (Gelesen am: 04.12.2014)

<sup>155</sup> vgl. [http://issuu.com/transportenvironment/docs/truck\\_final\\_update2?e=7954906/4650954](http://issuu.com/transportenvironment/docs/truck_final_update2?e=7954906/4650954)  
(Gelesen am: 04.12.2014)

## **Komfort**

Die Form heutiger Lkw-Fahrerhäuser versucht, dem Fahrer einen großzügigen Arbeits- und Wohnraum bei gleichzeitig kompakter Bauweise zu bieten. Durch Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz und Sicherheit verringert sich jedoch das Platzangebot im Innenraum. Um dem entgegenzuwirken soll das Fahrerhaus verlängert werden. Die EU sieht eine Anpassung der Richtlinie 96/53/EC vor, wodurch unter anderem Lkw zur Steigerung der Effizienz und Verkehrssicherheit um 80 cm länger werden könnten (vgl. Kapitel 0). Diese wird vermutlich mit dem Jahr 2022 in Kraft treten und fließt daher in diese Konzeption ein. Aufgrund der Erhöhung der maximal zulässigen Lkw-Länge ist eine Vergrößerung der Grundfläche des Innenraums möglich. Dadurch kann Platzeinschränkungen, welche aufgrund der effizienten Form und zusätzlichen Sicherheitselementen entstehen, entgegengewirkt werden.

## **Fazit**

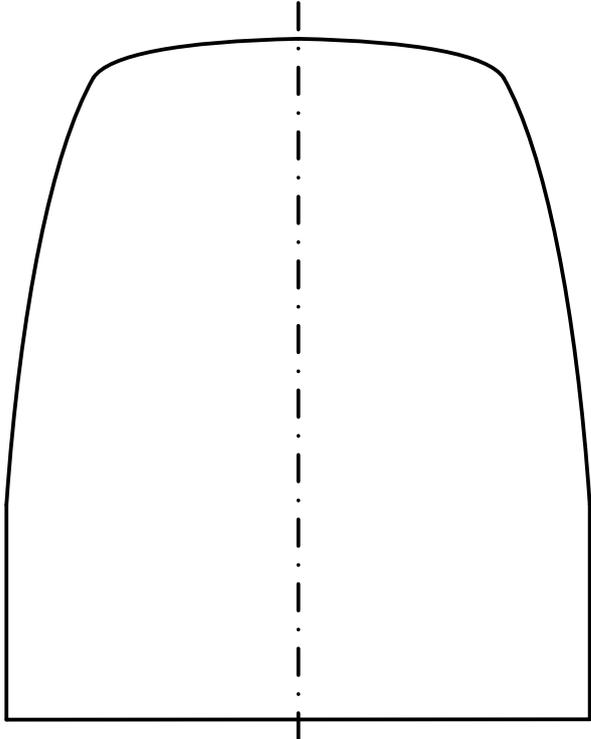
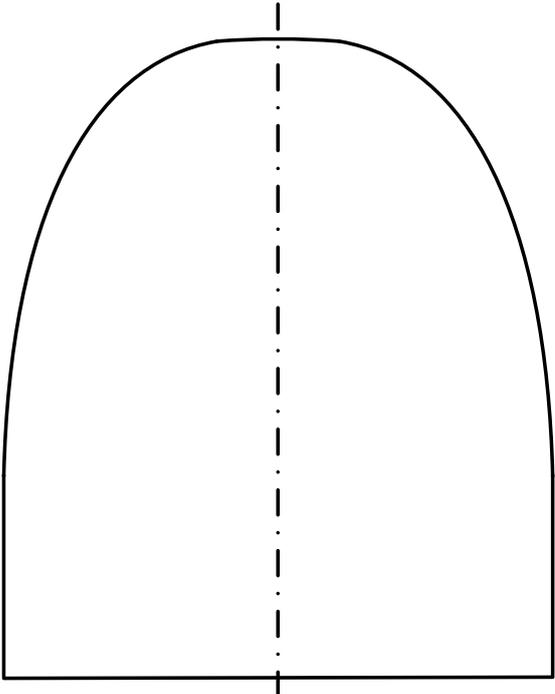
Bei der Erstellung möglicher Modelle des Fahrerhauses wird die Gesetzesänderung bezüglich der Fahrzeugverlängerung miteinbezogen. Die Fahrzeugbreite heutiger Lkw wird beibehalten. An der Fahrzeugfront soll durch vergrößerte Radien sowohl vor dem Motorraum, als auch an der Windschutzscheibe, der Staudruck und negative Auswirkungen durch Abrisskanten reduziert werden. Der abgerundete Körper vor dem Motorraum enthält eine Crashstruktur, welche das Verletzungspotenzial für Fußgänger und Radfahrer im Falle einer Kollision reduziert. Die gebogene Windschutzscheibe verbessert das Sichtfeld des Fahrers.

### **4.2.2 Darstellung und Bewertung möglicher Fahrerhausformen**

Zunächst werden schematisch Modelle des Fahrerhauses entworfen und charakterisiert (vgl. Tabelle 4), um anschließend eine Bewertung durchzuführen. Für die Bewertung wird zwischen den Erfüllungsgraden „schlecht“, „mittel“ und „gut“ unterschieden. Für die Übersetzung zu Zahlenwerten wird eine progressiv ansteigende Wertfunktion mit den Zahlenwerten 1-3-9 benutzt, um eine klarere Differenzierung zwischen den Modellen erkennen zu können. Darüber hinaus werden die einzelnen Kriterien mit einer Gewichtung versehen. Hier wird zwischen den Gewichtungen „weniger wichtig“, „wichtig“ und „sehr wichtig“ unterschieden. Wie bei der Bewertung des Erfüllungsgrads wird bei der Gewichtung eine progressiv ansteigende Wertfunktion mit den Zahlenwerten 1-3-9 benutzt. Das Modell mit dem größten Potenzial wird für die weitere Konzeption ausgewählt.

## Draufsicht Fahrerhaus

In diesem Abschnitt werden Modelle vorgestellt, welche die Grundfläche des Lkw-Fahrerhauses zeigen.

	<p><b>Modell 1</b> besitzt eine leicht gebogene Front, welche sich beidseitig zu Kanten zuspitzt, um anschließend in die Fahrzeugseite überzugehen. Der Kantenradius ist im Verhältnis zu heutigen Lkw größer, wodurch das Abreißen der Strömung verhindert werden soll. Die Fahrzeug-Seiten verlaufen leicht gekrümmt, wodurch Strömungsabriss verhindert werden können. Während den letzten 90 cm vor der Rückseite wird die maximale Kabinenbreite erreicht, um genügend Platz für Schlafplätze sicherzustellen.</p>
	<p><b>Modell 2</b> zeichnet sich durch eine schmale Fahrzeugfront normal zur Fahrtrichtung aus, welche in eine großzügige Rundung übergeht. Der Übergang zur Fahrzeugseite erfolgt fließend. Die schmale Stirnfläche soll den Staudruck verringern, die Rundung dient der Reduktion von Totwassergebieten. Aufgrund der Rundung variiert der Luftwiderstand während Schräganströmung nur gering, was sich positiv auf den Luftwiderstand auswirkt. 90 cm vor der Rückseite geht die Form in die maximale Fahrzeugbreite über, wodurch ausreichend Platz für eine Liege im hinteren Teil des Fahrerhauses vorhanden ist.</p>

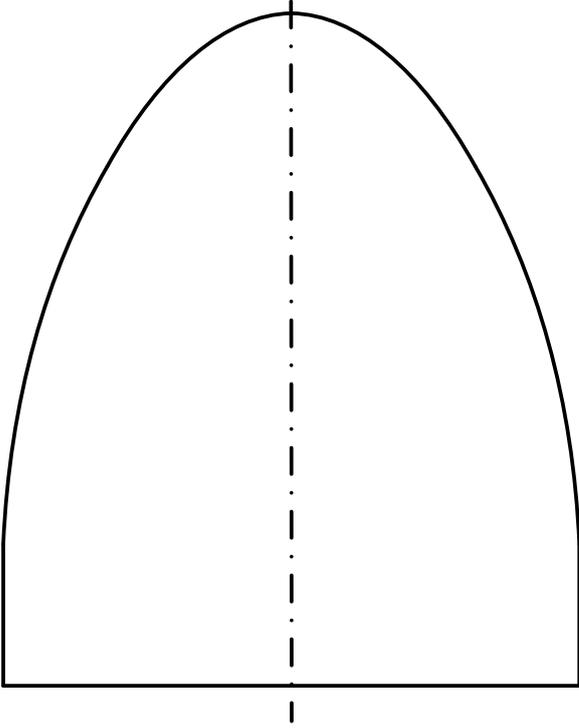
	<p><b>Modell 3</b> wird durch eine zuge-spitzte Front charakterisiert. Bei frontaler Anströmung reduziert sich der Staudruck und somit der Luftwiderstand deutlich. Durch den fließenden Übergang Richtung Auflieger können Totwas-sergebiete deutlich reduziert werden. Allerdings vergrößert sich bei Form 3 die angeströmte Fläche bei Schräganströmung. Die zuge-spitzte Form verringert das Platzangebot im Fahrzeuginne-ren. Die maximale Breite wird erst 600 mm vor der Rückseite er-reicht, weshalb ein Kompromiss im Ruhebereich gefunden werden muss.</p>
---	--

Tabelle 4: Modelle Draufsicht Fahrerhaus

Folgende maßgeblichen Kriterien zur Bewertung der Modelle wurden definiert:

### Verkehrssicherheit

Die Verkehrssicherheit der Modelle wird als wesentlicher Faktor eingeschätzt. Hierfür wird die Möglichkeit zur Unterbringung einer Crashstruktur (auch „Crashnose“) sowohl im zentralen, als auch im seitlichen Bereich der Front beurteilt. Die Erhöhung der Verkehrssicherheit wird als besonders wichtig eingestuft, weshalb als Gewichtung „9“ gewählt wird.

### Staudruck

Das Potenzial zur Reduktion des Luftwiderstands durch Anströmung des Fluids kann anhand von Grundlagen der Aerodynamik beurteilt werden. Maßgeblich ist hierfür die Größe der angeströmten Flächen und der sich daraus resultierende Staudruck. Es wird sowohl die frontale Anströmung, als auch die durchschnittliche Schräganströmung unter einem Winkel von  $14^\circ$  (vgl. Kapitel 3.1.3) betrachtet. Die Aerodynamik ist eine wichtige Eigenschaft, weshalb sie mit der Gewichtung „3“ berücksichtigt wird.

### Ausprägung möglicher Abrisskanten

Bei zu geringen Radien an der Fahrzeugfront können sich Abrisskanten und in weiterer Folge Totwassergebiete (vgl. Kapitel 3.1.3) bilden. Aufgrund der daraus resultierenden Erhöhung des Gesamtluftwiderstands wird beurteilt, ob Abrisskanten durch

Anströmung entstehen können und wie sehr sich der negative Einfluss auswirken könnte. Wie der Staudruck beeinträchtigen Abrisskanten die Aerodynamik. Daher wird ebenfalls die Gewichtung „3“ gewählt.

### Platz Fahrerbereich

Der Arbeitsplatz des Fahrers sollte so komfortabel wie möglich gestaltet sein. Hierfür sollte ausreichend Platz zu Verfügung stehen. Aerodynamische und sicherheitstechnische Maßnahmen reduzieren den Platz. Die Bewertung gibt Aufschluss über den Raum, welcher für den Fahrerbereich genutzt werden kann. Wie die Aerodynamik wird der Platz im Innenraum als wichtig eingestuft und wird daher mit „3“ gewichtet.

### Platz Wohnbereich

Der Wohnbereich beinhaltet den Platz für Schlaf, Entspannung und zum Einnehmen von Mahlzeiten. Für Fernfahrer ist der Lkw neben Arbeitsplatz auch Wohnort und hat daher einen großen Einfluss auf deren Zufriedenheit. Das Fahrerhaus sollte daher über genügend Platz verfügen, um einen angemessenen Wohnbereich schaffen zu können. Analog zum Fahrerbereich erhält der Wohnbereich die Gewichtung „3“.

### Symmetrie

Zur Reduktion der Komplexität des Produktionsverfahrens wird versucht, möglichst viele Komponenten zu verwenden, welche sowohl in links-, als auch rechtsgesteuerten Fahrzeugen gleichermaßen verwendet werden können. Die Symmetrie der Form ist daher ein maßgebliches Kriterium, um Kosteneinsparungen erzielen zu können. Karosserien heutiger Fahrzeuge werden bereits heute eingesetzt, weshalb dieses Kriterium als weniger wichtig zu betrachten ist.

Ausgehend von den festgelegten Kriterien und Gewichtungen werden die Modelle bewertet. Die Bewertung erfolgt anhand subjektiver Einschätzung unter Berücksichtigung der Charakterisierung der Modelle und der theoretischen Grundlagen.

Nr.	Kriterium	Gewichtung (1-3-9)	Modell 1		Modell 2		Modell 3	
			ungewichtet	gewichtet	ungewichtet	gewichtet	ungewichtet	gewichtet
1.	Verkehrssicherheit	9	3	27	9	81	1	9
2.	Staudruck	3	1	3	3	9	9	27
3.	Ausprägung möglicher Abrisskanten	3	1	3	9	27	9	27
4.	Platz Fahrerbereich	3	9	27	3	9	1	3
5.	Platz Wohnbereich	3	9	27	9	27	1	3
6.	Symmetrie	1	9	9	9	9	9	9
	Ergebnis		32	96	<b>42</b>	<b>162</b>	30	78

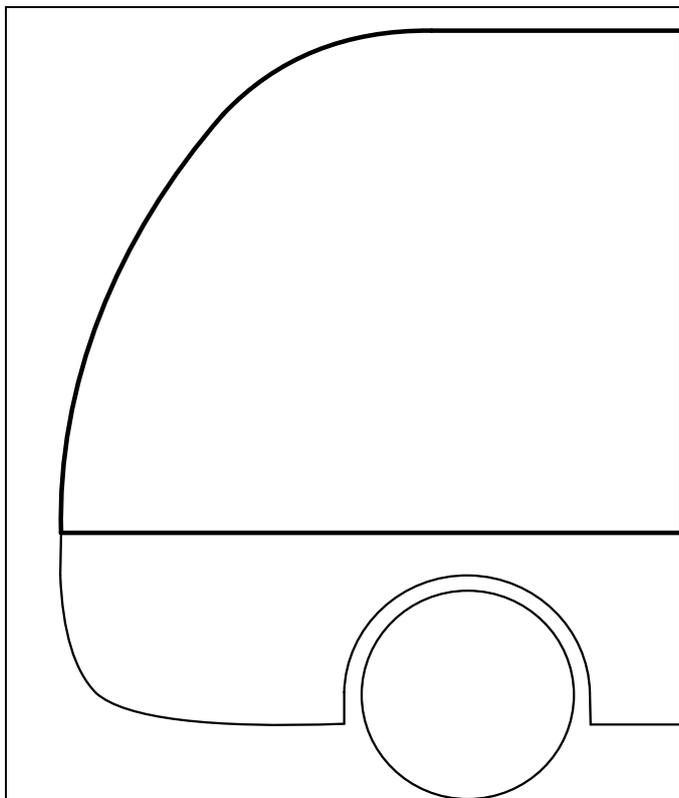
Tabelle 5: Bewertungsmatrix Draufsicht Fahrerhaus

Das Ergebnis zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen das Modell 2 am vielversprechendsten erscheint. Daher wird dieses Modell für die weitere Konzeption ausgewählt.

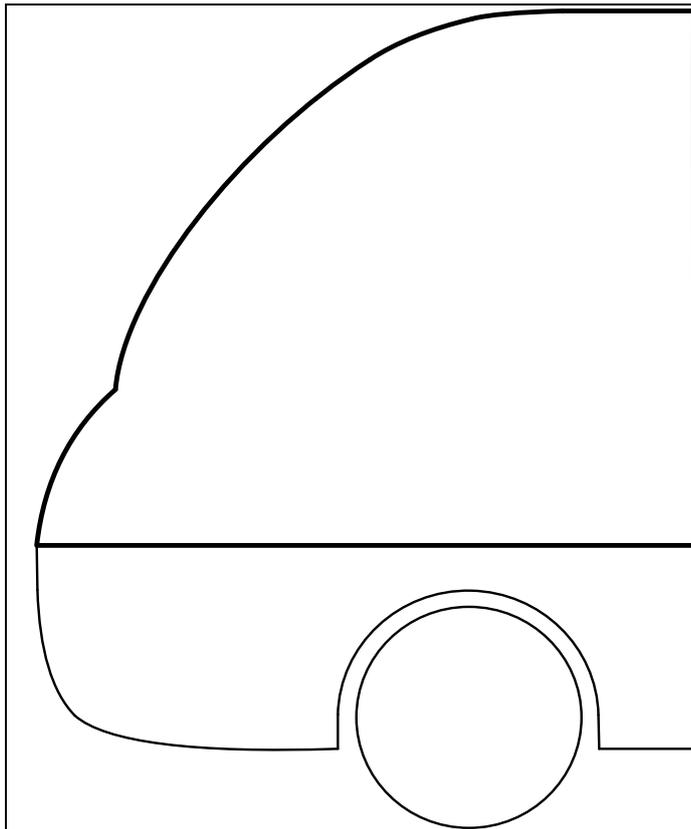
### Seitenansicht Fahrerhaus

Die in der Seitenansicht zu erkennende Form des Fahrerhauses soll dem Fluid ermöglichen über das Fahrzeug mit möglichst geringem Widerstand zu strömen. Außerdem soll sie Platz für eine Crash-Struktur (Crashnose) bieten. Diese soll sich bis in eine Höhe von etwa 1800 mm erstrecken, wodurch die Aufprallkräfte bei Unfällen (insbesondere mit Fußgängern oder Radfahrern) gelindert werden können. Die Fahrzeugverlängerung bewirkt eine Vergrößerung des Motorraumes, wodurch eine tiefe Motorenlage und ein niedriger Boden des Fahrerhauses ermöglicht werden kann. So soll der Platz, welcher aufgrund der Crashnose und der flach verlaufenden Frontscheibe verloren geht, im Dachbereich der Kabine kompensiert werden.

Zur besseren Veranschaulichung wird die Zugmaschine im Bereich unterhalb des Fahrerhauses ebenfalls dargestellt. Der Boden des Innenraums befindet sich auf einer Höhe von 1,25 m über der Straße. Folgende vier Modelle der Seitenansicht eines Lkw-Fahrerhauses wurden erstellt:

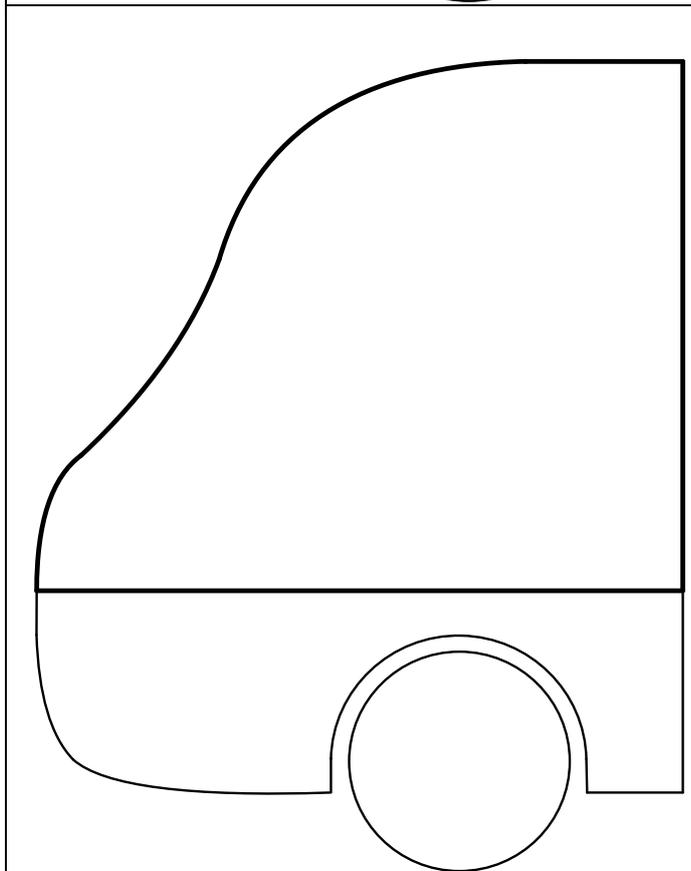


**Modell 1** besitzt eine durchgehend konvexe Form der Fahrzeugfront. Im Vergleich zu heutigen Kabinenformen wurden Radien vergrößert, um eine aerodynamisch effiziente Form zu erzeugen. Im unteren Bereich der Front ist Platz für eine Crashstruktur vorgesehen. Modell 1 zeichnet sich durch ein erhöhtes Platzangebot im Innenraum und seine vertraute Form aus. Allerdings können Staudruck und Totwassergebiete bei diesem Modell nur bedingt reduziert werden.



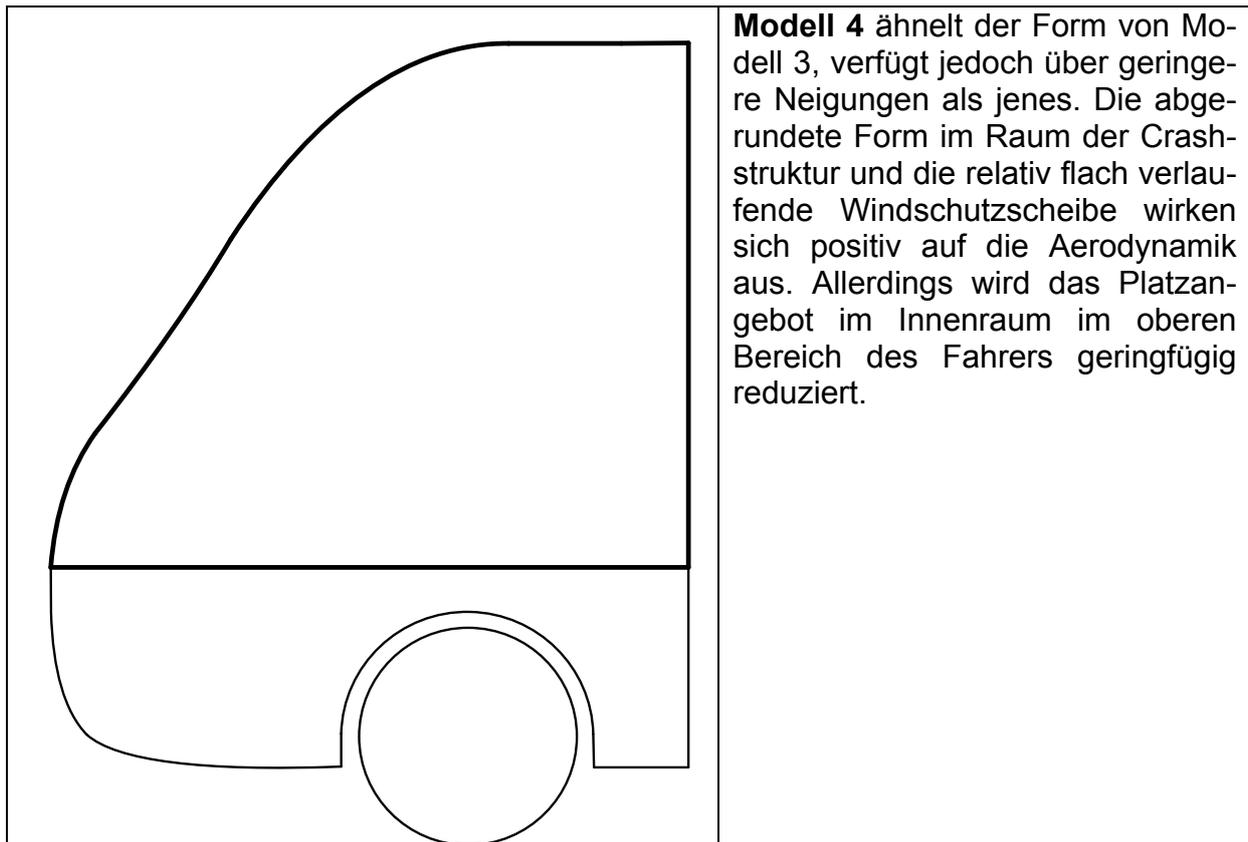
**Modell 2** sieht Platz für eine ausgeprägte Crashnose vor, welche durch eine Kante abgesetzt zur Windschutzscheibe übergeht. Diese verläuft mit geringer Krümmung bis zum Kabinendach.

Vorteil dieses Modells ist die großzügig ausgelegte Knautschzone. Die rückwärtig verlaufende Windschutzscheibe reduziert die frontale Luftangriffsfläche und Totwasergebiete. Die Kante zwischen Crashnose und Frontscheibe könnte jedoch zu erhöhtem Staudruck führen. Des Weiteren verringert die gekrümmte Scheibe den Platz im Innenraum.



**Modell 3** verfügt über eine Crashnose, welche in eine konkav gekrümmte Frontscheibe übergeht. Der große Radius der oberen Kante im Dachbereich soll eine effiziente Aerodynamik fördern.

Die Windschutzscheibe stellt sich im steilsten Punkt beinahe frontal der Strömung entgegen, wodurch der Staudruck vor dem Fahrzeug erhöht wird. Allerdings wird dadurch die Kopffreiheit des Fahrers weniger eingeschränkt.



**Modell 4** ähnelt der Form von Modell 3, verfügt jedoch über geringere Neigungen als jenes. Die abgerundete Form im Raum der Crashstruktur und die relativ flach verlaufende Windschutzscheibe wirken sich positiv auf die Aerodynamik aus. Allerdings wird das Platzangebot im Innenraum im oberen Bereich des Fahrers geringfügig reduziert.

**Tabelle 6: Modelle Seitenansicht des Fahrerhaus**

Die Formen der Seitenansicht werden mit ähnlichen Kriterien wie jene der Bewertungsmatrix der Draufsicht bewertet. Allerdings werden die 6 Kriterien auf aerodynamische Effizienz, Sicherheit und Platzangebot reduziert. Das Kriterium der Symmetrie spielt bei der Seitenansicht keine Rolle und entfällt daher. Durch die Zusammenfassung zu drei Bereichen werden diese als gleich bedeutsam eingeschätzt, weshalb keine Gewichtung zwischen den Kriterien angewendet wird. Die Bewertung erfolgt abermals aufgrund subjektiver Einschätzung.

Nr.	Kriterium	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
1.	Aerodynamische Effizienz	1	9	3	9
2.	Verkehrssicherheit	3	9	9	9
3.	Platzangebot	9	1	3	3
	Ergebnis	13	19	15	<b>21</b>

**Tabelle 7: Bewertungsmatrix Seitenansicht Fahrerhaus**

Modell 4 weist kein deutlich höheres Ergebnis im Vergleich zu den verbleibenden Formen auf. Daher ist denkbar, dass Charakteristiken aller vier Modelle sich in zukünftigen Nutzfahrzeugen wiederfinden könnten. Ein hilfreiches Entscheidungskriterium wäre hier eine exakte Beurteilung der aerodynamischen Effizienz. Aufgrund der schwierigen Prüfung auf aerodynamische Eigenschaften muss auf eine exakte Analyse der Modelle verzichtet werden. Zur weiteren Konzeption wird Modell 4 aufgrund des besten Ergebnisses übernommen.

## 4.3 Fahrersitz

Bei der Konzeption eines neuen Fahrerarbeitsplatzes ist die Position des Fahrersitzes ein maßgeblicher Faktor. Er definiert, wo sich der Fahrer und alle für ihn erreichbaren Interaktionselemente befinden. Im heutigen Lkw befindet sich der Fahrersitz je nach länderspezifischen Regelungen im vorderen linken bzw. rechten Bereich des Fahrerhauses. Die veränderte Außenform des Fahrerhauses im Vergleich zu heutigen Lkw-Fahrerhäusern erfordert eine neue Definition der Sitzposition.

**Konzept A** verfolgt die Konzeption eines Fahrerhauses, welches mit einem vollwertigen Beifahrersitz ausgestattet ist. Aus diesem Grund muss bei der Fahrersitzposition Rücksicht auf den Platz auf der Beifahrerseite genommen werden.

**Konzept B** sieht neben dem Fahrersitz lediglich eine wegklappbare und somit platzsparende Sitzmöglichkeit für eine weitere Person vor, wodurch dem Fahrersitz ein größerer Positionierungsraum zur Verfügung steht. Dies ermöglicht ein erweitertes Raumangebot für die weitere Konzeptionsphase.

### 4.3.1 Geometrie eines Nutzfahrzeugsitzes

Eine gute Sitzergonomie gilt als entscheidender Faktor für gute und gesunde Arbeitsbedingungen. Daher werden meist ergonomisch optimierte Schwingsitze verbaut, welche über gute Federungseigenschaften und vielseitige Einstellmöglichkeiten verfügen. Ausgereifte Produkte auf dem Stand der Technik verfügen über eine pneumatische Federung mit einer Schwingamplitude im Bereich von 50 mm.<sup>156</sup>

Abbildung 20 zeigt die Abmessungen des Schwingsitzes „Kingman“ der Firma Grammer. Aufgrund der erlangten ergonomischen Auszeichnungen des Sitzes, werden im Verlauf der Konzeptionsphase die Abmessungen dieses Modells als Referenzwert herangezogen. Der Sitz ist ausgelegt, um auf einer Erhöhung über dem Boden befestigt zu werden. Aus den kundenspezifischen Produktvarianten werden die Maße für MAN-Fahrzeuge ausgewählt.

---

<sup>156</sup> vgl. o.V.: On the road again, Route 66 (2011), [http://www.grammer.com/fileadmin/user\\_upload/ressourcen/images/produkte/Prospekte\\_deutsch/Lkw/Route\\_66\\_1137145\\_dt.pdf](http://www.grammer.com/fileadmin/user_upload/ressourcen/images/produkte/Prospekte_deutsch/Lkw/Route_66_1137145_dt.pdf) (Gelesen am: 17.03.2015)

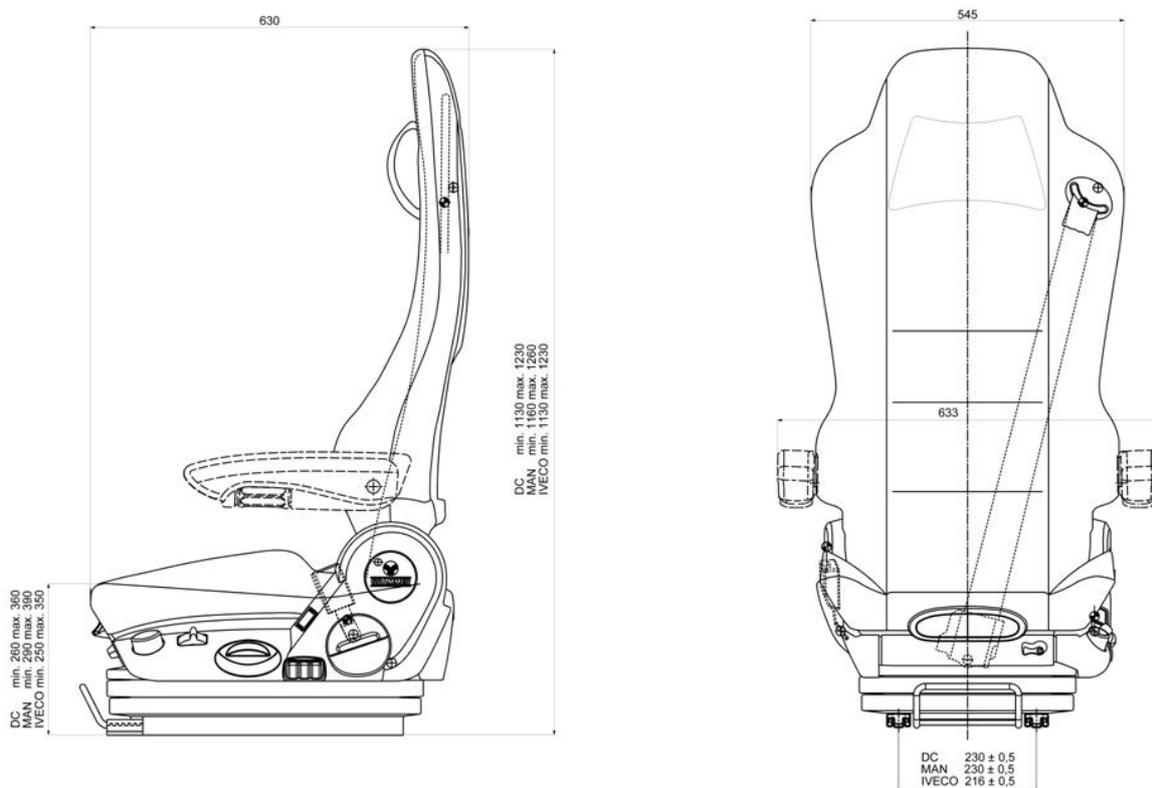


Abbildung 20: Maßangaben eines Schwingsitzes<sup>157</sup>

### 4.3.2 Festlegen der Bezugsgrößen

Zur Bestimmung der Position von Elementen im Innenraum von Kraftfahrzeugen werden Referenzpunkte definiert. Deren Positionen werden im dreidimensionalen Bezugssystem für Kraftfahrzeuge im Raum festgelegt. Dieses ist folgendermaßen definiert:

- Null-X-Ebene (Vertikale Ebene) verläuft durch die Fahrzeugfront
- Null-Y-Ebene (Längs-Mittel-Ebene) verläuft durch die Symmetrieebene des Fahrzeugs
- Null-Z-Ebene verläuft durch den Boden des Fahrerhauses<sup>158</sup>

Um eine ergonomische Auslegung für eine möglichst breite Nutzerschicht gewährleisten zu können, werden bei der Auslegung des Raumes die Körpergrößen von drei Menschmodellen berücksichtigt. Die Maße der Menschmodelle stammen von Da-

<sup>157</sup> [http://www.grammer.com/fileadmin/user\\_upload/ressourcen/images/produkte/Masszeichnungen/Kingman.JPG](http://www.grammer.com/fileadmin/user_upload/ressourcen/images/produkte/Masszeichnungen/Kingman.JPG) (Abgerufen am: 24.03.2015)

<sup>158</sup> vgl. DIN ISO 4130, 1997, S.3

tensätzen für Männer und Frauen in Europa, Asien und den USA und wurden im Hinblick auf die Steuerung von Maschinen ermittelt.<sup>159</sup>

Es wird zwischen folgenden Menschmodellen unterschieden:

- Kleiner Mensch (5. Perzentil)
- Mittlerer Mensch (50. Perzentil)
- Großer Mensch (95. Perzentil)

Im Verlauf der Konzeption wird die Position des Menschen im Fahrerhaus durch einen Bezugspunkt definiert. Der im Automobilsektor üblicherweise verwendete Referenzpunkt zur Definition der Fahrerposition ist der H-Punkt. Er beschreibt den *„Punkt in der Mittelebene des Fahrzeug-Insassen, durch den die theoretische Drehachse zwischen dem Bein und dem Rumpf eines (...) menschlichen Körpers verläuft.“*<sup>160</sup> Die Messung dieses Punktes kann sowohl mittels einer *H-Point-Machine* (HPM), als auch durch ein *H-Point Design Tool* (HPD) erfolgen. Die HPM ist ein physisches Messwerkzeug, mit welchem sich der H-Punkt anhand des Sitzobjekts bestimmen lässt. Das HPD ist ein CAD-Tool, welches im Rahmen der virtuellen Konstruktion eingesetzt werden kann.<sup>161</sup>

Während der Konzeptionsphase kann der im Automobilbereich bevorzugt verwendete H-Punkt aufgrund fehlender Messmöglichkeiten nicht verwendet werden. Zur Einschätzung des verfügbaren Raumes wird daher zunächst der im Baumaschinenbereich verwendete Sitzindexpunkt (SIP) herangezogen. Zur Bestimmung dieses Punktes ist ähnlich wie beim H-Punkt eine Messung am Sitz notwendig.<sup>162</sup> Allerdings kann der SIP *„zum Zweck der Gestaltung von Maschinenführerplätzen als gleich dem Schnittpunkt zwischen den theoretischen Achsen des menschlichen Oberkörpers und des menschlichen Oberschenkels auf der senkrechten Ebene durch die Sitzmittellinie betrachtet werden.“*<sup>163</sup>

Für die Konzeption werden gemäß DIN EN ISO 3411 festgelegte Koordinaten für den SIP verwendet. Gemäß dieser Norm befindet sich SIP des mittleren Menschen 88 mm über der Sitzfläche und 125 mm vor der gekrümmten Sitzlehne.<sup>164</sup> Während der Konstruktion wird das Modell eines Fahrersitzes benutzt. Zur weiteren Auslegung wird der an diesem Sitz ermittelte H-Punkt verwendet.

---

<sup>159</sup> vgl. DIN EN ISO 3411, 2007, S.4

<sup>160</sup> DIN 70 020 Teil 1, 1993, S.3

<sup>161</sup> vgl. SAE J1100 Revides, 2002, S.4

<sup>162</sup> vgl. DIN EN ISO 5353, 1999, S.3

<sup>163</sup> ebenda, S.2

<sup>164</sup> vgl. DIN EN ISO 3411, 2007, S.7

### 4.3.3 Zielgrößen der Fahrersitzposition

Mittels Definitionen von Zielgrößen wird anhand von Normen und Konstruktionsrichtlinien eine geeignete Fahrersitzposition gefunden. Dies dient der groben Einschätzung des verfügbaren Raumes. Exakte Konstruktionsvorgaben existieren für den Lkw-Innenraum nicht. Daher müssen ermittelte Werte auf ihre Anwendbarkeit in Bezug auf Nutzfahrzeuge gesondert überprüft werden. Die Prüfung und Anpassung des Ergebnisses der Konzeption wird mittels eines digitalen Menschmodell-Programms im Rahmen der Konstruktion durchgeführt (vgl. Kapitel 5).

Grundsätzlich wird versucht, den Fahrersitz so weit wie möglich an der Fahrzeugfront zu positionieren, um bestmögliche Verkehrsübersicht und genügend Platz für den Wohnbereich garantieren zu können. Darüber hinaus werden weitere Zielgrößen definiert, welche die Fahrersitzposition einschränken. Unter Berücksichtigung aller Zielgrößen ergibt sich schließlich die optimale Position des Sitzes.

Folgende Zielgrößen werden für die Bestimmung der Fahrersitzposition bestimmt:

#### **Ausreichend Platz für ergonomische Anordnung der Anzeigeelemente**

Um ausreichend Platz für die Anbringung von Anzeigeelementen zur Verfügung zu haben, soll hierfür ein Bereich vor dem Fahrersitz für die weitere Konzeption bereit stehen. Zur Auswahl des Raumes wird ein Kugelsektor definiert, dessen Mittelpunkt dem Augpunkt (= Augen des Fahrers in einem Punkt vereint)<sup>165</sup> entspricht. Dieser befindet sich bei einem mittelgroßen Menschen auf einer Höhe von 1229 mm über dem Boden und 194 mm vor der Sitzlehne.<sup>166</sup> Aufgrund der Sitzkrümmung im Verlauf der Lehne befindet sich der Augpunkt nicht über den SIP.

Der typisch bequeme Sichtabstand für Anzeigeelemente liegt bei etwa 700 mm.<sup>167</sup> Dieser Wert wird als Radius des Kugelsektors gewählt. Der empfohlene Bereich in sitzender Körperhaltung von Anzeigen befindet sich bezogen auf eine gerade Sichtlinie horizontal zwischen  $\pm 60^\circ$  bzw. vertikal zwischen  $\pm 70^\circ$ .<sup>168</sup> In **Konzept A** ist eine Beschränkung des Kugelsektors horizontal im vom Fahrer aus gesehenen linken Bereich auf  $45^\circ$  möglich. Dadurch kann der Fahrerarbeitsplatz näher an der Fahrzeugseite platziert werden. **Konzept B** beinhaltet diese Einschränkung nicht.

Ergänzend sei angemerkt, dass ein Großteil des beschriebenen Kugelsektors zur Sicht auf das Verkehrsgeschehen freigehalten werden muss und daher nicht zur Anbringung von Anzeigen zur Verfügung steht. Daher sind Überschneidungen mit der Außenform im Bereich des Sichtfeldes möglich.

---

<sup>165</sup> vgl. Ziegler, 2008, S.206

<sup>166</sup> vgl. DIN EN ISO 3411, 2007, S.6f

<sup>167</sup> vgl. DIN EN ISO 894-4, 2010, S.11; vgl. Schmidke, 1993, S.514

<sup>168</sup> vgl. ebenda, S. 39f

### **Ausreichend Platz für ergonomische Anordnung der Stellteile**

Für eine ergonomisch günstige Positionierung der Stellteile werden einerseits der Bequemlichkeitsbereich für Stellteile, andererseits empfohlene Bereiche bezüglich des Sichtfeldes berücksichtigt. Das Sichtfeld deckt sich horizontal mit dem Kugelsegment der Anzeigeelemente. Vertikal erstreckt sich der Kugelsektor von  $-70^\circ$  bis  $+50^\circ$  bezogen auf eine gerade Sichtlinie.<sup>169</sup> Dieser Bereich wird bereits durch die vorrangegangene Bedingung abgedeckt. Der Bequemlichkeitsbereich wird vom SIP aus gemessen und erstreckt sich symmetrisch in einem Bereich zwischen 300 mm und 700 mm vor dem Fahrerarbeitsplatz.<sup>170</sup> Dieser Bereich gilt während der weiteren Konzeptionsphase als bevorzugt zur Anbringung von Stellteilen. Darüber hinaus können weitere Stellteile im Reichweitenbereich platziert werden, welcher sich in einem Radius von bis zu 900 mm um den SIP erstreckt.<sup>171</sup> Diese Bedingung gilt gleichermaßen für die **Konzepte A und B**.

### **Ausreichend Platz im Fußraum**

Der Fußraum des Fahrerhauses soll ausreichend Platz für ein bequemes Sitzen bieten. Hierfür wird der Bequemlichkeitsbereich der fußbetätigten Stellteile herangezogen. Dadurch bleibt zudem die Möglichkeit bestehen, im weiteren Verlauf der Konzeption Stellteile im Fußraum zu positionieren. Der Bequemlichkeitsbereich für fußbetätigte Stellteile des großen Menschen liegt in einem Bereich zwischen 581 mm und 932 mm vor und 150 mm und 470 mm unter dem SIP. Die Maximalwerte dieses Bereichs stellen die Mindestwerte für den freizuhaltenden Raum dar und gelten für **Konzepte A und B**.<sup>172</sup>

### **Abstand zum Fenster**

Während manueller Steuerung kann es vorteilhaft sein, den Sitz nah an der Fahrzeugseite zu positionieren, wodurch der Gegenverkehr in Kreuzungssituationen besser eingesehen werden kann. Zur Erhöhung des Komfortgefühls des Fahrers wird der Fahrerarbeitsplatz nahe am Fenster platziert. Dies soll zu einer besseren Interaktion mit der Umwelt beitragen (beispielsweise beim Ziehen eines Tickets an Mautstationen). Jedoch sollte der Fahrer genügend Bewegungsfreiheit haben, um nicht mit dem Ellenbogen an der Fahrzeugwand anzustoßen. Des Weiteren soll ausreichend Platz verbleiben, um einen Beifahrersitz im Fahrzeug unterzubringen.

Als Mindestabstand wird die halbe Ellenbogenspannweite (Spannweite bei abgewinkelten Ellenbogen) des großen Manns mit 530 mm herangezogen, wodurch eine

---

<sup>169</sup> vgl. ebenda, S. 39f

<sup>170</sup> vgl. DIN EN ISO 6682, 2009, S.12ff

<sup>171</sup> vgl. DIN EN ISO 6682, 2009, S.10ff

<sup>172</sup> vgl. ebenda

ausreichende Bewegungsfreiheit für alle Nutzerschichten ermöglicht werden kann. Die Spannlänge zwischen den Handgelenken des kleinen Manns beträgt 1244 mm. Daraus wird ein Richtwert des maximalen Abstands vom SIP zur Fahrzeugseite von 622 mm abgeleitet.<sup>173</sup> Die Position des Fahrersitzes sollte sich idealerweise in diesem Bereich befinden, kann aber während der weiteren Konzeption geringfügig angepasst werden.

Diese Zielgröße lässt sich lediglich in **Konzept A** realisieren. In **Konzept B** wird diese Zielgröße aufgrund der mittigen Sitzposition vernachlässigt.

### **Vermeidung von Überschneidungen zwischen Fahrerarbeitsplatz und Crashstruktur**

Die Fahrzeugfront wird zur Erhöhung der Verkehrssicherheit mit einer Crashnose versehen, in welcher ausschließlich Material zur gezielten Energieaufnahme verbaut wird und daher dem nutzbaren Innenraum nicht zur Verfügung steht. Für die gebogene Crashnose wird ein Bereich in den vordersten 500 mm des Fahrzeugs reserviert. An der Fahrzeugspitze soll eine Tiefe von 350 mm erreicht werden, wodurch sich eine elliptische Form – angepasst an die Fahrzeugkontur – ergibt, welche in den **Konzepten A und B** gleichermaßen ausgelegt wird.

### **Ausreichend Platz in stehender Position**

Dem Fahrer sollte genügend Platz geboten werden, sodass er bequem auf dem Sitz Platz nehmen und aufstehen kann. Daher wird die Körpergröße des großen Menschen von 1905 mm herangezogen, welche die mindesteinzuhaltende Fahrzeughöhe im Sitzbereich darstellen soll. Es wird davon ausgegangen, dass der Fahrer seitlich zum Fahrersitz gelangt, weshalb der Wert auf Höhe des SIP erreicht werden soll.<sup>174</sup>

## **4.3.4 Anwendung der Bedingungen**

Die zuvor beschriebenen Bedingungen werden in die in Kapitel 4.2.2 ausgewählten Modelle mittels farbiger Linien übertragen. Tabelle 8 bzw. Tabelle 9 zeigt die Farbe der Linie, welche zur Darstellung der jeweiligen Bedingung verwendet wird. Jede Bedingung schränkt die Position des Fahrersitzes im Raum ein. Als grundsätzliche Voraussetzung und daher nicht eingezeichnet, wird eine Position möglichst nahe der Front angesehen. Ebenso festgelegt wird die Podesthöhe (Abstand zwischen Straßenebene und Boden) von 1250 mm, auf welcher der Sitz befestigt wird.

---

<sup>173</sup> vgl. DIN EN ISO 3411, 2007, S.6ff

<sup>174</sup> vgl. DIN EN ISO 3411, 2007, S.6



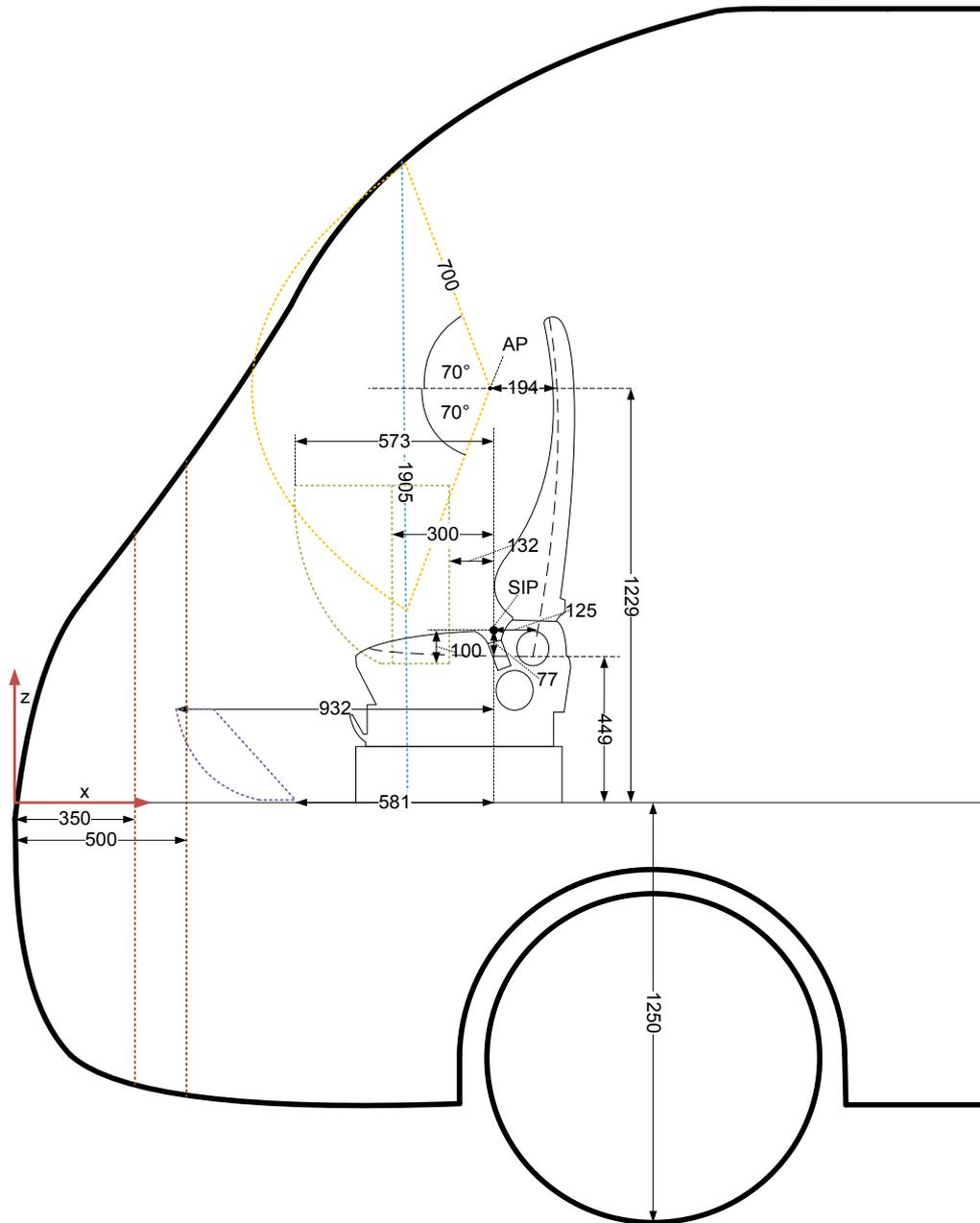


Abbildung 22: Festlegung der Sitzposition des Konzepts A - Seitenansicht

Ausreichend Platz für eine ergonomische Anordnung der Anzeigeelemente	● ● ● ● ● ● ● ●
Ausreichend Platz für eine ergonomische Anordnung der Stellteile	● ● ● ● ● ● ● ●
Ausreichend Platz im Fußraum	● ● ● ● ● ● ● ●
Vermeidung von Überschneidungen zwischen Fahrerarbeitsplatz und Crashstruktur	● ● ● ● ● ● ● ●
Ausreichend Platz in stehender Position	● ● ● ● ● ● ● ●

Tabelle 9: Zeichenerklärung Konzept A – Seitenansicht

Die Darstellung der Draufsicht des **Konzepts A** lässt erkennen, dass die Position des Sitzes in x-Achse durch die Bedingung 3 (Fußraum) und die Bedingung 5 (Crashstruktur) vorgegeben wird. Die äußere Kontur interferiert nicht mit den bevorzugten Bereichen für Anzeigeelemente und Stellteile. Der angestrebte Abstand zum Fenster kann eingehalten werden.

Die Seitenansicht zeigt ebenfalls eine Einschränkung der Sitzposition bedingt durch die Bedingungen 3 und 5. Der Bereich für Anzeigeelemente schneidet sich mit der Fahrzeugkontur, da jedoch in diesem Bereich keine Anzeigeelemente, sondern die Windschutzscheibe positioniert werden wird, ist dies zulässig. Die Fahrzeughöhe auf Höhe des Sitzindexpunkts beträgt etwa 2120 mm und übertrifft somit die Körpergröße des 95. Perzentils (1905 mm).

**Konzept B:**

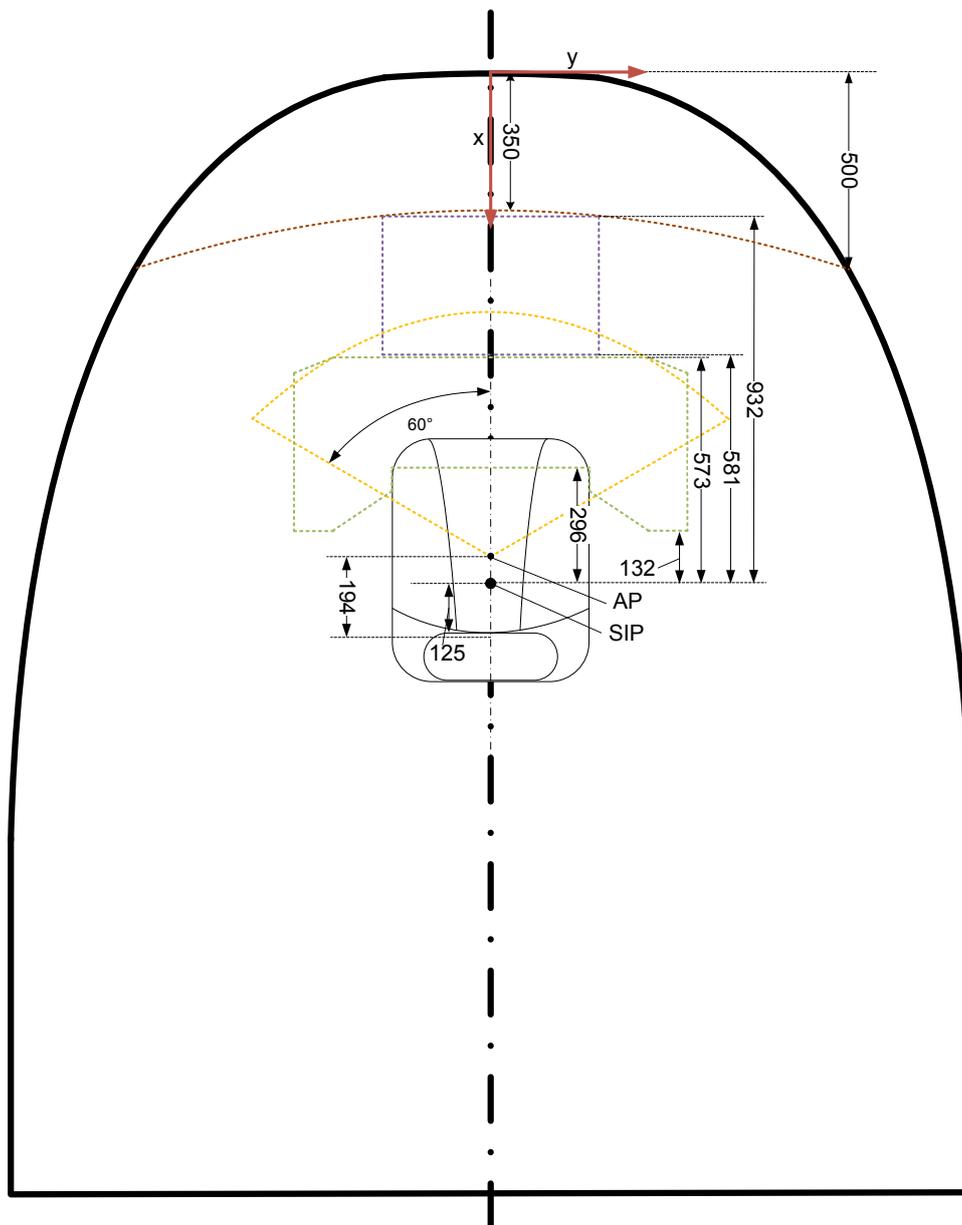


Abbildung 23: Festlegung der Sitzposition des Konzepts B - Draufsicht

Ausreichend Platz für eine ergonomische Anordnung der Anzeigeelemente	● ● ● ● ● ● ● ●
Ausreichend Platz für eine ergonomische Anordnung der Stellteile	● ● ● ● ● ● ● ●
Ausreichend Platz im Fußraum	● ● ● ● ● ● ● ●
Abstand zum Fenster	● ● ● ● ● ● ● ●
Vermeidung von Überschneidungen zwischen Fahrerarbeitsplatz und Crashstruktur	● ● ● ● ● ● ● ●

Tabelle 10: Zeichenerklärung Konzept B - Draufsicht



Die Draufsicht des **Konzept B** zeigt, dass die mittige Sitzposition eine Fahrersitzposition näher an der Fahrzeugfront zulässt. Wie in Lösungsweg 1 beschränken auch hier die Bedingungen 3 und 5 die Lage des Fahrersitzes in x-Richtung. In positive und negative y-Richtung wird der symmetrische Bereich für Anzeigeelemente und Stellteile nicht eingeschränkt, weshalb hier mehr Platz als in Lösungsweg 1 verfügbar ist.

In der Seitenansicht ist eine deutliche Überschneidung des Bereichs für Anzeigeelemente und der Kontur zu erkennen, diese Interferenz kann analog zu Lösungsweg 1 vernachlässigt werden. Die Innenraumhöhe übersteigt auf Höhe des SIP die geforderte Mindesthöhe.

## 4.4 Bedienelemente zur Fahrzeugführung

Die Steuerung von Fahrzeugen mittels konventionellen Bedienelementen wie dem Lenkrad (Quersteuerung) und den Pedalen (Längssteuerung) hat sich in der Vergangenheit bewährt. Aufgrund der Erhöhung des Automatisierungsgrades verändern sich die Anforderungen an die Elemente zur Fahrzeugsteuerung. Daher ist es denkbar, die Primäraufgabe in Zukunft mit alternativen Steuerelementen zu bewältigen.<sup>175</sup>

### 4.4.1 Analyse der Eigenschaften konventioneller Steuerelemente

Die Trennung von Längs- und Quersteuerung ist für den Fahrer von Vorteil. Änderungen der Längs- bzw. Querbewegung des Fahrzeugs können präzise parallel ausgeführt werden. Das Lenkrad besticht durch einen hohen Genauigkeitsgrad. Lkw verfügen über einen verhältnismäßig hohen Übersetzungsgrad, welcher exaktes Rangieren ermöglicht. Das Lenkrad kann mit einer oder zwei Händen betätigt werden.<sup>176</sup>

Das Lenkrad dominiert den Fahrerplatz. Es schränkt den Platz, welcher dem Fahrer zu Verfügung steht, ein. Außerdem verringert sich der Raum für sonstige Anzeige- bzw. Bedienelemente in Greifweite des Fahrers. Zudem verursachen Lenkräder wegen der exponierten Position ein erhöhtes Verletzungspotenzial bei Unfällen. Die Elemente zur Längssteuerung sind durch zwei Pedale in Beschleunigung und Verzögerung aufgeteilt. Da beide Pedale meist mit einem Fuß bedient werden, entsteht beim Einleiten eines unvorhergesehenen Bremsvorgangs ein Zeitverlust aufgrund des Pedalwechsels.<sup>177</sup>

<sup>175</sup> vgl. Pfeffer et al, 2013, S.477

<sup>176</sup> vgl. Winner, H; Heuss, O.: x-by-wire Betätigungselemente – Überblick und Ausblick (2005) [http://www.fzd.tu-darmstadt.de/media/fachgebiet\\_fzd/publikationen\\_3/2005/2005\\_winner\\_heuss\\_menschundfahrzeug.pdf](http://www.fzd.tu-darmstadt.de/media/fachgebiet_fzd/publikationen_3/2005/2005_winner_heuss_menschundfahrzeug.pdf) (Gelesen am: 12.02.2015)

<sup>177</sup> vgl. Rinspeed: Rinspeed denkt autonomes Fahren weiter: Nicht mal Fliegen ist schöner! (2014) <http://www.rinspeed.eu/aktuelles.php?aid=14> (Gelesen am: 12.02.2015)

#### 4.4.2 Anforderung an zukünftige Steuerelemente

Die heutige Hauptaufgabe des Lkw-Fahrers ist die Steuerung des Fahrzeugs. In Zukunft könnten Nutzfahrzeuge mit höherem Automatisierungsgrad bewegt werden, wodurch sich das Berufsbild des Lkw-Fahrers wandeln könnte. Die Aufgaben des Fahrers werden neben der Fahrzeugsteuerung auch Disponenten- und Organisationsaufgaben betreffen. Zur Durchführung dieser Aufgaben soll der Fahrer die Möglichkeit bekommen, den Fahrerarbeitsplatz in einen Büroarbeitsplatz umzuwandeln. Hierzu werden Steuerelemente verstaubt bzw. mit neuen Funktionen versehen. Dadurch soll dem Fahrer im stehenden bzw. automatisiert fahrenden Fahrzeug eine büroähnliche Arbeitsumgebung geschaffen werden.<sup>178</sup>

#### 4.4.3 Alternative Steuerkonzepte

Aufgrund der Nachteile, welche herkömmliche Steuerelemente (Lenkrad und Pedalerie) mit sich bringen, wird eine Benchmark-Analyse von alternativen Steuerkonzepten zur Quer- und/oder Längssteuerung betrachtet.

##### Sidestick

Der Sidestick ist ein mit einer Hand bedienbares Stellteil, mit welchem die Steuerung sowohl in Längs-, als auch in Querrichtung durchgeführt werden kann. Im Rahmen von Prototyp-Projekten wurden einige Sidestick-Steuerungen erprobt. Im Sidestick-Konzept 1 kann die Längsführung durch Kraftübertragung und die Querführung durch Veränderung des Stellwegs beeinflusst werden. Die Beschleunigung bzw. Verzögerung kann durch eine auf den Sidestick in x-Richtung ausgeübte Kraft ( $F$ ) reguliert werden. In neutraler Stellung ( $F=0$ ) hält das Fahrzeug die Geschwindigkeit. Durch Veränderung des Drehwinkels des Sticks um die x-Achse kann der Reifeneinschlag gesteuert werden. Der Sidestick lässt sich in einem Bereich von  $\pm 20^\circ$  kippen (vgl. Abbildung 25 li.).<sup>179</sup>

Im Sidestick-Konzept 2 kann die Längsführung ähnlich wie bei zweirädrigen Fahrzeugen durch einen Drehgriff gesteuert werden. In neutraler Stellung verharrt das Fahrzeug im Schleppbetrieb, durch Drehen des Griffs beschleunigt es. Die Verzögerung wird durch Heranziehen eines separaten Hebels mit den Fingern gesteuert. Die

---

<sup>178</sup> vgl. Rinspeed: Rinspeed denkt autonomes Fahren weiter: Nicht mal Fliegen ist schöner! (2014) <http://www.rinspeed.eu/aktuelles.php?aid=14> (Gelesen am: 12.02.2015)

<sup>179</sup> vgl. Stüvel, H.: Drücken statt Drehen (01.07.2001), [http://www.wissenschaft.de/archiv/-/journal\\_content/56/12054/1586226/Dr%C3%BCcken-statt-drehen/](http://www.wissenschaft.de/archiv/-/journal_content/56/12054/1586226/Dr%C3%BCcken-statt-drehen/) (Gelesen am: 19.02.2015)

Beeinflussung der Querführung erfolgt wie in Konzept 1 über Regulierung des Drehwinkels um die x-Achse (vgl. Abbildung 25 re.).<sup>180</sup>

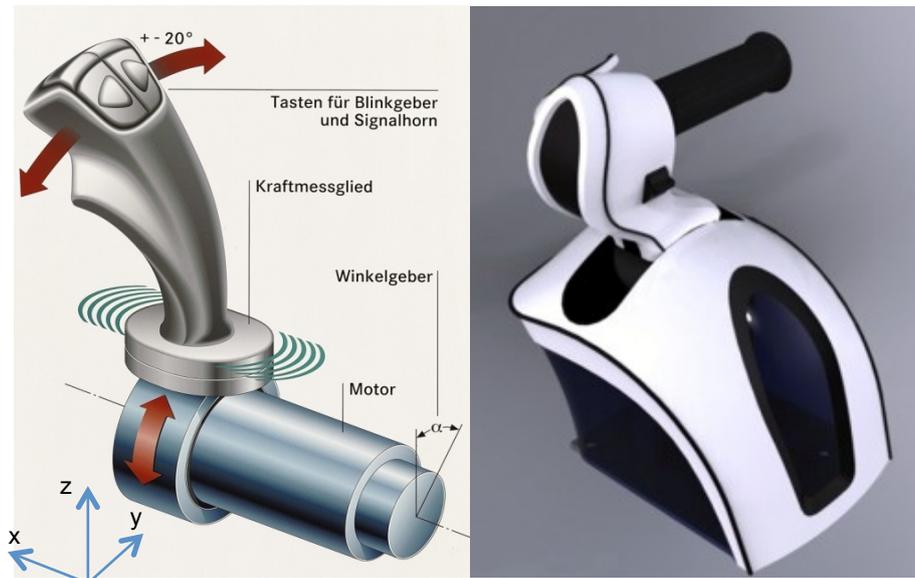


Abbildung 25: li: Sidestick-Konzept 1 (Daimler)<sup>181</sup> re: Sidestick-Konzept 2 (RUVID)<sup>182</sup>

## Lenkschieber

Der Lenkschieber ist ein Stellteil, welches in y-Richtung linear bewegt werden kann. In mittiger Position befinden sich die Räder in gerader Stellung. Durch Bewegung des Lenkschiebers kann der Einschlagwinkel der Räder direkt gesteuert werden.

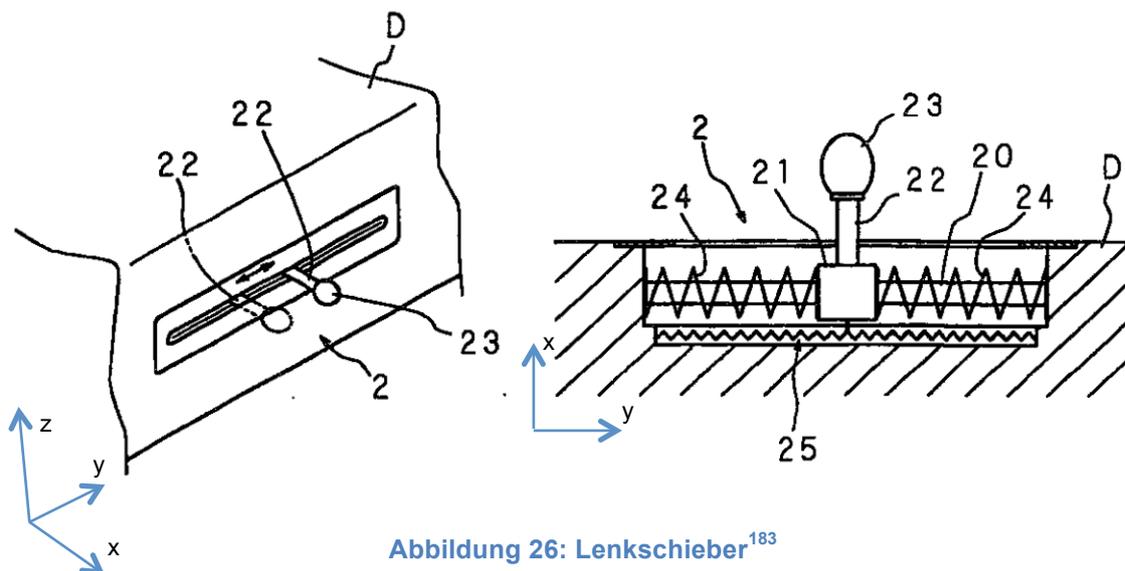


Abbildung 26: Lenkschieber<sup>183</sup>

<sup>180</sup> vgl. Asociación RUVID, Driving a vehicle with one hand (2011),

<http://www.sciencedaily.com/releases/2011/06/110617080818.htm> (Gelesen am 17.02.2015)

<sup>181</sup> [http://media.daimler.com/Projects/c2c/channel/images/891418\\_1671164\\_288\\_399\\_A99F5991.jpg](http://media.daimler.com/Projects/c2c/channel/images/891418_1671164_288_399_A99F5991.jpg) (Abgerufen am: 19.02.2015)

<sup>182</sup> [http://images.sciencedaily.com/2011/06/110617080818\\_1\\_900x600.jpg](http://images.sciencedaily.com/2011/06/110617080818_1_900x600.jpg)

(Abgerufen am: 17.02.2015)

<sup>183</sup> Msayasu, H., Jtekt Corp., Lenkung für ein Fahrzeug, Patent Nr. DE 603 06 002 T2 (04.01.2007)

## Verstaubare Lenkräder

Verstaubare Lenkräder befinden sich lediglich während der manuellen Fahrzeugführung an der konventionellen Lenkradposition. Während automatisierter Fahrt bzw. im stehenden Fahrzeug wird das Lenkrad an einer platzgünstigen Position verstaub. Dadurch soll dem Fahrer genügend Platz für Tätigkeiten abseits der Fahrzeugführung gegeben werden.<sup>184</sup>

Eine Lösung zur Verstaubung des Steuerelements zeigt das Konzept des Schmetterlingslenkrades. Dieses ist im ausgefahrenen Zustand auf zwei Griffe in 3- und 9-Uhr Position reduziert, wodurch eine ähnliche Bedienfreundlichkeit wie bei einem herkömmlichen Lenkrad ermöglicht wird. Zum Verstauben werden die Griffe – wie die Flügel eines Schmetterlings – gefaltet und das Lenkrad an das Armaturenbrett herangezogen.<sup>185</sup>



Abbildung 27: Schmetterlingslenkrad Mercedes "G-Code" Konzept<sup>186</sup>

Das Konzept des Schweizer Innovationsunternehmens Rinspeed beschreibt, wie der Lebensraum in einem autonom fahrenden Fahrzeug neu definiert werden könnte. Im Rahmen dieses Konzepts wurde ein Schienensystem entwickelt, auf dem die Lenkeinheit im Fahrzeug verschoben werden kann. Während manueller Fahrt befinden sich Fahrer und Lenkeinheit in einer wie heute üblichen Fahrposition. Bei einem Wechsel des Fahrmodus zu vollautomatisierter Fahrt, kann die Lenkeinheit verschoben und den Insassen Platz für anderwärtige Beschäftigung und zur Steigerung des Komforts gegeben werden.<sup>187</sup>

<sup>184</sup> vgl. Rinspeed: Rinspeed denkt autonomes Fahren weiter: Nicht mal Fliegen ist schöner! (2014) <http://www.rinspeed.eu/aktuelles.php?aid=14> (Gelesen am: 12.02.2015)

<sup>185</sup> vgl. Daimler: Mercedes-Benz Vision G-Code (2014): <http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-658892-49-1757916-1-0-1-0-0-0-0-0-1-0-0-0-0-0.html> (Gelesen am 12.02.2014)

<sup>186</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=HOIUvGofld8#t=84> (Abgerufen am: 16.02.2015)

<sup>187</sup> vgl. Rinspeed: Rinspeed denkt autonomes Fahren weiter: Nicht mal Fliegen ist schöner! (2014) <http://www.rinspeed.eu/aktuelles.php?aid=14> (Gelesen am: 12.02.2015)

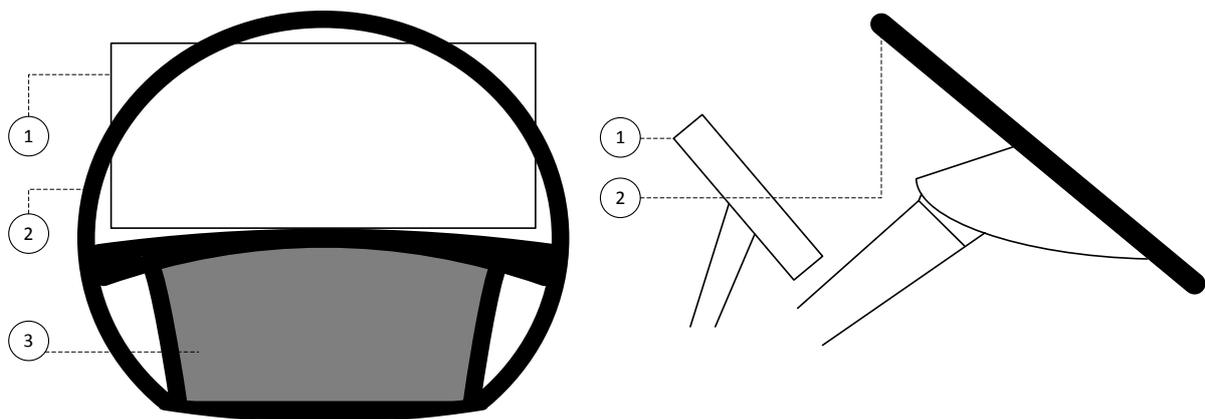


Abbildung 28: Konzept Rinspeed<sup>188</sup>

#### 4.4.4 Entwurf eines Steuerkonzepts

Um den mannigfaltigen Anforderungen an ein zukünftiges Steuerungselement gerecht zu werden, wird ein eigenes Steuerkonzept entworfen. Ziel dieses Konzepts ist die Kombination von Fahrer- und Arbeitsplatz.

Während manueller Fahrt befindet sich der Fahrerarbeitsplatz in „Fahrstellung“ (vgl. Abbildung 29). Zur Querführung wird aufgrund der präzisen Steuerung und historisch bedingten intuitiven Bedienung ein konventionelles Lenkrad ausgewählt. Dieses befindet sich ähnlich wie in heutigen Lkw in ergonomisch günstiger Position. Das Lenkrad verfügt über einen Touchscreen, welcher in die untere Lenkradhälfte eingebettet ist. Mittels diesem kann der Fahrer durch Berühren von Schaltflächen oder Multi-Touch-Gesten mit dem System interagieren.

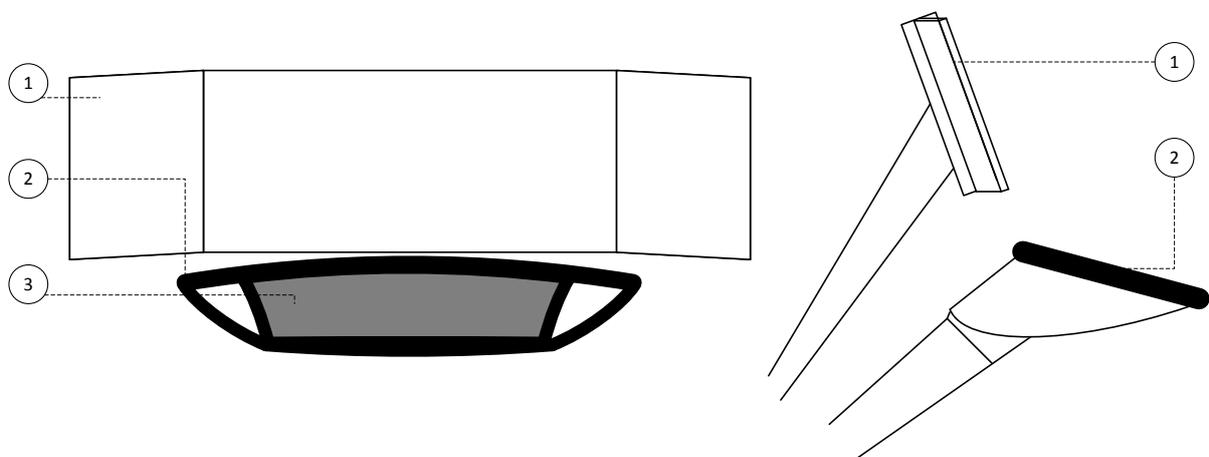


- 1 Kombiinstrument
- 2 Lenkrad
- 3 Touchscreen

Abbildung 29: Fahrstellung

<sup>188</sup> <http://www.autowereld.be/wp-content/uploads/2013/12/Rinspeed2.jpg> (Abgerufen am: 16.02.2015)

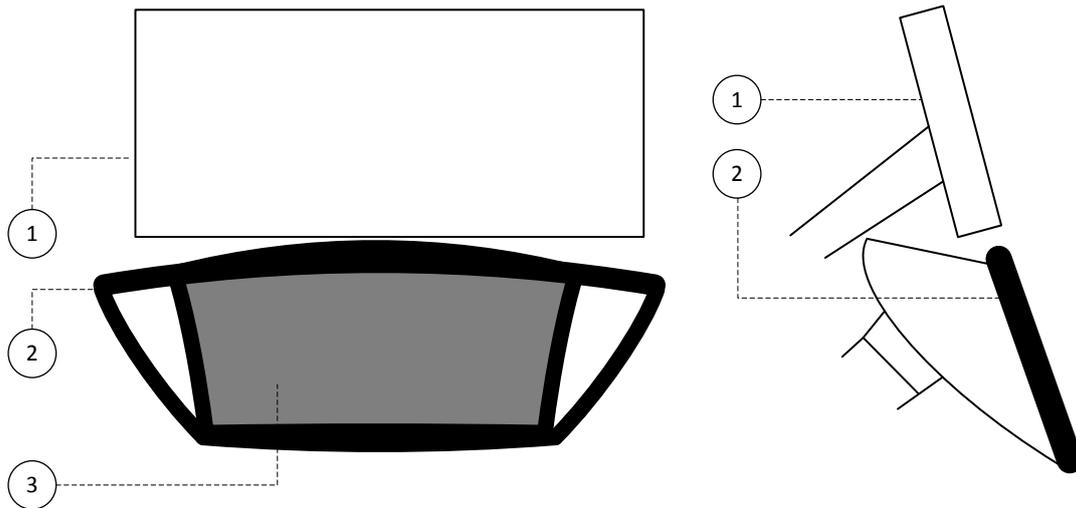
Im stehenden Fahrzeug oder während hochautomatisierter Fahrt kann der Fahrerplatz zum Arbeitsplatz transformiert werden. In diesem Modus – genannt „Arbeitsstellung“ (vgl. Abbildung 30) – fungiert das Lenkrad als Schnittstelle zwischen Fahrer und Arbeitsplatz. Der nicht mehr benötigte Rundgriff des Lenkrads wird durch Einziehen von Teleskoprohrelementen bis auf etwa ein Drittel der ursprünglichen Größe reduziert. Der verbleibende Griff und der Touchscreen werden in eine für Texteingaben ergonomisch günstige Position rotatorisch und translatorisch verschoben. Auf diesem kann eine Tastatur angezeigt werden und somit für Texteingaben genutzt werden. Darüber hinaus werden Fahrersitz und Anzeigeelemente in eine zum Arbeiten komfortable Position bewegt. Eventuell kann das Fahrerhaus den Umgebungsfaktoren (Lichtverhältnisse, Umgebungsgeräusche etc.) angepasst werden.



- 1 Kombiinstrument
- 2 Lenkrad
- 3 Touchscreen

**Abbildung 30: Arbeitsstellung**

Das Konzept zur Kombination von Fahrer- und Arbeitsplatz, wird durch eine dritte Position komplementiert, die „Komfortposition“ (vgl. Abbildung 31). Wie die Arbeitsposition kann sie nur bei hochautomatisierter Fahrt oder im stehenden Fahrzeug aktiviert werden und soll dem Fahrer größtmöglichen Platz am Fahrerarbeitsplatz bieten. Hierfür werden Anzeigeelemente verkleinert und das Lenkrad so weit wie möglich an das Armaturenbrett herangezogen, sodass eine stufenlose Ebene entsteht. Der Fahrersitz bewegt sich in eine für den Fahrer bequeme Position.



- 1 Kombiinstrument
- 2 Lenkrad
- 3 Touchscreen

Abbildung 31: Komfortstellung

Mittels eines weiteren Bedienelements zur Fahrzeugsteuerung soll der Fahrer während automatisierter Fahrt die Fahrtaktik übersteuern können. *Maneuver Based Steering* (vgl. Kapitel 3.4.8) ist eine geeignete Methode zur Steuerung der taktischen Ebene. Als Interaktionselement eignet sich ein Touch Pad, welches idealerweise in ergonomischer Position im Bereich der rechten Hand positioniert wird und ein Anzeigeelement, welches Parameter und Manöver anzeigt. Neben der Steuerung von Manövern kann das Touch Pad zur Bedienung weiterer Funktionen eingesetzt werden.

## 4.5 Arbeitsplatzgestaltung

Die ergonomische Gestaltung des Fahrerplatzes ist ein wesentlicher Schritt, um eine größtmögliche Leistungsentfaltung bei gleichzeitiger niedriger physischer und psychischer Beanspruchung sicherzustellen. Hierfür ist es notwendig Abmessungen, Abstände, Neigungswinkel etc. der Elemente des Fahrerplatzes auf die potentielle Nutzerschicht abzustimmen. Die unterschiedlichen Ansprüche an den Fahrerplatz sowie die breite Nutzerschicht macht die Arbeitsplatzgestaltung zu keiner einfach zu lösenden Aufgabe.<sup>189</sup>

Im Nutzfahrzeug kann als Arbeitsplatz jener Raum verstanden werden, indem sich sämtliche Bedien- und Anzeigeelemente befinden, welche zur Erledigung der primären, sekundären und tertiären Fahraufgabe notwendig sind. Grundsätzlich wird versucht, einen möglichst großen Raum für Anzeige- und Bedienelemente zu schaffen. Allerdings muss bei der Festlegung dieses Bereichs auf die ergonomische An-

<sup>189</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S.502

ordnung der Interaktionselemente, die Anthropometrie der Nutzerschicht und auf ausreichende Sichtbedingungen geachtet werden. Hierfür werden Normen und Konstruktionsrichtlinien aus verwandten Themengebieten herangezogen und in Bezug auf die Nutzfahrzeugtechnik interpretiert und angewendet. Zunächst werden die zu erreichenden Zielgrößen des Interaktionsraums definiert.

### 4.5.1 Zielgrößen der Arbeitsplatzgestaltung

Der Interaktionsraum im Nutzfahrzeug wird durch folgende Parameter beschränkt:

#### Sicht aus dem Fahrzeug

Um der ständigen Forderung nach höherer Verkehrssicherheit nachzukommen (vgl. Kapitel 2.4), soll das Sichtfeld des Fahrers auf die Straße großzügig gestaltet werden. Hierfür werden Sicherheitsbestimmungen, welche bei der Konstruktion von öffentlichen Transportmitteln berücksichtigt werden, und Konstruktionsrichtlinien herangezogen.

Für die Bestimmung der unteren Grenze des vertikalen Sichtbereichs wird als Referenz der Schulanfänger als kleinster und schwächster Verkehrsteilnehmer berücksichtigt. Das 50. Perzentil eines 6-jährigen Kindes misst eine Körpergröße von 1200 mm und soll für den Fahrer 1000 mm vor dem Fahrzeug sichtbar sein.<sup>190</sup> Das Augenpaar eines mittelgroßen Menschen befindet sich etwa 1229 mm über dem Boden.<sup>191</sup> Bei einer Podesthöhe von 1250 mm ergibt sich ein Sichtwinkel von etwa 26° unterhalb der horizontalen Sichtebeine (vgl. Abbildung 32). In idealer Ausführung sollten weder das Armaturenbrett, noch Steuerelemente diese Sichtlinie verdecken.

In Kreuzungssituationen muss dem Fahrer ein ausreichender Blick auf Verkehrsanlagen möglich sein. Die empfohlene Position von Ampelanlagen auf Kreuzungen befindet sich 3500 mm vor der Haltelinie und 4500 mm über der Fahrbahn.<sup>192</sup> Bei einer Podesthöhe von 1250 mm ergibt sich somit eine benötigte Sichtlinie, welche einen Winkel von etwa 30° in Bezug auf die horizontale Sichtebeine aufspannt. Diese sollte nicht verdeckt werden und bestimmt somit die obere Grenze des Sichtfelds (vgl. Abbildung 32).

---

<sup>190</sup> vgl. Börner, C.J.; Hoormann, H.; Rizor, H.: Driver's Workplace in Motor Coaches, Recommendations for ergonomic design (2006), S. 29  
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2006/wp29grsg/ECE-TRANS-WP29-GRSG-91-inf03e.pdf> (Gelesen am: 27.02.2015)

<sup>191</sup> vgl. DIN EN ISO 3411, 2007, S. 6f

<sup>192</sup> vgl. Börner, C.J.; Hoormann, H.; Rizor, H.: Driver's Workplace in Motor Coaches, Recommendations for ergonomic design (2006),  
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2006/wp29grsg/ECE-TRANS-WP29-GRSG-91->  
(Gelesen am: 26.02.2015)



## Fußraum

Die benötigte Aussparung für Beine orientiert sich an der Kniebreite des 95-Perzentil-Mannes. Dieser benötigt bei locker auseinanderfallenden Oberschenkeln eine mindestens 500 mm breite Aussparung, wobei das als Mindestwert anzusehen ist. Um den Zugang zu erleichtern, kann ein höherer Wert gewählt werden.<sup>194</sup>

## Abstände am Arbeitsplatz

Den Menschen in Relation zum Arbeitsplatz zu bringen ist aufgrund der vielen Variablen eine schwierige Aufgabe. Arbeitsplätze unterscheiden sich grundsätzlich stark voneinander, sodass Konstruktionsrichtlinien mit Vorbehalt zu verwenden sind. Zudem kann in Kraftfahrzeugen die Sitzposition vielfältig verändert werden.<sup>195</sup>

An Konsolen- und Steuerarbeitsplätzen kann bei einer entspannten Sitzhaltung erwartet werden, dass sich die Lage der Schulter in einer vertikalen Sitzebene mindestens 100 mm hinter dem Arbeitsplatz befindet.<sup>196</sup> Allerdings kann ebenfalls festgestellt werden, dass sich Stellteile in Maschinen mindestens 290 mm vor dem Sitzindexpunkt befinden sollten, um eine bequeme Bedienung zu garantieren.<sup>197</sup>

Für die erste Auslegung wird aufgrund der ähnlichen Körperstellung in Maschinenarbeitsplätzen der Wert für Stellteile in Maschinen übernommen.

Der Abstand von Anzeigeelementen hängt von der Art der Interaktion ab. Während berührungsempfindliche Anzeigen (Touchscreens) sich in Greifweite befinden sollten, gelten für konventionelle Anzeigen Abstandsempfehlungen zum Augpunkt von sowohl 500 mm<sup>198</sup> als auch 400 mm - 700 mm<sup>199</sup>. Allerdings werden moderne Anzeigeelemente zunehmend mit größerem Abstand verbaut. Ein in diesem Zusammenhang stehendes Kriterium ist die Alterssichtigkeit (Presbyopie). Darunter versteht man die Verringerung der Fähigkeit der Akkommodation des Auges, wodurch Objekte in geringer Entfernung nur unscharf erkannt werden können.<sup>200</sup> Dieser Effekt verstärkt sich mit zunehmendem Alter, weshalb er besonders bei der Auslegung von Anzeigen für ältere Nutzerschichten zu berücksichtigen ist.<sup>201</sup> Da die demographische Alterung einen zu berücksichtigenden Mega-Trend im Nutzfahrzeugsektor darstellt wird ein Abstand von 1000 mm realisiert.

---

<sup>194</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S.511

<sup>195</sup> vgl. ebenda, S.512

<sup>196</sup> vgl. ebenda, S.512

<sup>197</sup> vgl. DIN EN ISO 6682, 2009, S.12

<sup>198</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S.513

<sup>199</sup> vgl. DIN EN ISO 894-4, 2010, S.11

<sup>200</sup> vgl. Baumeister, 2008, S.597

<sup>201</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S. 30f

## Neigungen am Arbeitsplatz

Die Auslegung des Arbeitsplatzes wird von den verwendeten Interaktionselementen beeinflusst. Der obere Teil der Konsole (Armatur) eines Nutzfahrzeugs ist mit Anzeigen und Bedienelementen ausgestattet. Die unterschiedliche Benutzung dieser Interaktionselemente verlangt, diese in verschiedenen Bereichen der Armatur unterzubringen. Für Stellteile empfiehlt es sich, Drehknöpfe, Taster und Steuerhebel in einem körpernahen Bereich mit einer Neigung von maximal  $30^\circ$  zur Horizontalen anzuordnen. Die Hand muss hierfür nur geringfügig angehoben werden und der Unterarm kann abgestützt werden, wodurch eine hohe Bewegungsgenauigkeit erzielt werden kann.<sup>202</sup> In weiterer Literatur lassen sich im körpernahen Bereich Neigungen zwischen  $0^\circ$  und  $15^\circ$  finden. Dieser Bereich wird für die Ellenbogen-Griffachsenlänge (Länge zwischen dem Ellenbogen und der Faust) bei bequemer Sitzhaltung empfohlen, welche beim 95-Perzentil-Mann 389 mm beträgt. Über die Ellenbogen-Griffachsenlänge hinaus können Neigungsempfehlungen von  $20^\circ$  bis  $50^\circ$  gefunden werden.<sup>203</sup>

Damit Anzeigeelemente gut abgelesen werden können, sollte die Fixationslinie senkrecht auf die Betrachtungsebene stehen, wodurch die Parallaxe so gering wie möglich gehalten werden kann. Eine entspannte Kopfhaltung kann erzielt werden, wenn die Anzeigefläche einen Neigungswinkel von etwa  $55^\circ$  zur Horizontalen aufweist.<sup>204</sup>

Das Lenkrad wird anhand von Empfehlungen zur Lenkradpositionierung in Nutzfahrzeugen mit  $26,5^\circ$  im Bezug zur horizontalen Ebene geneigt.<sup>205</sup> Dieses kann jedoch ähnlich wie in heutigen Lkw individuell angepasst werden. Während der Arbeitsstellung bewegt sich das reduzierte Lenkrad in die Arbeitsposition und verringert die Neigung auf  $10^\circ$  in Bezug auf die Horizontale (vgl. Abbildung 34).

### 4.5.2 Anwenden der Gestaltungsempfehlungen

Nachdem wichtige Einflüsse auf die Arbeitsplatzgestaltung im Nutzfahrzeug diskutiert wurden, wird versucht diese schematisch umzusetzen. Abbildung 33 zeigt eine mögliche Umsetzung der Fahrstellung. Das Lenkrad ist mit einem Winkel von  $26,5^\circ$  geneigt. Der mit  $10^\circ$  geneigte Bereich links und rechts des Lenkrads eignet sich zur Positionierung von Bedienelementen. Anzeigeelemente sind für eine bequeme Kopfhaltung mit etwa  $55^\circ$  geneigt und stehen vertikal auf die Fixationslinie.

---

<sup>202</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S.512

<sup>203</sup> vgl. DIN EN ISO 894-4, 2010, S.39

<sup>204</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S.513

<sup>205</sup> vgl. VDV 234, 2000, S.37

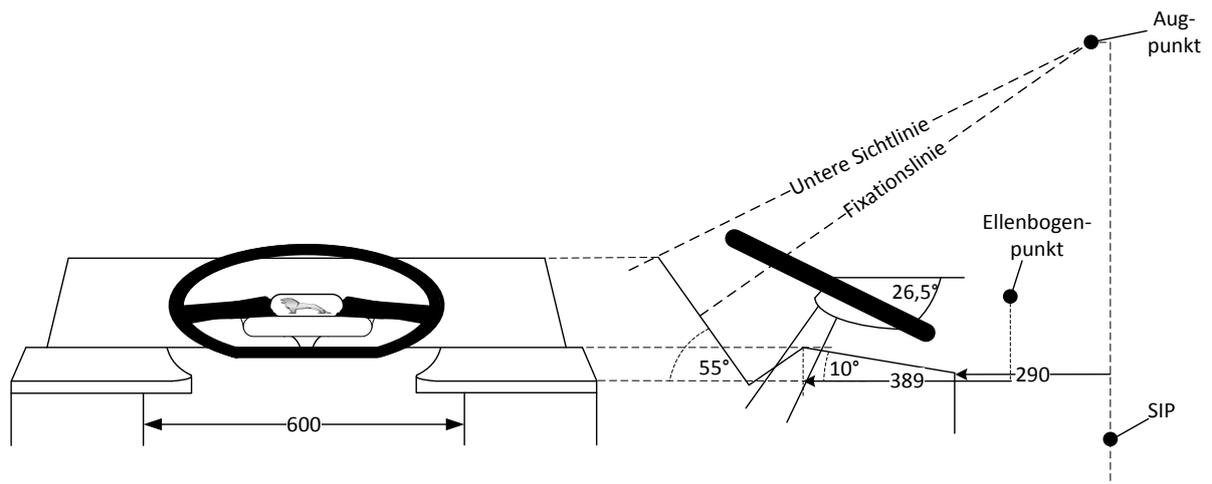


Abbildung 33: Mögliche Umsetzung der Fahrstellung

Abbildung 34 zeigt eine mögliche Umsetzung der Arbeitsstellung. Durch das Einziehen der Teleskoprohrelemente wird das Lenkrad auf etwa ein Drittel der ursprünglichen Größe reduziert. Darüber hinaus wird es translatorisch und rotatorisch in eine für Texteingaben ergonomische Neigung von etwa  $10^\circ$  verschoben. Zudem verbessert sich die Sicht auf die Anzeigeelemente.

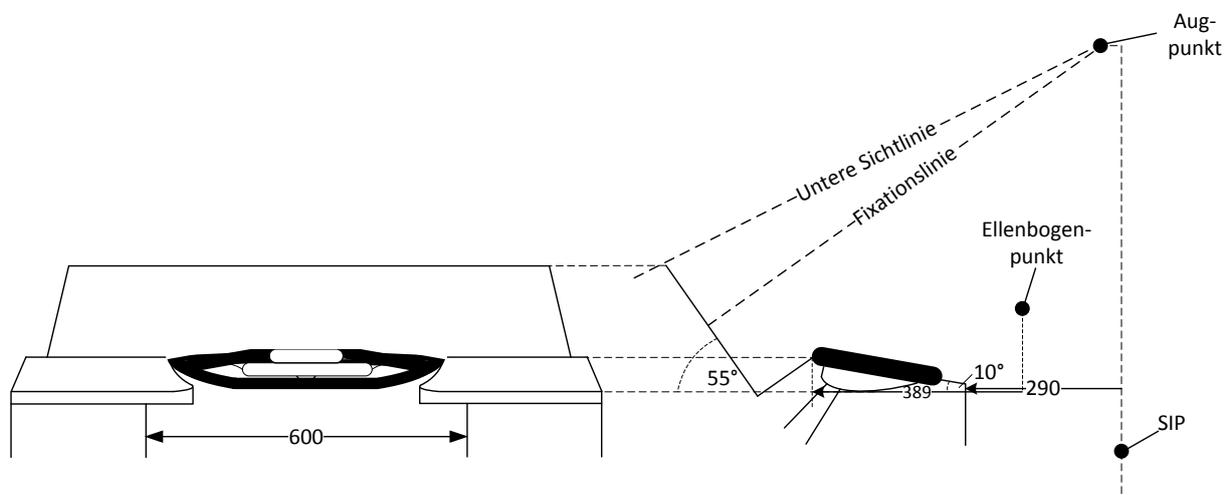


Abbildung 34: Mögliche Umsetzung der Arbeitsstellung

## 4.6 Interaktionskonzept

Bei der Entwicklung eines Interaktionskonzepts wird aufbauend auf den in Kapitel 3.3 erläuterten Grundlagen der Fahrzeuginteraktion ein passendes Konzept gefunden. Hierfür bedarf es zunächst einer Analyse der Eignung von Interaktionskonzepten in Nutzfahrzeugen. Anschließend wird ein passendes Interaktionskonzept beschrieben.

### 4.6.1 Kompatibilität von Interaktionskonzepten im Nutzfahrzeug

Zur Entwicklung eines Interaktionskonzepts werden zunächst die Umgebungszustände in Nutzfahrzeugen analysiert. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Analyse, werden Interaktionskonzepte charakterisiert und die am besten geeignete Kombination von Interaktionselementen ausgewählt.

#### Analyse der Umgebungszustände im Nutzfahrzeug

Lkw sind gewöhnlich einer intensiven Benutzung ausgesetzt. In der EU ist beispielsweise eine Wochenlenkzeit von bis zu 56 Stunden gestattet (vgl. Kapitel 3.2.2). Da aufgrund des beschränkten Raums die Bewegungsfreiheit des Fahrers im Fahrerhaus eingeschränkt ist, hat die **ergonomische Auslegung** einen hohen Stellenwert. Dadurch kann die Arbeitsbelastung des Fahrers reduziert werden, was positive Begleiterscheinungen bezüglich Verkehrssicherheit mit sich bringen kann. Für eine ergonomische Auslegung des Fahrerhauses sollten Anzeigeelemente und Stellteile sofern möglich in den jeweiligen primären Bereichen positioniert werden. Der Bereich für primäre Anzeigen befindet sich vertikal zwischen  $0^\circ$  und  $-30^\circ$  bezüglich der Sichtlinie, der Bereich für primäre Stellteile vertikal zwischen  $-30^\circ$  und  $-70^\circ$  bezüglich der Sichtlinie<sup>206</sup>. Um den Fahrer nur geringfügig von der Fahraufgabe abzulenken, werden Anzeigeelemente bevorzugt im oberen Bereich der Mittelkonsole platziert<sup>207</sup>.

Fahrerhäuser moderner Lkw verfügen über ein Luftfedersystem, welches im Fahrwerk auftretende **Schwingungen** während des Fahrbetriebs dämpft und den Fahrer vor Vibrationen schützt. Außerdem sind Fahrersitze in modernen Nutzfahrzeugen als Schwingsitze ausgeführt, welche über ein zusätzliches Federsystem verfügen. Die Federsysteme bewirken eine Erhöhung der Sicherheit und des Komforts, initiieren während der Fahrt jedoch gleichzeitig Schwingungen mit niedriger Frequenz und hoher Amplitude, denen der Fahrer ausgesetzt wird. Diese Schwingungen erschweren exakte Interaktionsbewegungen zur Betätigung von Bedienelementen. Um trotz dieser äußeren Einflüsse eine einwandfreie Bedienung zu gewährleisten, ist es sinnvoll, dem Fahrer an der Armatur Fixationspunkte zu geben, an denen durch Fixieren der Extremitäten Schwingbewegungen kompensiert werden können.

Die Nutzergruppe der Lkw-Fahrer in Europa verändert sich im Laufe der nächsten Jahre kontinuierlich. Ein Grund dafür ist der **demographische Wandel**, welcher zu einem Anstieg des Durchschnittsalters der Nutzergruppen führen wird (vgl. Kapitel 2.1). Eine mit der Steigerung des Durchschnittsalters einhergehende Begleiterscheinung ist die Alterssichtigkeit (Presbyopie). Dieses Phänomen beschreibt die Verminderung der Fähigkeit des Auges, Objekte in geringer Entfernung gut sehen zu kön-

---

<sup>206</sup> vgl. DIN EN ISO 894-4, 2010, S.40

<sup>207</sup> vgl. Abel et al., 2013, S.918

nen. Mit steigendem Lebensalter nimmt die Alterssichtigkeit zu und sollte daher während der Positionsbestimmung von zentralen Anzeigeelementen berücksichtigt werden.<sup>208</sup>

Nutzfahrzeuge sind für den Einsatz unter schmutzigen Umweltbedingungen ausgelegt. Um eine einwandfreie Benutzung der Benutzerschnittstelle gewährleisten zu können, sollten Interaktionselemente über eine ausreichende Robustheit bezüglich **Verschmutzung** verfügen.

### **Bedienung mittels zentralem Stellteil**

Ein zentrales Stellteil erlaubt dem Nutzer den Weg zur Betätigungsoberfläche auszuführen und die Extremität zu fixieren ohne die Stellteilstfunktion zu aktivieren. Bei Stellteilen in der unteren Mittelkonsole ist eine ergonomische Nutzung durch Abstützen der Hand bzw. des Arms möglich. Dies verringert zusätzlich den Einfluss der Schwingbewegungen im Fahrerhaus. Die physische Ausführung des Stellteils und dessen Haptik vermittelt dem Nutzer ein klares Feedback bei der Betätigung. Dadurch ist die Bedienung ohne Sichtkontakt möglich.

Stellteile sind in ihren Bewegungen begrenzt. Es sind lediglich vorgegebene translatorische bzw. rotatorische Bewegungen möglich. Meist sind daher langwierige Auswahlverfahren in der Menu-Hierarchie notwendig, um die gewünschte Funktion auszuführen. Dies kann besonders bei Texten und Nummern zu zeitintensiven Eingaben führen, welche den Fahrer von der Fahraufgabe ablenken könnten. Aufgrund der begrenzten Bewegungsmöglichkeit ist ein speziell an das Stellteil angepasster Menüaufbau notwendig, welcher nicht immer intuitiv aufgefasst wird.

### **Bedienung mittels Touchscreen**

Den Touchscreen zeichnet besonders eine intuitive Bedienbarkeit aus. Schaltflächen können in beliebiger Reihenfolge betätigt werden, wodurch Texteingaben rasch durchgeführt werden können. Multi-Touch-Gesten erlauben eine schnelle Navigation durch einzelne Menüpunkte (z.B. durch „Wisch“-Gesten) und ermöglichen, die Darstellung von graphischen Inhalten (z.B. Navigationskarten) anzupassen.

Im Umfeld eines Lkw birgt der Touchscreen jedoch einige Nachteile. Anzeige und Bedienfeld sind bei einem Touchdisplay deckungsgleich, in einer ergonomischen Auslegung überdecken sich jedoch die primären Bereiche für Anzeigen bzw. Stellteilen (bei einem Touchdisplay gleichzusetzen mit Bedienfeld) nicht. Für eine bequeme Bedienung des Touchscreens ist dieser im Bequemlichkeitsbereich (max. 573 mm gemessen von SIP bei aufrechter Körperhaltung) zu platzieren.<sup>209</sup> Innerhalb dieser

---

<sup>208</sup> vgl. Schmidtke, 1993, S.31

<sup>209</sup> vgl. DIN EN ISO 6682, 2009, S.9ff

Bereiche hat die Alterssichtigkeit einen großen Einfluss auf die Lesbarkeit der angezeigten Inhalte. Des Weiteren erschweren die im Nutzfahrzeug auftretenden Schwingbewegungen die einwandfreie Benutzung eines Touchdisplays, wodurch Fehlbedienungen verursacht werden können. Eine Fixierung der Extremität, womit der Einfluss von Schwingungen reduziert werden könnte, ist nur bedingt (z.B. am Rahmen) möglich. Die Oberfläche vermittelt dem Nutzer kein und nur künstlich erzeugtes haptisches Feedback über die korrekte Ausführung der Funktion, weshalb für den Zeitraum der Ansteuerung eine Hand-Auge-Koordination notwendig ist und das Verkehrsgeschehen vorübergehend unbeobachtet bleibt.

### **Bedienung mittels Touchpad**

Das Touchpad vereint einige der positiven Eigenschaften des zentralen Stellteils und des Touchscreens. Wie bei der Bedienung mittels zentralen Stellteils ist eine Trennung von Anzeige und Bedienung realisierbar. Das Touchpad kann dabei in einer zur Benutzung ergonomischen Position im unteren Bereich der Mittelkonsole positioniert werden. Die Möglichkeit beliebiger Fingerbewegungen bzw. -gesten lässt eine intuitive Bedienung zu. Die Vielzahl an Fingerbewegungen ermöglichen zudem größere Freiheiten in der Menügestaltung des Infotainmentsystems. Text- und Nummerneingaben können mit dem Touchpad durchgeführt werden, indem das einzugebende Symbol mit dem Finger nachgezeichnet wird. Eine künstlich haptische Rückmeldung ermöglicht dem Nutzer eine „blinde“ Bedienung des Infotainmentsystems. Eine Probandenstudie, in der ein Prototyp eines Touchpads mit haptischer Rückmeldung erprobt wurde, ergab einen signifikant positiven Einfluss auf die Fahrerablenkung und die Effizienz bei der Bedienung des Infotainmentsystems im Fahrzeug.<sup>210</sup>

Die hohe Sensibilität der Oberfläche des Touchpads könnte aufgrund der Position im unteren Bereich der Mittelkonsole bei Ablagebewegungen des Arms zu Fehleingaben führen. Daher ist sowohl eine Anpassung der Sensibilität, als auch eine Erkennung von Fehleingaben sinnvoll.

### **4.6.2 Auswahl eines Interaktionskonzepts**

Zur Auswahl eines geeigneten Interaktionskonzepts wird zwischen dem Zustand des gesteuerten Fahrzeugs und des stehenden bzw. automatisiert fahrenden Fahrzeugs unterschieden. Anhand der Benchmark-Analyse und der Eignungsanalyse für Nutzfahrzeuge wird versucht für die beiden Konzepte A und B ein bestgeeignetes Interaktionskonzept zu entwickeln.

---

<sup>210</sup> vgl. Brandenburg et al., 2013, S.9ff

## **Konzept A**

Der Interaktionsraum verfügt über einen Bereich für Anzeigeelemente, welcher sich möglichst knapp unter dem freizuhaltendem Sichtbereich befindet. In diesem Bereich wird zentral ein 15,4-Zoll Bildschirm im Format 16:10 und rechts ein 11-Zoll Bildschirm im Format 4:5 platziert, wodurch die Anzeige von zwei 16:10 Anzeigen möglich wird. Zudem befindet sich unterhalb des zentralen Bildschirms ein Touchscreen (330 mm x 30 mm), das sogenannte Launchpad. In Arbeitsstellung ermöglicht das Launchpad das Öffnen von Programmen durch Berühren der Icons. Das Computersystem kann mit Programmen des Fahrzeugherstellers oder Fremdfirmen erweitert werden.

Das Lenkrad wird ergonomisch positioniert und lässt eine gute Sicht auf die Anzeige zu. Auf der rechten Seite der Armatur befindet sich eine exponierte Bedieninsel, welche eine ergonomische Bedienung von Stellteilen ermöglicht. Für einen besseren Zugang zum Fahrersitz kann die Bedieninsel in die Armatur versenkt werden. Die Bedieninsel ist sowohl mit einem Dreh-Drück-Steller, als auch mit einem Touchpad ausgestattet, welche in Kombination als zentrale Bedienschnittstelle fungieren. Darüber hinaus sind auf der Bedieninsel Taster für wichtige Funktionen, wie Start/Stop Motor, Fahrzeugautomatisierungsgrad, Verriegelung, Warnblinkanlage etc. angebracht. Eine genau Festlegung der Anzahl und Funktionalität der Taster wird in dieser Arbeit nicht weiter behandelt. Ins Lenkrad ist ein Touchscreen eingebettet, welcher Texteingaben ermöglicht, wenn sich der Fahrerarbeitsplatz in Arbeitsstellung befindet. In Fahrstellung kann der Touchscreen für Shortcuts benutzt werden, wie es von Multifunktionslenkrädern bekannt ist.

## **Konzept B**

Der Interaktionsraum dieses Konzepts unterscheidet sich zu dem des Konzept A lediglich bezüglich der Anzeigeelemente. Die zentrale Lage der Armatur ermöglicht links neben dem zentralen Bildschirm einen weiteren 13-Zoll Bildschirm, welcher in Fahrstellung ausschließlich für Disponenten- und Organisationsaufgaben zur Verfügung steht. In Arbeitsstellung können hier fahrrelevante oder fahrzeugspezifische Daten angezeigt werden.

## 4.7 Wohnbereich

Der Wohnbereich im Fahrerhaus ist in seiner Bedeutung als Teil des Gesamtkonzepts nicht zu unterschätzen. Er beinhaltet den Schlaf- und Ruhebereich, bietet Unterhaltungsmedien, ermöglicht das Lagern und Zubereiten von Lebensmitteln bzw. Getränken und bietet Platz zum Verstauen von Ausrüstung und privaten Gegenständen. Die zu erreichenden Zielgrößen bei der Konzeption des Wohnbereichs sind hoher Komfort und hohe Funktionalität der Ausrüstungsgegenstände. Dies soll es dem Fahrer ermöglichen, sich bestmöglich zu erholen und in weiterer Folge die Arbeitsqualität und die Verkehrssicherheit erhöhen. Das bestmögliche Erfüllen der Zielgrößen steht in Konflikt mit dem Platzangebot, welches im Fahrerhaus begrenzt ist. Daher wird zunächst der verfügbare Raum für den Wohnbereich ermittelt. In weiterer Folge werden Einrichtungsgegenstände auf Notwendigkeit, Raumbedarf und technische Realisierbarkeit analysiert. In die Konzeption miteinbezogen werden Daten der Studie „Ergonomischen Analyse der Fahrerumgebung im Fernverkehrs-Lkw“, in welcher die Verhaltensmuster von 80 Probanden untersucht wurden.<sup>211</sup>

### 4.7.1 Ermittlung des Wohnbereichs

Für den Wohnbereich wird der gesamte Raum, welcher den Fahrer- bzw. den Arbeitsplatz nicht beeinträchtigt, genutzt. Unter dieser Voraussetzung lässt sich ein Bereich ableiten, welcher vollständig zur Schaffung des Wohnbereichs genutzt werden kann. Darüber hinaus kann ein Bereich definiert werden, welcher sich nur bedingt nutzen lässt. Hier darf die verwendete Ausstattung die Sicht, die Bewegungsfreiheit etc. am Fahrerarbeitsplatz nicht negativ beeinflussen. Der bedingt nutzbare Bereich ist in seiner Bedeutung nicht zu unterschätzt. Einige Komponenten des Wohnbereichs sollten auch vom Fahrerarbeitsplatz zugänglich sein (z.B. Kühlschrank, Ablagefächer), wofür dieser Bereich genutzt werden kann.

---

<sup>211</sup> vgl. Michel, 2013

**Konzept A** (vgl. Abbildung 35)

Der Wohnraum des Konzept A befindet sich hauptsächlich hinter Fahrer- und Beifahrersitz. In unmittelbarer Nähe der Sitze besteht zudem die Möglichkeit, Elemente des Wohnraums zu platzieren, welche die Sicht nicht einschränken.

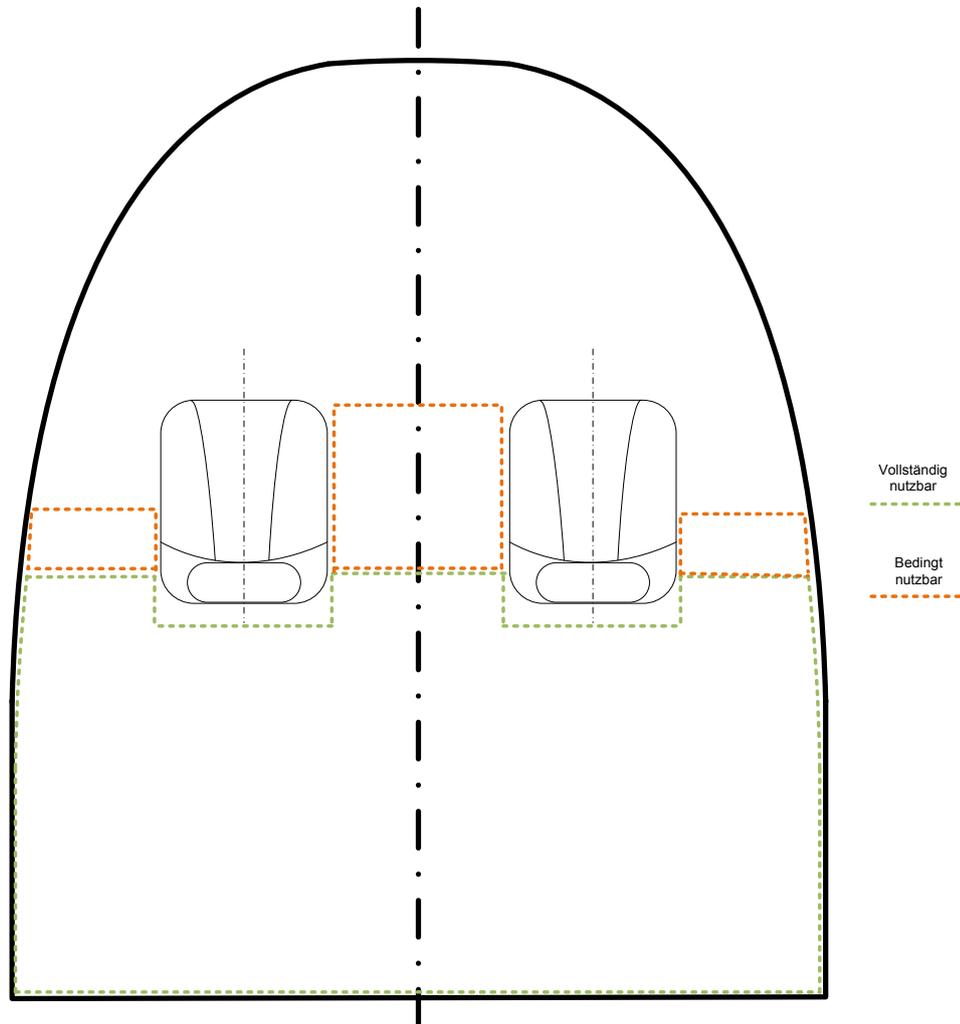


Abbildung 35: Wohnraum Konzept A

**Konzept B** (vgl. Abbildung 36)

Das Konzept B bietet durch die zentrale Position des Fahrersitzes ein erweitertes Platzangebot. Es kommen Bereiche links und rechts der Armatur hinzu. Zudem besteht die Möglichkeit, den Beifahrersitz in das Wohnkonzept zu integrieren und somit zusätzlichen Liegeraum o.Ä. zu schaffen.

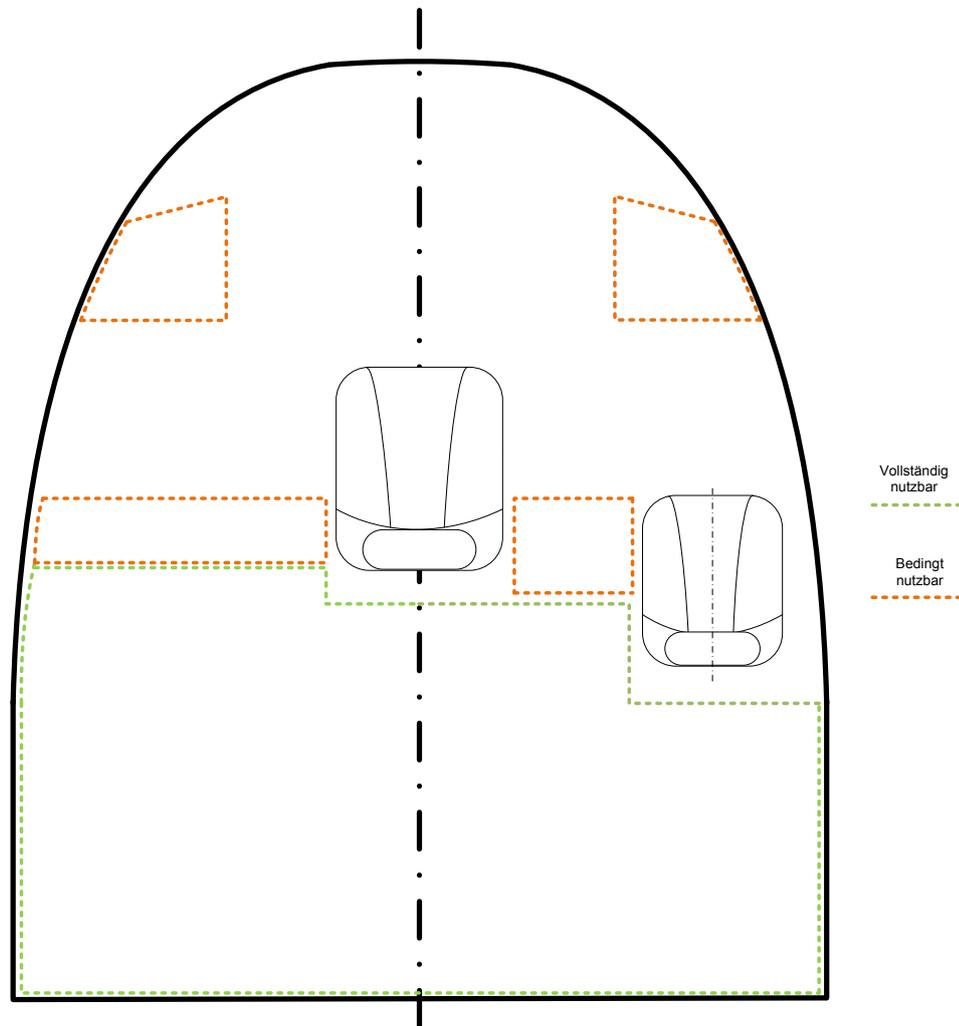


Abbildung 36: Wohnraum Konzept B

### 4.7.2 Analyse der Einrichtungsgegenstände

Nachdem der verfügbare Wohnraum abgesteckt wurde, folgt eine methodische Einteilung des Fahrerhauses in Zimmer. Die Einteilung dient zur besseren Vorstellung von wichtigen Elementen im Wohnraum des Fahrerhauses und setzt sich folgendermaßen zusammen: *Wohnzimmer*, *Schlafzimmer*, *Küche/Esszimmer* und *Büro*.<sup>212</sup> Außerdem darf die Notwendigkeit von *Stauräumen* im Lkw nicht unterschätzt werden.

Das zentrale Element des **Schlafzimmers** ist die Liege. Für diese wird eine Mindestlänge von 2000 mm gewählt, was dem Standard in westlichen Ländern entspricht. Daher ergibt sich als einzig sinnvolle Position, das Bett wie in heutigen Lkw quer zur Fahrtrichtung an der Rückwand des Fahrerhauses zu platzieren. Um dem Nutzer einen möglichst hohen Liegekomfort bieten zu können, soll er selbst die Möglichkeit bekommen, seine bevorzugte Kombination aus Lattenrost und Matratze wählen zu können. Um dies zu ermöglichen, wird für die Breite das als Standard etablierte Maß von 900 mm gewählt. Ansonsten wird das Schlafzimmer mit einem Fernseher, welcher mit 86,3% das am häufigsten in Lkw mitgebrachte elektronische Gerät ist<sup>213</sup>, und einer elektronischen Schnittstelle in Form einer multifunktionalen Fernsteuerung, ausgestattet. Diese ermöglicht beispielsweise eine Steuerung der Raumklimatisierung, der Lichtverhältnisse, der Fensterheber, des Infotainmentsystems oder des Fernsehers sowie das Abrufen von fahrzeugspezifischen Daten. Komplimentiert wird das Schlafzimmer mit diversen Verstau- und Ablagemöglichkeiten.

Das wichtigste Gerät der **Küche** ist der Kühlschrank. In 97,5% der analysierten Fahrzeuge kann dieses Gerät vorgefunden werden, wodurch es das meist verbaute Küchengerät in heutigen Lkw ist.<sup>214</sup> Wenn möglich sollte dieser vom Fahrerplatz aus erreichbar sein. Weitere Küchengeräte, welche häufig durch den Fahrer in den Lkw mitgebracht werden, sind Kochgeräte, wie Herdplatte (57%) und Kaffeemaschine bzw. Wasserkocher (44,9%). Eine Mikrowelle findet sich hingegen lediglich in 3,8% der analysierten Lkw.<sup>215</sup>

---

<sup>212</sup> vgl. Michel, 2013, S.58

<sup>213</sup> vgl. ebenda, S.83

<sup>214</sup> vgl. ebenda, S.82

<sup>215</sup> vgl. ebenda, S.83

### 4.7.3 Entwicklung eines Wohnraumkonzepts

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzung der Küchengeräte in Lkw werden diese in Form eines Modulsystems in den Lkw integriert. Dieses erlaubt das Einsetzen und Austauschen diverser Küchengeräten durch standardisierte Maße und Anschlüsse in ein Schranksystem.

Das **Wohnzimmer** ist eng mit dem Fahrerarbeitsplatz und dem Schlafzimmer verbunden. Es konnte festgestellt werden, dass Fernfahrer während Pausen meist auf dem Fahrersitz verbleiben. Bei längeren Pausen wird das Schlafzimmer mit Fernseher als Wohnzimmer genutzt.<sup>216</sup>

In Fahrzeugen ohne geeignete Tischflächen werden des Öfteren provisorische Lösungen zur Schaffung von Tischflächen angetroffen.<sup>217</sup> Daher wird das Fahrerhaus mit einer Tischplatte als Element des **Esszimmers, Wohnzimmers und Büros** ausgerüstet. Der Fahrer kann sie beispielsweise zum Zubereiten und Verspeisen seiner Mahlzeiten, für Büroarbeiten oder als Ablage nutzen.

Fernverkehrsfahrerhäuser sind gewöhnlich mit einem besonders hohen Maß an **Stauraum** ausgestattet. Diese befinden sich gewöhnlich hinter den Sitzen, unterm Bett und im Dachbereich.<sup>218</sup> Häufig in gegenwärtigen Lkw anzutreffen ist ein Staufach unter der Liege. Ein solches wird auch in diesem Wohnraumkonzept realisiert, welches sowohl durch einen Klappmechanismus vom Innenraum, als auch durch eine Klappe von außen erreicht werden kann. Zudem können Stauräume im Dachbereich gegenwärtiger Fahrerhäuser angetroffen werden. Daher wird auch in diesem Konzept ein Staufach in dieser Form eingeplant.

Im Rahmen der computergestützten Konstruktion wird versucht, die eben diskutierten Elemente des Wohnbereichs optimal zu integrieren. Die genaue Lösung wird erst nach der ergonomischen Analyse und eventuellen Adaption des Fahrerhauses unter Berücksichtigung des zu jenem Zeitpunkt verfügbaren Raumes ermittelt und vorgestellt.

---

<sup>216</sup> vgl. Michel, 2013, S.113

<sup>217</sup> vgl. ebenda, S.114

<sup>218</sup> vgl. Hoepke et al., 2013, S.219

## 5 Simulationsgestützte Konstruktion und Analyse

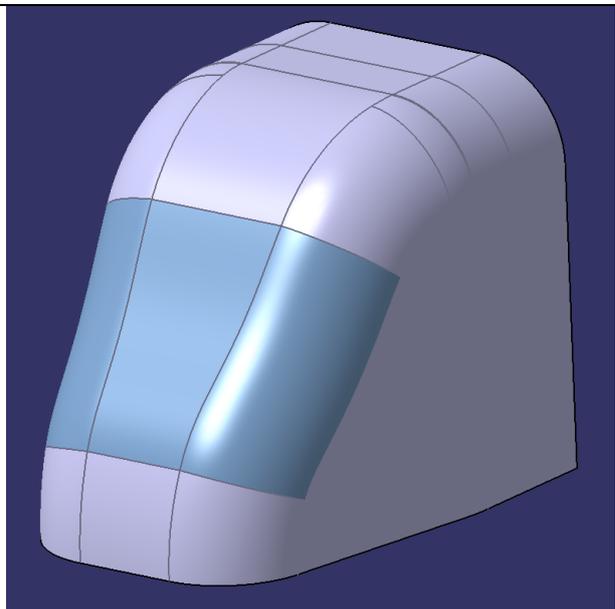
In diesem Kapitel werden die beiden Konzepte mittels der Computersoftware Catia V5R19 in virtueller Umgebung konstruiert. Zudem erfolgt mithilfe von Werkzeugen der virtuellen Ergonomie eine ergonomische Analyse der Konzepte. Die Analyse wird mit Hilfe des digitalen Menschmodell-Programms RAMSIS vorgenommen. Um die Komplexität des Konstruktionsaufbaus zu reduzieren, werden zum Teil bereits in CAD existierende Bauteile der MAN Truck & Bus AG übernommen bzw. *Bauraum-Dummies* anstatt detailgetreuer Bauteilkonstruktionen benutzt.

### 5.1 Übertragung der Konzepte A und B in virtuelle Umgebung

Zunächst werden die während der Konzeptionsphase bestimmten Elemente in virtuelle Umgebung übertragen. Der Wohnbereich wird vorläufig ausgespart und erst nach der ergonomischen Untersuchung in Abhängigkeit des verfügbaren Platzes ins Modell implementiert. Folgende Elemente werden in das CAD-Modell übertragen:

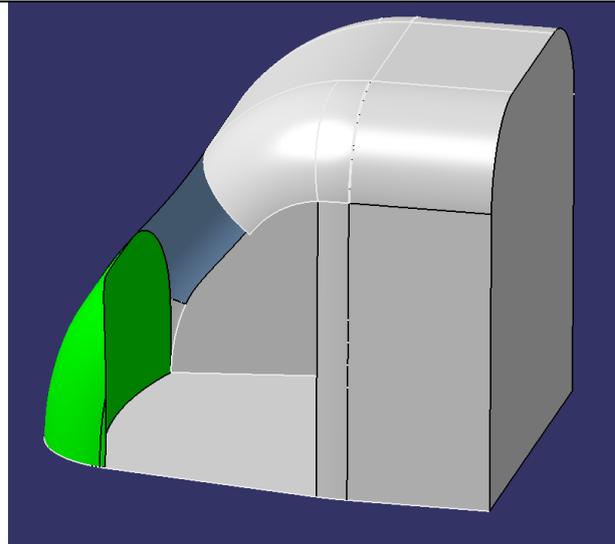
#### Fahrerhaushülle

Die Fahrerhaushülle verfügt über eine aerodynamisch effiziente Form. Die Radien betragen mindestens 600 mm um das Abreißen des Luftstroms an den Kanten zu vermeiden. Die Wandstärke wird mit 80 mm festgelegt. Die Frontscheibe wird für eine verbesserte Sicht besonders großzügig ausgelegt.



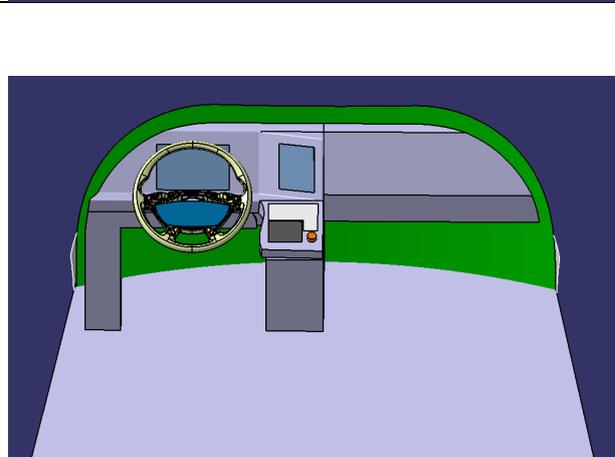
**Crashnose**

Die Crashnose (grün) verfügt über eine gebogene Form, welche die vordersten 350 mm bis 500 mm des Fahrzeugs einnimmt. Die Form ist an die Kontur der Fahrerhaushülle angepasst. Die enthaltene Struktur dient der gezielten Energieaufnahme bei einem Unfall.



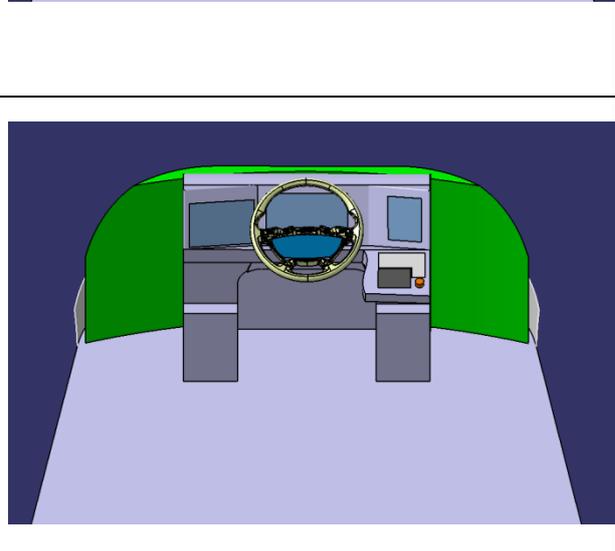
**Armatur und Steuerelement (Konzept A)**

Die Armatur ist gemäß den in Kapitel 4.5 festgelegten Neigungen und Abmessungen ausgelegt. Zudem verfügt sie über die gemäß Kapitel 4.6.2 festgelegten Anzeige- und Bedienelemente. Für das Lenkrad wird ein bestehendes CAD-Teil verwendet und mit einem gemäß Kapitel 4.4.4 entworfenen Anzeigeelement ausgestattet.



**Armatur und Steuerelement (Konzept B)**

Die Armatur befindet sich in zentraler Position. Aus diesem Grund kann ein weiteres Anzeigeelement im linken Teil der Armatur angebracht werden, wodurch dem Fahrer nichtfahrrelevante Informationen (z.B. bzgl. Disposition) durchgehend angezeigt werden kann.



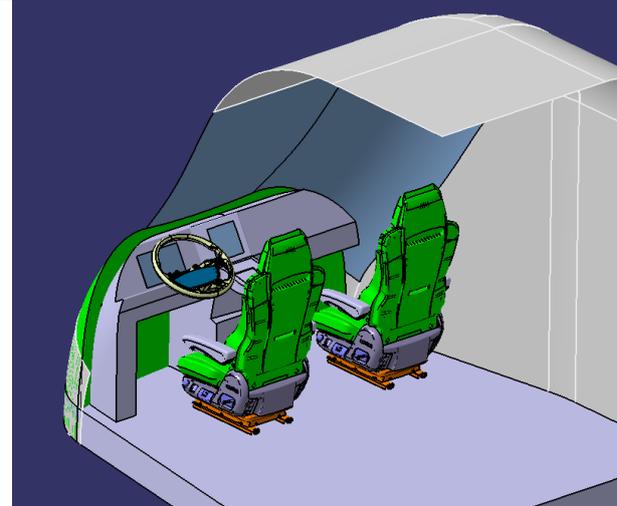
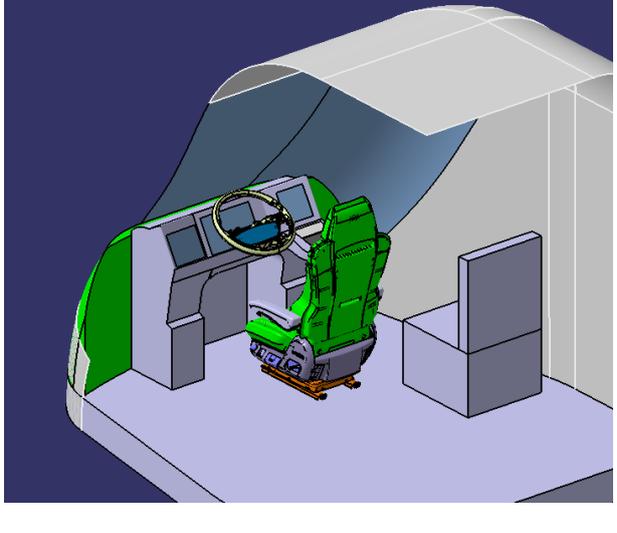
<p><b>Fahrer- und Beifahrersitz (Konzept A)</b></p> <p>Die beiden Sitze können wie das Lenkrad aus bestehenden Datenbanken entnommen werden. Sie werden zunächst gemäß Kapitel 4.3 in das Modell implementiert. Die exakte Position wird in weiterer Folge durch das digitale Menschmodell-Programm RAMSIS überprüft.</p>	
<p><b>Fahrer- und reduzierter Beifahrersitz (Konzept B)</b></p> <p>Der Fahrersitz wird vorerst ebenfalls gemäß Kapitel 4.3 ins Modell importiert. Zudem wird ein verstaubarer Beifahrersitz als <i>Bauraum-Dumie</i> zum Modell hinzugefügt. Die endgültige Lösung des Beifahrersitzes erfolgt nach der ergonomischen Überprüfung im Rahmen der Gestaltung des Wohnbereichs.</p>	

Tabelle 12: Übertragung der Konzepte A und B in virtuelle Umgebung

## 5.2 Ergonomische Analyse mit Hilfe des digitalen Menschmodell-Programms RAMSIS

Digitale Menschmodelle gehören zu den Werkzeugen der virtuellen Ergonomie und ermöglichen die ergonomische Gestaltung von Produkten. Das Modell RAMSIS (**R**echnergestütztes **A**nthropologisch-**M**athematisches **S**ystem zur **I**nsassen **S**imulation) ist eine am Markt etablierte Anwendung und wird zunehmend in der Automobilindustrie angewendet.<sup>219</sup>

Ein typischer Arbeitsablauf im Umgang mit RAMSIS beginnt zunächst mit der Erzeugung eines Menschmodells (auch: Manikin), welches anschließend hinsichtlich anthropometrischer Daten (z.B. Geschlecht, Perzentil, Nationalität, Somatotyp etc.) modifiziert werden kann. Anschließend kann die Körperhaltung des Manikin manipuliert und in die gewünschte Position im Modell gebracht werden. Als Nächstes können

<sup>219</sup> vgl. Spanner-Ulmer et al., 2010, S.79

Ergonomie-Methoden wie beispielsweise Maßanalyse, Greifraumanalyse, Sichtanalyse etc. durchgeführt werden.<sup>220</sup>

Aufgrund der Ähnlichkeit der beiden Modelle wird lediglich Modell A ergonomisch analysiert. Die im Verlauf der Analyse gewonnenen Erkenntnisse können auf das Konzept B übertragen werden.

### 5.2.1 Erzeugen des Manikins

RAMSIS ist ein speziell auf die Automobilindustrie zugeschnittenes Programm, weshalb die Möglichkeit, den Somatotyp spezieller Nutzergruppen auszuwählen, besteht. Die hierfür benötigten anthropometrischen Daten wurden während der Entwicklung des Programms durch optisches Messverfahren ermittelt und ermöglichen daher eine korrekte Darstellung des Menschen.<sup>221</sup>

Für die ergonomische Analyse werden Manikins der Perzentile 5, 50 und 95 des Typs *Lkw-Fahrer in Europa* ausgewählt (vgl. Abbildung 37).

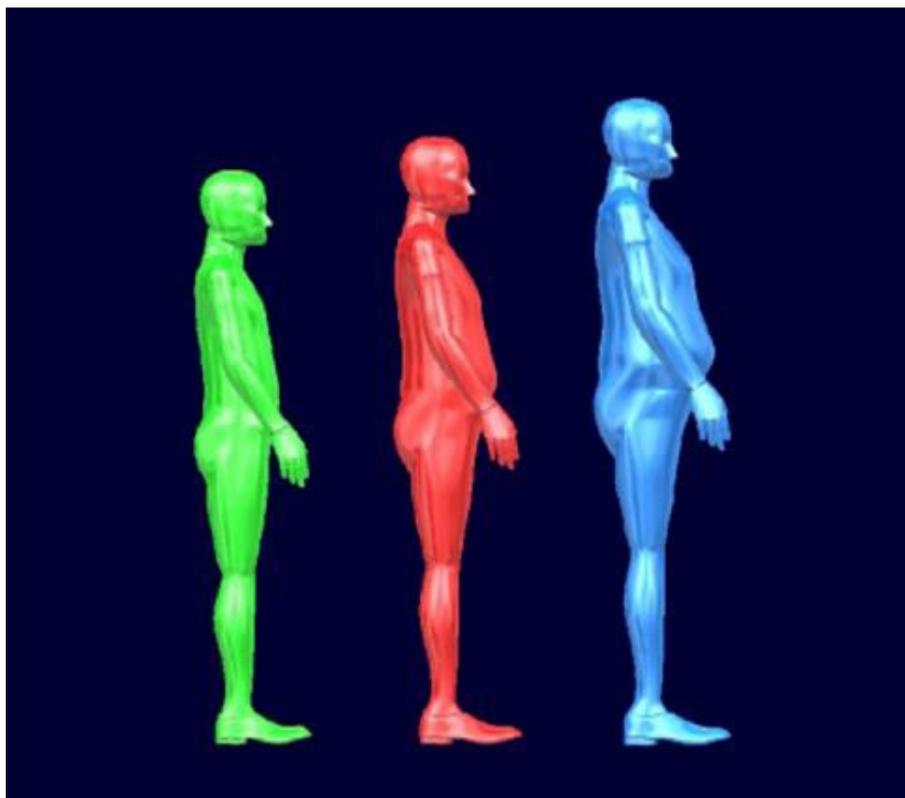


Abbildung 37: RAMSIS Typ Lkw-Fahrer, Perzentile 5, 50 und 95<sup>222</sup>

<sup>220</sup> vgl. Spanner-Ulmer et al., 2010, S.80

<sup>221</sup> vgl. Bubb, 2015, S.247

<sup>222</sup> Nagel, 2001, S.61

## 5.2.2 Positionierung des Manikins

Das Manikin wird anhand von Bedingungen im Modell positioniert. Als erste Bedingung wird die Symmetrieebene des Manikins mit der Symmetrieebene des Fahrersitzes gleichgesetzt, wodurch die Position in y-Richtung festgelegt ist. Zur Festlegung der Position in x- und z-Richtung werden Kontaktbedingungen zwischen Manikin und Modell gewählt. Hierfür eignet es sich, die Oberfläche des Gaspedals in betätigter Stellung in Kontakt mit der Schuhsohle des Manikins zu bringen. Des Weiteren wird Kontakt zwischen Boden und Schuhabsatz hergestellt, wodurch die Positionen in x- und z-Richtung festgelegt sind (vgl. Abbildung 38).

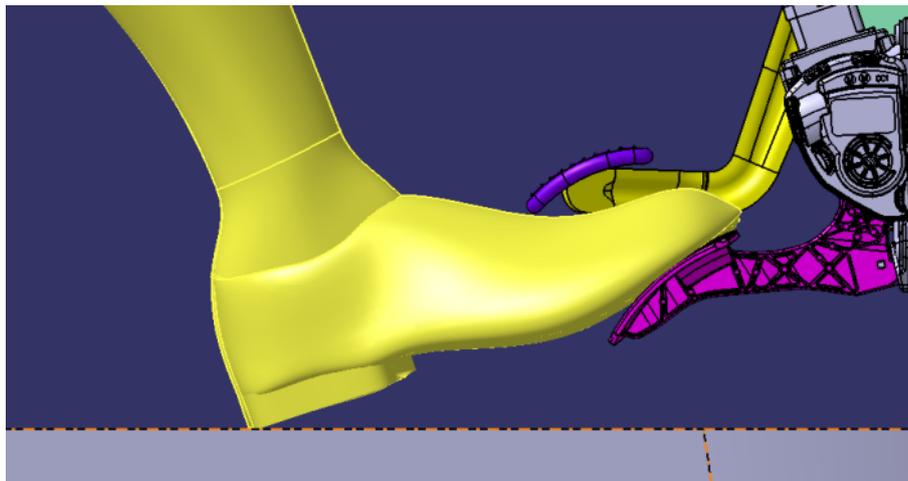


Abbildung 38: Kontaktbedingung zwischen Schuhsohle, Gaspedal und Boden

Im nächsten Schritt folgt die Positionierung der justierbaren Elemente Sitz und Lenkrad. Für die 3D-CAD-Parts dieser Elemente kann auf vorhandene Dateien zurückgegriffen werden. Beim Fahrersitz werden Sitzfläche und Sitzlehne in Berührung mit dem Manikin gesetzt. Das Lenkrad wird unter der empfohlenen Neigung in Berührung mit den Handflächen gesetzt (vgl. Abbildung 39).

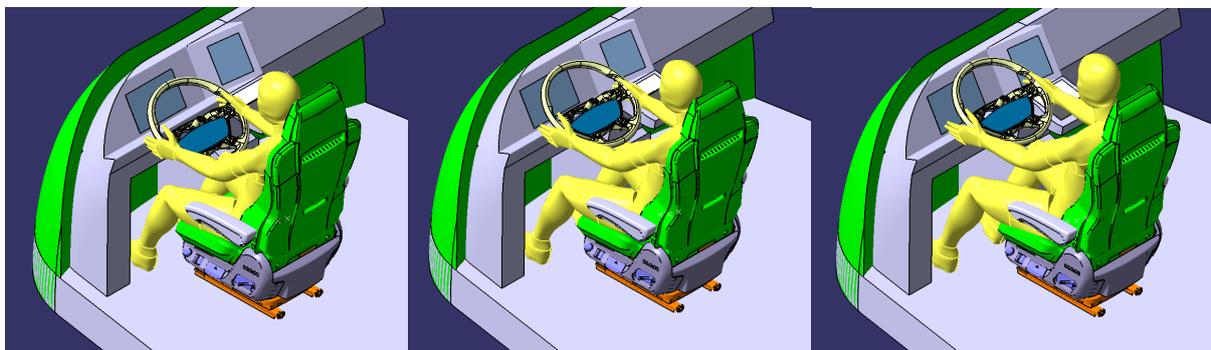


Abbildung 39: Anpassung der Lenkrad- und Sitzposition an das Manikin  
(li.: 5. Perzentil; mi.: 50. Perzentil; re.: 95. Perzentil)

### 5.2.3 Anpassung der Neigung der Anzeigeelemente

Anhand der in das Modell importierten Manikins kann die Neigung der Anzeigen auf den Augpunkt angepasst werden. Gemäß Kapitel 4.5.1 wird die Anzeigeebene senkrecht auf die Fixationslinie geneigt, um die Parallaxe möglichst gering zu halten. Hierfür wird eine Sichtlinie zwischen dem Augpunkt des 50. Perzentil-Manikins und der Mitte der Anzeige aufgespannt und senkrecht auf die Anzeigeebene gestellt (vgl. Abbildung 40). Somit kann die Abweichungen der 5.- und 95. Perzentil-Manikins gering gehalten werden können.

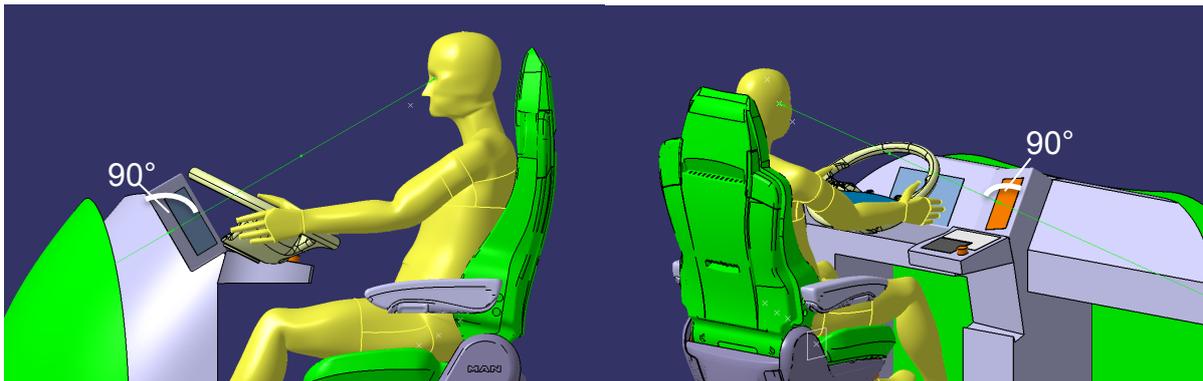


Abbildung 40: Neigung der Anzeigeelemente (50. Perzentil-Manikin)  
(li.: Primärdisplay; re.: Sekundärdisplay)

### 5.2.4 Greifraum-Analyse

Die Durchführung der Greifraumanalyse beginnt mit dem Erzeugen der Greifschalen (vgl. Abbildung 41 li.), womit die Erreichbarkeit von Bedienelementen visualisiert werden kann. Hierfür werden für die drei Perzentile die jeweiligen Greifschalen der Gelenkkette Schlüsselbein bis Zeigefinger erstellt und miteinander verschnitten, wodurch die kleinstmögliche Greifschale erzeugt wird (vgl. Abbildung 41 re.). Dies soll garantieren, dass ein Mensch jeder Körpergröße alle Bedienelemente erreicht, ohne den Rücken vom Sitz abzulösen zu müssen. Die entstandene Schale lässt erkennen, dass der 5. Perzentil-Manikin (Greifschale orange) aufgrund seiner Sitzposition nahe an der Armatur diese gut erreichen kann, allerdings sind Elemente im Überkopfbereich nur bedingt erreichbar. Das 95. Perzentil-Manikin (Greifschale blau) hat aufgrund der entfernten Lage zur Armatur Schwierigkeiten bei der Erreichbarkeit der Interaktionselemente nahe der Armatur, höher gelegene Elemente sind hingegen besser erreichbar.

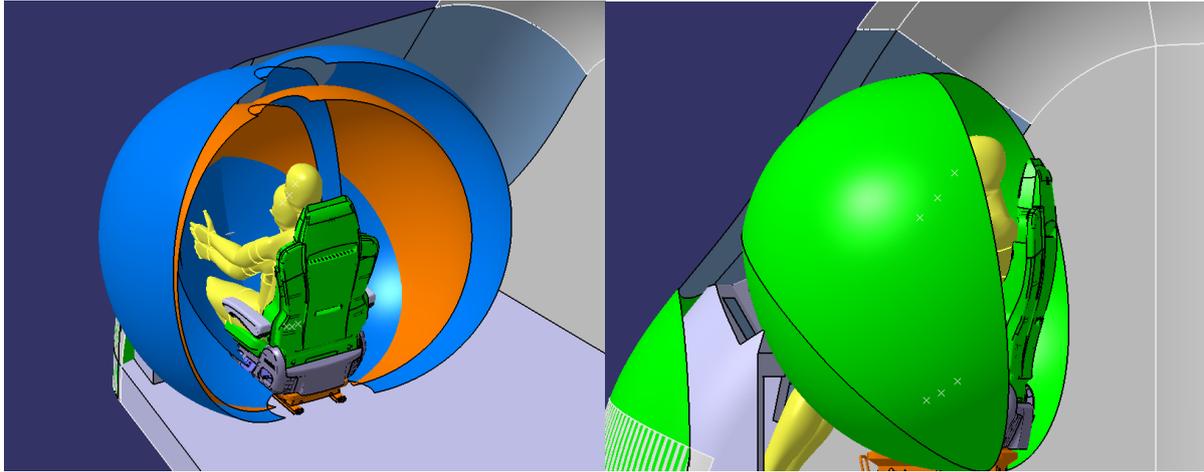


Abbildung 41: Greifschalen  
li.: Greifschale 95. Perzentil (blau), Greifschale 5. Perzentil (orange);  
re.: verschnittene Greifschalen (grün)

### 5.2.5 Direktsicht-Analyse

Die Direktsicht-Analyse gibt Aufschluss über direkt sichtbare und verdeckte Bereiche der Armatur. Die Verdeckungen entstehen typischerweise durch das Lenkrad und durch Körperteile. Große Bedienelemente, durch welche Verdeckungen entstehen könnten (z.B. Lenkstockhebel), sind in den Konzepten nicht enthalten und werden daher nicht berücksichtigt. Zur Analyse werden sämtliche Blickwinkel der jeweiligen Perzentile berücksichtigt (vgl. Abbildung 42).



Abbildung 42: Direktsicht-Analyse

Die Analyse lässt erkennen, dass eine ausreichende Sichtbarkeit des zentralen Displays aller Perzentile erreicht werden kann. Lediglich im unteren Bildschirmbereich

treten leichte Überdeckungen auf (vgl. Abbildung 43 li.). Das Sekundärdisplay auf der rechten Fahrerseite wird aufgrund seiner exponierten Position weder durch das Lenkrad, noch durch den Arm verdeckt und muss daher nicht angepasst werden (vgl. Abbildung 43 mi.). Die Bedieninsel (ebenfalls auf der rechten Fahrerseite) wird mit etwa 75 mm verdeckt (vgl. Abbildung 43 re.). Die Verdeckung resultiert in erster Linie durch den eigenen Körper. Bei Bedienelementen ist eine Verdeckung durch den Körper als weniger kritisch anzusehen, da für die Bedienung die Hand vom Lenkrad genommen werden muss. Zudem tritt der Großteil der Überdeckung im Bereich des Touchpads (grau) auf, welches mit keiner Beschriftung versehen ist. Daher ist diese Verdeckung als akzeptabel anzusehen und muss nicht korrigiert werden.



Abbildung 43: Detaillierte Darstellungen der Direktsicht-Analyse  
(li.: Primärdisplay; mi.: Sekundärdisplay; re.: Bedieninsel)

### 5.2.6 Blickdauer-Analyse

Die Blickdauer-Analyse ermöglicht, die Blickzuwendungszeit für Anzeigeelemente und Ähnliches zu beurteilen. Die „kurze, schnelle Bewegung der Augen zwischen der Fixation“<sup>223</sup> wird als Sakkade bezeichnet und erreicht Geschwindigkeiten von bis zu  $500^\circ/\text{s}$ .<sup>224</sup> Die Dauer der Sakkade zur Fixation des Sekundärdisplays soll gemäß Richtlinien nicht länger als 300 ms andauern, um die Ablenkung gering zu halten.<sup>225</sup> Zu diesem Zweck wird die Isochrone für eine Blickzuwendungszeit von  $<300$  ms im CAD eingeblendet, in welcher sich der gesamte Sekundärdisplay befinden sollte. Bei der Blickdauer-Analyse gibt die Isochrone den Bereich an, welcher in einer gewissen Sakkadendauer zu erreichen ist. Die Analyse zeigt, dass sich die Sekundäranzeige zur Gänze innerhalb der Isochronen befindet und somit keine Anpassungen vorgenommen werden müssen (vgl. Abbildung 44)

<sup>223</sup> vgl. DIN EN ISO 15007-1, 2015, S.4

<sup>224</sup> vgl. ebenda

<sup>225</sup> vgl. ESoP, 2000, S.25

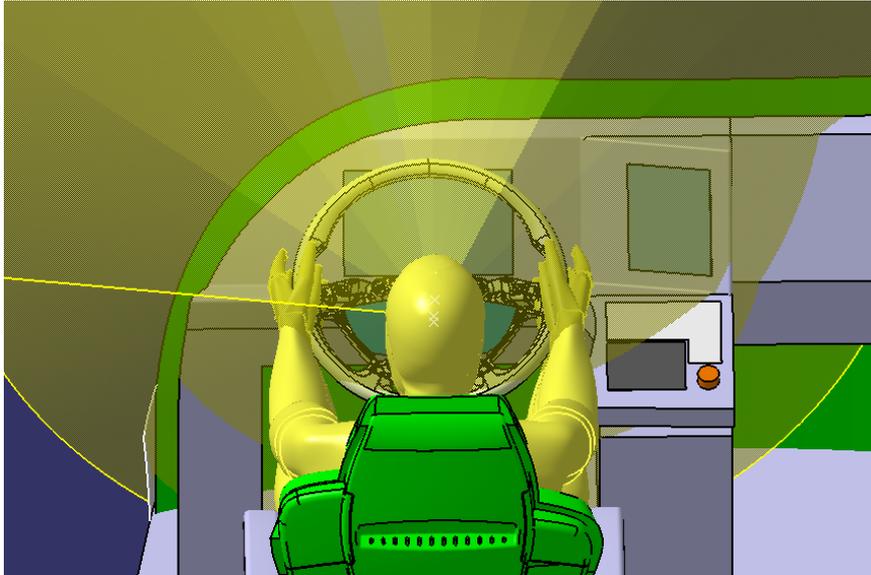


Abbildung 44: Isochrone für Sakkadendauer von 300 ms

### 5.2.7 Reflektions-Analyse

Die Reflektions-Analyse ermöglicht die Visualisierung von Spiegelungen, welche in Fensterscheiben verursacht durch Anzeigeelemente entstehen können. Eine häufig auftretende Erscheinung ist die Reflektion von Inhalten der Anzeigeelemente in Front- und Seitenscheiben. Diese Reflexion kann den Fahrer blenden oder im Sichtfeld des Fahrers die Sicht auf das Verkehrsgeschehen einschränken. Daher ist die Spiegelung eines FPKs bzw. Sekundärdisplays in den Scheiben nicht wünschenswert. Abbildung 45 zeigt, dass aufgrund mangelnder Abdeckungen der Anzeigen Spiegelungen in der Frontscheibe auftreten können. Eine Lösung kann beispielsweise durch Hutzen herbeigeführt werden, welche die Anzeigeelemente umgeben und Spiegelungen somit verhindern.

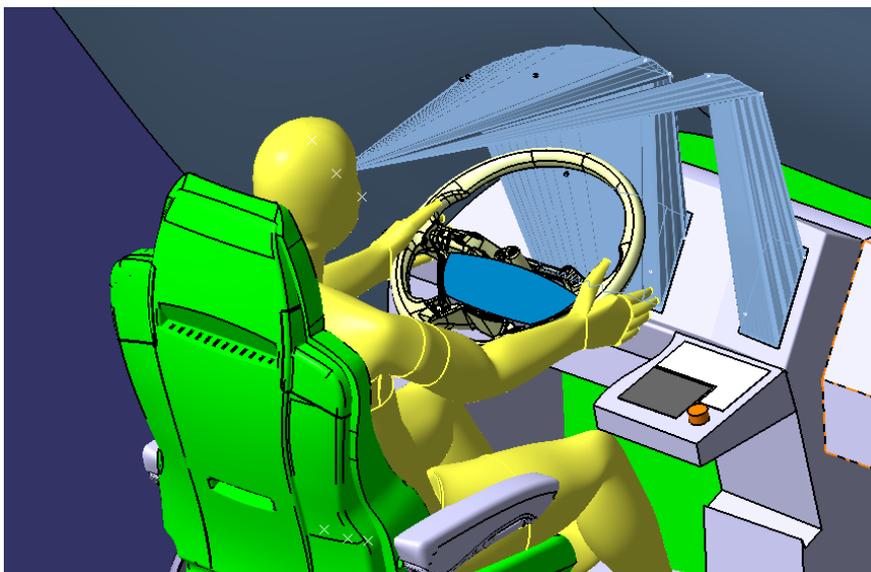


Abbildung 45: Reflektions-Analyse

### 5.2.8 Presbyopie-Analyse (Alterssichtigkeit)

Unter Presbyopie versteht man den Verlust der Fähigkeit der Akkommodation des Auges (vgl. Kapitel 4.5.1).

Mithilfe der Presbyopie-Analyse kann festgestellt werden, welche Altersschichten Schwierigkeiten beim Ablesen der Anzeigeelemente haben. Durchgeführt wird die Analyse am 5. Perzentil-Manikin, da dessen Sitzposition der Anzeige am nächsten ist. Abbildung 46 zeigt den durchschnittlichen Abstand, in dem der Mensch in Abhängigkeit des Alters Schwierigkeiten mit der Akkommodation des Auges bekommt. Besonders auffällig ist der exponentielle Anstieg des Brechkraftverlusts. Daher wird der Abstand zwischen Augpunkt und Position der Displays erhöht. Grundsätzlich kann die erreichte Sichtbarkeit für Fahrer über 50 Jahre als zufriedenstellend angesehen werden.

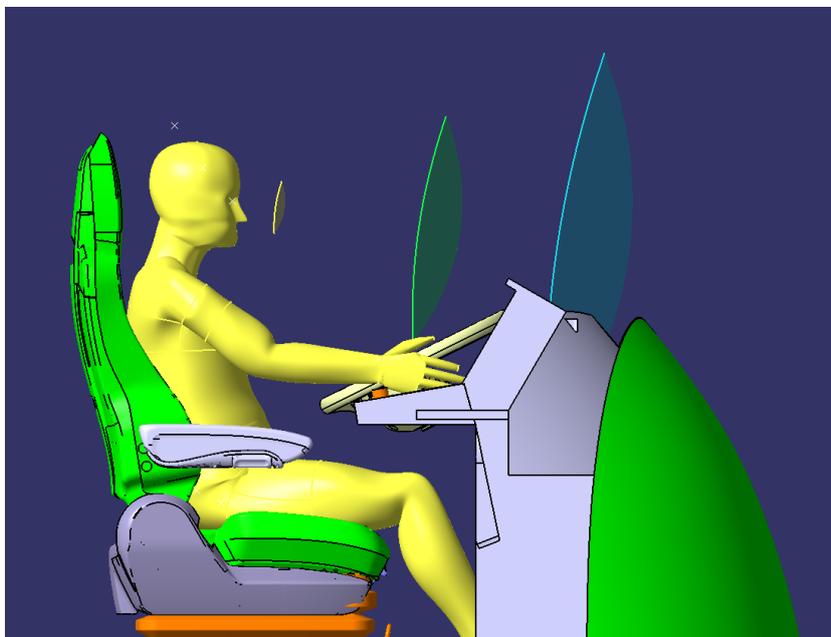
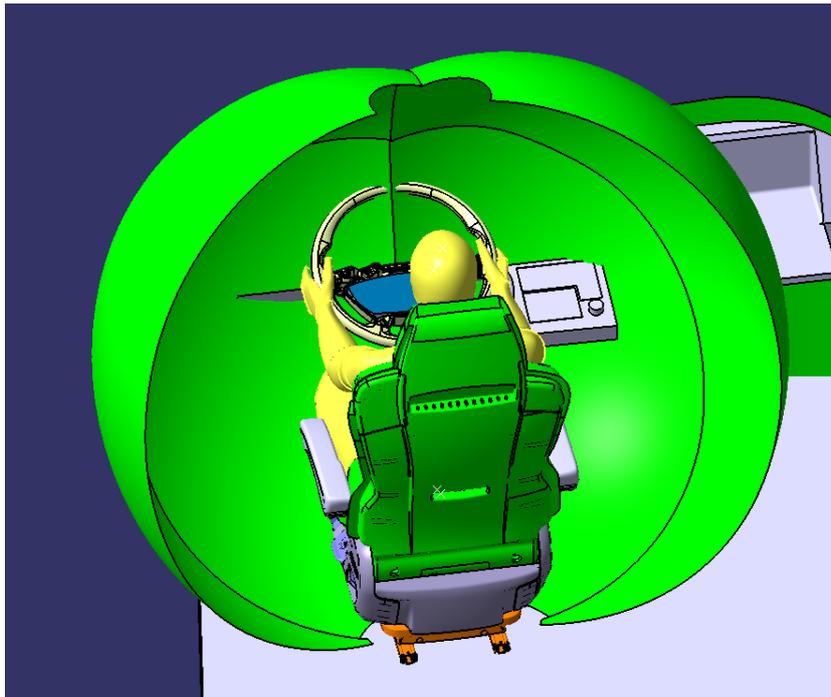


Abbildung 46: Presbyopie-Analyse (gelb: 30 Jahre; grün: 50 Jahre; blau: 55 Jahre)

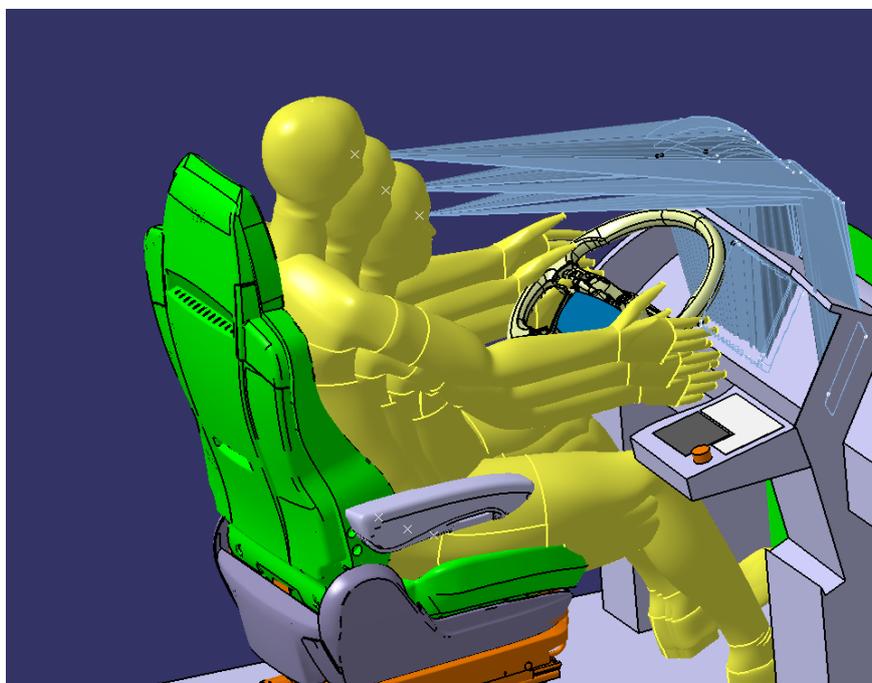
## 5.3 Anpassung der Konstruktion

Die durchgeführten Analysen zeigen die Erforderlichkeit das Modell zu modifizieren. Zunächst fällt auf, dass die Erreichbarkeit der Bedieninsel ohne das Ablösen des Rückens vom Sitz nicht gegeben ist. Daher wird die Positionen der Armatur, des Lenkrads und der Bedieninsel überarbeitet und ermöglichen nun die vollständige Erreichbarkeit der Bedienelemente (vgl. Abbildung 47).



**Abbildung 47: Anordnung der Bedieninsel innerhalb der verschnittenen Greifschale**

Die Reflexionsanalyse zeigt den Bedarf eines Reflexionsschutzes in Form von Hutzen, welche die Anzeigeelemente umgeben. Diese verhindern, dass das Anzeigebild in der Frontscheibe störende Spiegelungen verursacht. Abbildung 48 zeigt, in wie fern die mit Hutzen versehene, überarbeitete Armatur die Spiegelungen verhindert.



**Abbildung 48: Verhinderung der Reflexionen durch Hutzen**

Das Ergebnis der Direktsicht-Analyse, der Blickdauer-Analyse und der Presbyopie-Analyse ist zufriedenstellend und verlangt keine Anpassung der CAD-Konstruktion.

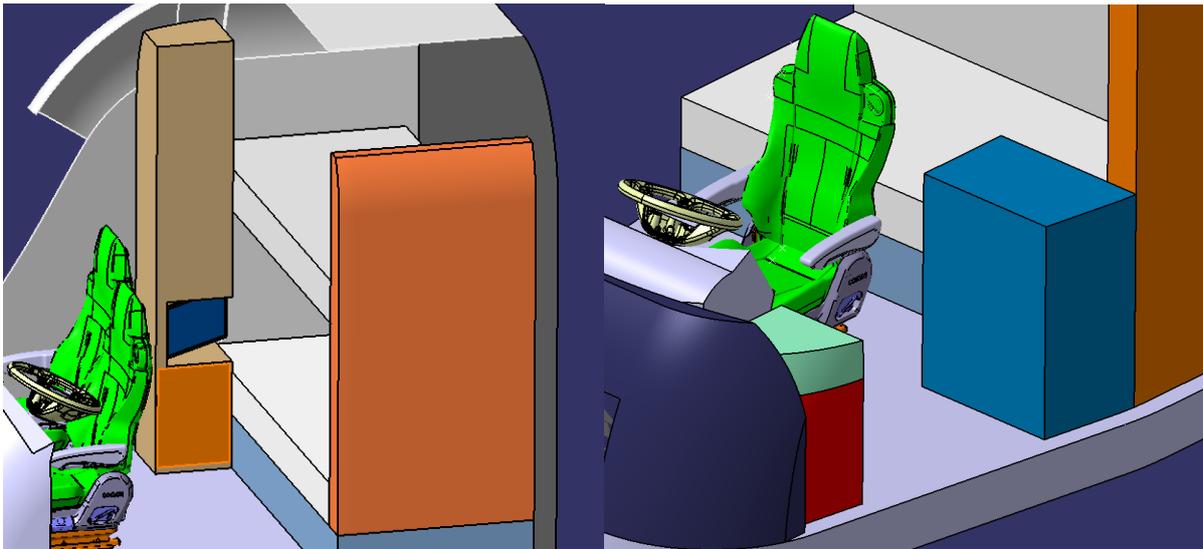
## 5.4 Entwurf eines innovativen Wohnkonzepts in CAD

Nachdem der Raumbedarf des Fahrerarbeitsplatzes festgelegt wurde, wird ein innovatives Wohnkonzept für Konzept A und Konzept B entworfen. Hierfür werden die in Kapitel 4.6 beschriebenen Erkenntnisse bezüglich des verfügbaren Raums der beiden Konzepte und der häufig in Lkw verwendeten Geräte miteinbezogen. Die Liege wird in beiden Konzepten als zwingend notwendiges Ausstattungselement eines Fernverkehr-Lkw gesehen. Diese wird wie in gegenwärtigen Lkw im rückwärtigen Bereich des Fahrerhauses quer zur Fahrtrichtung platziert. Konzept A verfügt über die Möglichkeit von zwei übereinander angeordneter Liegen (vgl. Abbildung 49 li.), Konzept B wird lediglich mit einer Liege ausgestattet (vgl. Abbildung 49 re.). Beide Konzepte verfügen über einen Fernseher. In Konzept A ist dieser in ein Schranksystem (braun) integriert, welches sich hinter dem Beifahrersitz befindet. In Konzept B befindet er sich an der Fahrzeugwand. Zudem sind beide Konzepte mit einer Verstaumöglichkeit (orange) auf der linken Fahrzeugseite ausgestattet.



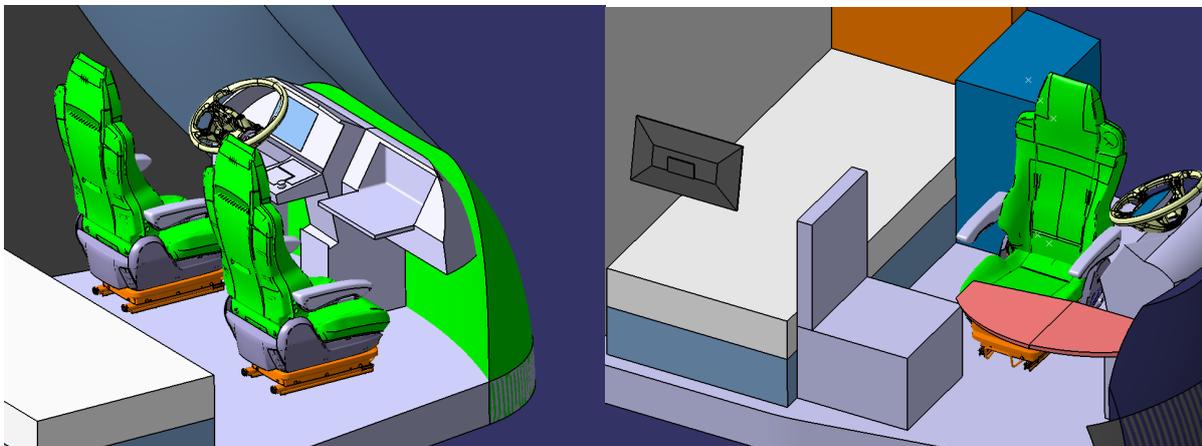
Abbildung 49: Liegen, Fernseher und Schranksystem (li.: Konzept A; re.: Konzept B)

Zur individuellen Gestaltung der Küche wird für diese ein Modulsystem verwendet. Küchenelemente werden in einheitlichen Größen mit standardisierten Anschlüssen vom Lkw-Hersteller angeboten und können beliebig vom Nutzer kombiniert und ausgetauscht werden. Als Küchenmodule sind beispielsweise eine Kaffeemaschine, ein Wasserkocher, eine Mikrowelle oder eine Herdplatte vorstellbar. In Konzept A können diese Module im bereits erwähnten Schranksystem (braun), in welchem sich ein fest verbauter Kühlschrank (orange) befindet, eingebaut werden (vgl. Abbildung 50 li.). In Konzept B ist hierfür eine eigene Küchenzeile (blau) auf der linken Fahrzeugseite eingeplant. Der Kühlschrank (rot) befindet sich ebenfalls auf der linken Fahrzeugseite, direkt neben der Armatur (vgl. Abbildung 50 re.). Er ist mit einem zweiten Fach (türkis), welches verschieden temperiert werden kann, versehen.



**Abbildung 50: Modulares Küchensystem und Kühlschrank (li.: Konzept A; re.: Konzept B)**

Die aus Fahrersicht rechte Seite des Fahrerhauses beinhaltet in beiden Varianten den Wohnbereich. Auf dem Beifahrersitz des Konzept A dient ein ausklappbarer Tisch zur Erledigung von Bürotätigkeiten und Essenzubereitung bzw. -einnahme (vgl. Abbildung 51 li.). In Konzept B kann ein rechts neben der Armatur verstauter Tisch aufgeklappt und der Fahrersitz diesem zugewendet werden (vgl. Abbildung 51 re.).



**Abbildung 51: Wohnbereich (li.: Konzept A; re.: Konzept B)**

Wird der reduzierte Beifahrersitz in Konzept B nicht als Sitz benötigt, kann er durch Einklappen der Rückenlehne als Liegefläche genutzt werden (vgl. Abbildung 52). Die Rückseite der Lehne ist für diesen Zweck mit einer bequem gepolsterten Oberfläche versehen. So kann das zusätzliche Raumangebot des Wohnbereichs erhöht werden.

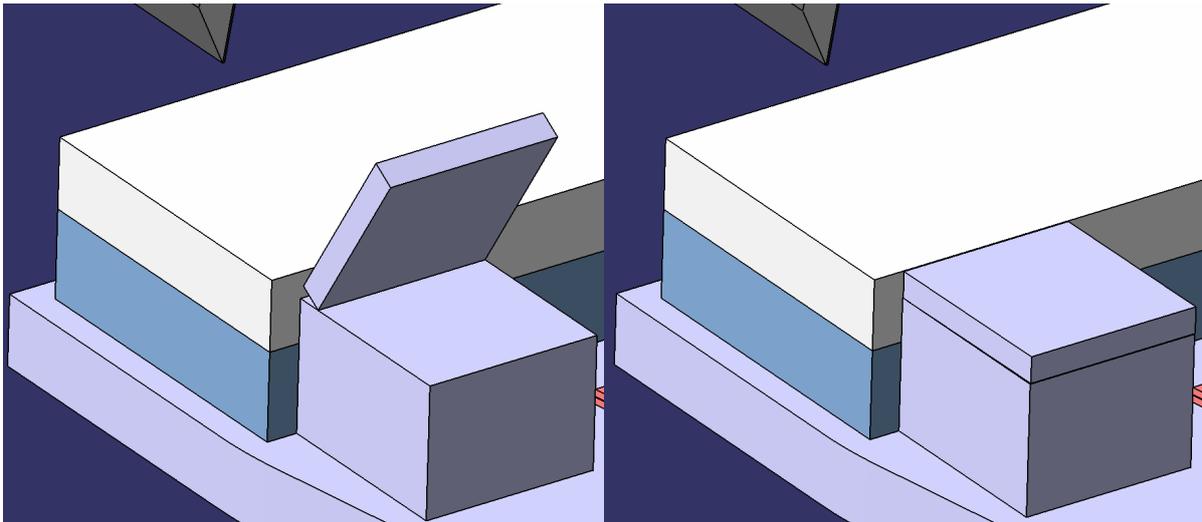


Abbildung 52: Liegekonzept reduzierter Beifahrersitz

Fernverkehrs-Lkw sind mit einer Vielzahl an Stauräumen ausgestattet. Gegenwärtige Fahrerhäuser verfügen über Staufächer unter den Liegen und im Dachbereich.<sup>226</sup> Ein Staufach unter der Liege, welches durch Aufklappen zugänglich gemacht werden kann, wird in beiden Konzepten realisiert (vgl. Abbildung 53). Außerdem wird der Dachbereich zur Unterbringung von Staufächern genutzt. Besonders Konzept B eignet sich aufgrund nur einer Liege für großzügig ausgelegte Verstaumöglichkeiten.

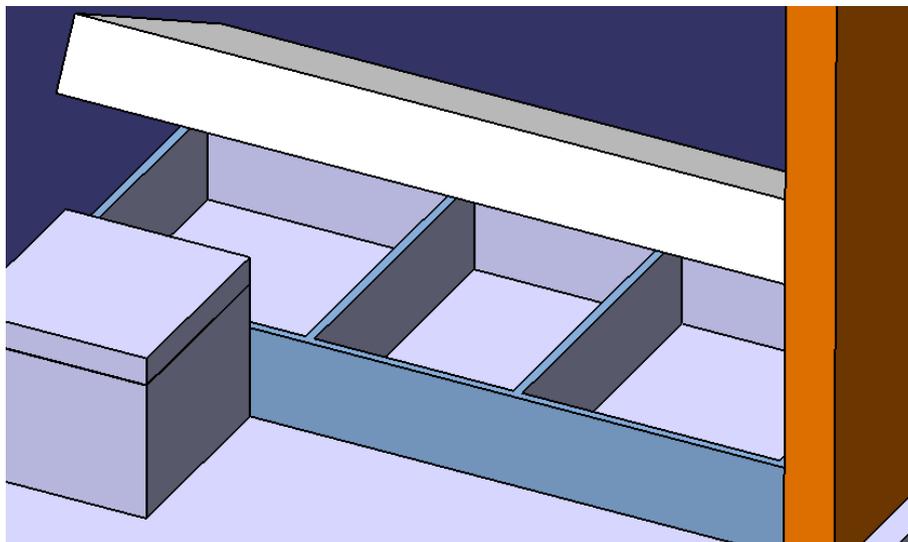


Abbildung 53: Staufach unterhalb der Liege

<sup>226</sup> vgl. Hoepke et al., 2013, S.219

## 6 Fazit

Die Arbeit zeigt, dass der Nutzfahrzeugsektor einem ständigen Wandel ausgesetzt ist. Zur Bewahrung der Konkurrenzfähigkeit bedarf es einer ständigen Weiterentwicklung der Nutzfahrzeuge.

Eine besonders markante Änderung der äußeren Erscheinungsform des Fahrerhauses wird allen Anschein nach im Verlauf der nächsten zehn Jahre aufgrund einer veränderten gesetzlichen Längenbegrenzung eintreten (vgl. Kapitel 0). Diese Änderung kann sich neben einem neuartigen Aussehen positiv auf die Effizienz und Verkehrssicherheit von Nutzfahrzeugen auswirken. Das Ergebnis der durchgeführten aerodynamischen Optimierung zeigt eine mögliche neue Form der Fahrzeughülle, welche zu einer Verbesserung der erwähnten Eigenschaften führen soll. Bevor die entwickelte Form weiter verfolgt wird, bedarf es allerdings einer exakten Untersuchung der Formgüte, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden konnte.

Des Weiteren offenbart die vorliegende Arbeit, dass durch die Gesetzesänderung nicht nur eben erwähnte Vorteile realisiert werden können, sie stellt darüber hinaus die Chance dar, das Innenraumkonzept von Nutzfahrzeugen multilateral zu überarbeiten. Die aerodynamisch optimierte Fahrzeughülle bildet dabei die Grundlage für die frei von bestehenden Lösungen erarbeiteten Konzepte.

Vor der Entwicklung der beiden Konzepte wurde versucht, diesen eine divergente Charakteristik zu verleihen, um einen klaren Kontrast zwischen den beiden Lösungen zu erzeugen. Allerdings zeigt die Konzeption, dass trotz verschiedener Lösungswege, einige Überschneidungen zwischen den beiden Konzepten auftreten. So wurden beinahe dieselben Anforderungen an den Fahrzeugautomatisierungsgrad, das Steuerelement, den Interaktionsraum sowie die Art und Weise der Interaktion gestellt.

Die Position des Fahrersitzes ist der augenscheinlichste Unterschied zwischen den Konzepten. Trotz der vielen übereinstimmenden Zielgrößen in der Konzeptionsphase, resultiert aus dem Paradigmawechsel von einer seitlichen zu einer zentralen Fahrerposition der deutlichste Unterschied der Konzepte. Die Tatsache, dass Fernverkehrs-Nutzfahrzeuge größtenteils von lediglich einer Person genutzt werden, berechtigt diese Entscheidung.<sup>227</sup> Die neugewählte Position ermöglicht eine großzügige Auslegung der Interaktionselemente am Fahrerarbeitsplatz. Zudem könnte die Übersicht über das Fahrzeug und das Verkehrsgeschehen positiv beeinflusst werden.

---

<sup>227</sup> vgl. Michel, 2013, S.185

Die weiteren Bereiche des Fahrerhauses profitieren ebenfalls vom hinzugewonnenen Raum. Dieser ermöglicht eine übersichtliche Einteilung des Fahrerhauses in Küche (in Fahrtrichtung links), den Fahrerarbeitsplatz (zentral), Büro und Esszimmer (in Fahrtrichtung rechts) und dem Schlaf- und Ruhebereich (in Fahrtrichtung rückseitig). Somit kann sowohl eine bislang selten anzutreffende Tischfläche, als auch ein variables Küchenkonzept in das Fahrerhaus integriert werden. Mit diesen Maßnahmen wird auf die vermehrt zu beobachtende Personalisierung des Fahrerhauses durch den Fahrer reagiert.<sup>228</sup> Die Grundausstattung wird verbessert und der individuelle Einbau von Geräten erleichtert.

Einen weiteren Vorteil stellt die Baugleichheit für alle Märkte dar. Es muss kein Unterschied zwischen links- und rechtsgelenkten Fahrzeugen gemacht werden, wodurch erheblich größere Synergien erzeugt und Kosten gespart werden können.

Zu befürchten ist, dass der Nutzfahrzeugmarkt einer derartigen Veränderung des Produkts mit Skepsis entgegentreten könnte. Der Fahrerplatz an der Fahrzeugseite hat sich im Verlauf der Jahrzehnte bewährt und ist zur Gewohnheit geworden. Daher sollte zunächst geprüft werden, wie groß die Akzeptanz für einen zentralen Fahrerarbeitsplatz ist.

Zudem darf die erhebliche Einschränkung durch den Wegfall des vollwertigen Beifahrersitzes nicht außer Acht gelassen werden. Auch wenn zurzeit meist nur eine Person im Fernverkehrsfahrzeug eingesetzt wird, kann dies in Abhängigkeit der Branche und des Einsatzgebiets des Fahrzeugs variieren, was es ebenfalls zu prüfen gilt.

Des Weiteren sollte die Notwendigkeit von zusätzlichen Anzeigen im Nutzfahrzeug überdacht werden. Zwar gelingt die Transformation von Fahrerplatz zu Arbeitsplatz durch zusätzliche Anzeigeelemente, wie sie auch an konventionellen Büroarbeitsplätzen anzutreffen sind, erheblich besser, allerdings ist in der Automobilindustrie der Trend zu weniger, dafür multifunktionelleren Anzeigen zu erkennen. Als Beispiel kann das *Virtual Cockpit* der Marke *Audi* genannt werden, welches alle Funktionen des Infotainment und Kombiinstrument in einem zentralen Display vereint.<sup>229</sup>

Die computergestützte Konstruktion bringt die Möglichkeit, die zuvor lediglich skizzierten und erklärten Konzepte in virtuelle Umgebung darzustellen, wodurch die theoretische Umsetzbarkeit der Modelle sichergestellt werden kann. Erst durch diesen Schritt kann eine exakte räumliche Einschätzung realisiert werden, welche als Grundlage für das Wohnraumkonzept verwendet wird. Außerdem bringt die Konzeptumsetzung die Möglichkeit einer ergonomischen Untersuchung und Anpassung in der Frühphase der Produktentwicklung. Das Ergebnis der Untersuchung verlangt die

---

<sup>228</sup> vgl. Michel, 2013, S.120

<sup>229</sup> vgl. [http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung\\_durch\\_technik/content/2014/03/audi-virtual-cockpit.html](http://www.audi.de/de/brand/de/vorsprung_durch_technik/content/2014/03/audi-virtual-cockpit.html)

Anpassung des CAD-Modells. Dies ermöglicht die Durchführung einer prospektiven Evaluierung, welche zeigt, dass die Konzepte ergonomischen Anforderungen genügen.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Arbeit lag in der Entwicklung von Konzepten für Lkw-Fahrerhäuser der Zukunft. Dabei wurden Megatrends, aktuelle bzw. sich wandelnde Gesetzgebungen und neue auf den Automobilmarkt drängende Technologien berücksichtigt. Hierfür wurde ein methodischer Produktentwicklungsprozess angewendet, indem zunächst unter Anwendung von Kreativmethoden Lösungswege gewählt und die hohe Komplexität des Produkts reduziert wurden. Des Weiteren wurden Lösungen für abgegrenzte Teilbereiche des Lkw-Fahrerhauses mit besonderer Wichtigkeit gefunden. Dies gelang auf Basis von Literaturrecherchen und Benchmark-Analysen durch Herbeiführen von Entscheidungen mittels Bewertungsmatrizen und definierten Bedingungen. Neue Technologien, welche unter den aktuell gültigen gesetzlichen Bestimmungen im Nutzfahrzeug nicht eingesetzt werden dürfen, wurden unter der Annahme der Legalität in Zukunft berücksichtigt. Zudem wurden Normen und Konstruktionsempfehlungen für Nutzfahrzeuge, aber auch für verwandte Themenbereiche, herangezogen, auf Anwendbarkeit überprüft und berücksichtigt. Außerdem konnte in Zusammenarbeit mit der MAN Truck & Bus AG ein eigenes Konzept zur Kombination von Fahrerplatz und Arbeitsplatz entwickelt und als Erfindung gemeldet werden, welches ebenfalls in die Fahrerhauskonzepte integriert wurde. Aus den Teillösungen sind zwei Konzepte entstanden, welche zunächst in virtuelle Umgebung übertragen und mit Hilfe von Werkzeugen der virtuellen Ergonomie untersucht wurden. Dies ermöglichte das digitale Menschmodell-Programm RAMSIS, mit dessen Hilfe die Ergonomie der Fahrerhauskonzepte für charakteristische Körpergrößen von Lkw-Fahrern des Jahres 2035 überprüft werden konnte. Hierfür wurden Analysen durchgeführt auf deren Grundlage die Fahrerhauskonzepte modifiziert wurden, wodurch die Gültigkeit der Konzepte gesteigert werden konnte. Die durchgeführten Analysen zeigten, dass sich Normen und Konstruktionsrichtlinien für eine grobe Einschätzung des Raumes eignen, sie ersetzen allerdings nicht die Werkzeuge der virtuellen Ergonomie. Zudem ist für eine Einsparung der Kosten über den gesamten Produktentwicklungsprozess der Einsatz der virtuellen Ergonomie nicht zu unterschätzen. Somit kann die ergonomische Auslegung von Produkten bereits in der Frühphase der Produktentwicklung sichergestellt werden.

Auch wenn einige Kernthemen im Verlauf der Konzeptentwicklung im Rahmen dieser Arbeit behandelt wurden, konnte letztendlich nur ein kleiner Schritt bei der Entwicklung eines neuartigen Fernverkehr-Fahrerhauses durchgeführt werden. Die Entwicklung eines derartig komplexen Produktes bedarf einer jahrelangen Entwicklung, um Markttauglichkeit zu erlangen.

Neue Trendentwicklungen oder sich ändernde äußerer Einflüsse (z.B. neue Gesetzgebung) können in Zukunft zu einer Konzeptanpassung führen. Des Weiteren ist zu

beobachten, ob getätigte Annahmen bezüglich der Legalität zukunftssträchtiger Technologien tatsächlich in dieser Form eintreten werden. Zudem bedarf es einer Evaluierung des Steuerkonzepts, welches die Kombination von Fahrer- und Büroarbeitsplatz ermöglicht. Ebenfalls einer Evaluierung bedarf das Interaktionskonzept bestehend aus Stellteil und Touchpad als zentrales Bedienelement einer umfangreichen Bediensoftware, wodurch sich die Anzahl der individuell belegten Taster reduzieren lässt, sowie einem Touchscreen zur Texteingabe, komplementiert durch redundante Steuermöglichkeiten durch Sprache und Gesten.

Die Entwicklung von neuen Fahrzeugkonzepten in der Nutzfahrzeugbranche ist ein wichtiges Element der Zukunftsforschung. Besonders aufgrund von veränderten äußeren Gegebenheiten könnte sich der Bedarf an überzeugenden und breit nutzbaren Fahrzeugkonzepten steigern. Letztendlich konnten einige in dieser Form noch nicht existierende Lösungen im Zuge der Konzeptentwicklung vorgestellt werden, welche in zukünftigen Projekten einen Platz finden sollten.

## 8 Literaturverzeichnis

Abel, H.-B.; Blume, H.-J.; Brabetz, L.: Elektrik/Elektronik/Software, in: Braess, H.; Seiffert, U. (Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 7. Auflage, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2013

Baumeister, M.; Kohnen, T.: Akkommodation und Presbyopie, in: Der Ophthalmologe, Volume 105, Issue 6 (2008), S.597-610

Brandenburg, E.; Doria, L.; Gross, A.: Grundlagen und Anwendungen der Mensch-Maschine-Interaktion, 10. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin, Techn. Univ., 2013

Bubb, H.: Fahrerassistenz, primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit?, in: Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Anforderungen, Anwendungen, Aspekte für Mensch-Maschine-Systeme. Tagung der VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Braunschweig, 2. und 3. Juni 2003, S.25-44, VDI-Verlag GmbH, Braunschweig, 2003

Bubb, H.: Automobilergonomie, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2015

Dekker, S.W.A., Woods, D.D.: MABA-MABA or abracadabra?, Progress on human automation coordination, in: Carsten, O.; Vanderhaegen, F. (Hrsg.): Cognition, Technology & Work, Volume 4 Issue 4, 2002, S.240-244

DIN 70 020, Straßenfahrzeuge; Kraftfahrzeugbau, Teil 1: Begriffe und Abmessungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1993

DIN EN ISO 3411, Erdbaumaschinen, Körpermaße von Maschinenführern und Mindestfreiraum, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007

DIN EN ISO 5353, Erdbaumaschinen sowie Traktoren und Maschinen für Land- und Forstwirtschaft, Sitzindexpunkt, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999

DIN EN ISO 6682, Erdbaumaschinen – Stellteile, Bequemlichkeitsbereiche und Reichweitenbereiche, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2009

DIN EN ISO 894-4, Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen, Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen; Beuth Verlag GmbH, Berlin 2010

DIN ISO 4130, 3-dimensionales Bezugssystem und primäre Bezugspunkte, Definitionen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1979

ESoP, Commission recommendation of 21 December 1999 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: a European statement of principles on human machine interface, Official Journal of the European Communities, 2000

Frank, T.: Aerodynamik von schweren Nutzfahrzeugen -Stand des Wissens-, Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V., Berlin, 2012

Franz, B.; Kauer, M.; Schreiber, M.: Maneuver-Based Driving Today and in the Future - Development of a New Human-Machine Interface for Conduct-by-wire, in: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): 6.VDI-Tagung, Der Fahrer im 21. Jahrhundert, Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienung, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2011, S.295-306

Gasser, T.M.; Arzt, C.; Ayoubi, M.: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung, in: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Unterreihe „Fahrzeugsicherheit“, Heft F 83,11 (2012)

Hakuli S.; Bruder R.; Flemisch, F.O.: Kooperative Automation, in: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, 2. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Darmstadt, 2012, S.641-650

Hoepke, E.; Breuer, S.: Nutzfahrzeugtechnik, Grundlagen, Systeme, Komponenten, 7. Auflage, Springer Vieweg Verlag, Velbert und Weinheim, 2013

Homann, K.: Wirtschaft und gesellschaftliche Akzeptanz: Fahrerassistenzsysteme auf dem Prüfstand., in: Maurer, M.; Stiller, C. (Hrsg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005, S.239–244

Indinger, T.; Devesa, A.: Verbrauchsreduktion bei Nutzfahrzeug-Kombinationen durch aerodynamische Massnahmen, in: ATZ, AUTOMOBILTECHNISCHE ZEITSCHRIFT, 07-08 (2012), S.628-634

Kammel, S.: Autonomes Fahren, in: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G.(Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, 2. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Darmstadt, 2012, S.651-657

Kauer, M; Schreiber, M.; Bruder, R.: How to conduct a car? A design example for maneuver based drivervehicle interaction, in: 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, San Diego, 2010, S.1214-1221

Krupenia, S.; Selmarker, A.; Fagerlön, J.: The 'Methods for Designing Future Autonomous Systems' (MODAS) Project: Developing the Cab for a Highly Autonomous

Truck, in: Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014, Kraków, 2014, S.3668 - 3679

Lee, J.D.;Strayer, D.L.: Preface to the special section on Driver Distraction, in: Human Factors, Vol.46 No.4 (2004), S.583-586

Lichtenstein, A.: Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme : 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 7. bis 9. Oktober 2009, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte, Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009

Lohre, D.; Bernecker, T.; Stock, W.:ZF-ZUKUNFTSSTUDIE FERNFAHRER 2.0, Der Mensch im Transport- und Logistikmarkt, EuroTransportMedia Verlags- und Veranstaltungs-GmbH, Stuttgart, 2014

MAN-Nutzfahrzeuge-Gruppe: Grundlagen der Nutzfahrzeugtechnik, Basiswissen Lkw und Bus, MAN Nutzfahrzeuge-Gruppe, München, 2008

Meroth, A.; Tolg, B.: Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug, Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Friedrichshafen, 2008

Michel, B.: Ergonomische Analyse der Fahrerumgebung im Fernverkehrs-Lkw, München, Techn. Univ., Diss., 2013

Msayasu, H., Jtekt Corp., Lenkung für ein Fahrzeug, Patent Nr. DE 603 06 002 T2, 04.01.2007

Nagel, K.: Gruppenspezifische Anthropometrie in der ergonomischen Gestaltung, Brandenburgische Umweltberichte 10, Potsdam, 2001, S. 54-61

Pfeffer, P.; Harrer, M: Lenkungshandbuch, Lenksysteme, Lenkgefühl, Fahrdynamik von Kraftfahrzeugen, Springer Vieweg Verlag, 2013, Wiesbaden

Reif, K.: Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010

SAE J1100 Revides, Motor Vehicle Dimensions, 2002

Schmidke, H.: Ergonomie, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1993

Schulze, K.: Hände weg vom Steuer, in: auto motion, 03 (2014), S.22-23

Spanner-Ulmer, B.; Mühlstedt, J.: Digitale Menschmodelle als Werkzeuge virtueller Ergonomie, Ergebnisse einer empirischen Studie, in: Industrie Management, 04 (2010), S. 69 - 72,

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, VDV 234, Fahrerarbeitsplatz im Niederflur-Linienbus, Köln, 2000

Winner, H.; Weitzel, A.: Quo vadis, FAS, in: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G.(Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, 2. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Darmstadt, 2012, S658-667, (zit. 2012a)

Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, 2. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Darmstadt, 2012, (zit. 2012b)

Ziegler, M.: Nutzfahrzeuge für den globalen Einsatz, in: Schindler, V.; Sievers, I.(Hrsg.): Forschung für das Auto von Morgen, Aus Tradition entsteht Zukunft, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2014, S.193-211

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete in Flussdiagramm-Darstellung .....	7
Abbildung 2: Fahrwiderstandsanteile am Kraftstoffverbrauch .....	17
Abbildung 3: Druckverteilung (li.) und Totwassergebiete (re.) bei Umströmung eines Nutzfahrzeugs.....	18
Abbildung 4: Formgüte verschiedener Fahrzeugtypen Li.: unter idealem Anströmwinkel ( $\beta=0$ ) Re.: unter Schräganströmung.....	19
Abbildung 5: Verlust kinetischer Energie (li. Referenzmodell, mi. Kurzhauber, re. verlängerte Front) .....	19
Abbildung 6: Gesetzliche Längenbegrenzungen für Auflieger und Gesamtfahrzeug im Vergleich EU-USA .....	22
Abbildung 7: Aspekte des Infotainment im Kraftfahrzeug .....	25
Abbildung 8: li.: Verlauf der Anzahl von Anzeige- und Bedienelemente am Beispiel BMW re.: Trends bei Verteilung von Anzeigen am Fahrerplatz.....	26
Abbildung 9: Teilweise freiprogrammierbares Kombiinstrument re.: Konventionelle Anzeige li.: Night-Vision Anzeige (Mercedes S-Klasse W221 - 2005)..	29
Abbildung 10: Kombiinstrument mit getrennten Anzeigen (Volvo V40 – 2012) .....	30
Abbildung 11: FPK mit Rundanzeigen (Jaguar X351 - 2009) .....	30
Abbildung 12: FPK "Virtual Cockpit" (Audi - 2014) .....	30
Abbildung 13: Interaktionselemente im Fahrzeug li.: Dreh-Drück-Steller und Taster nahe der Anzeige (Peugeot 308 CC1,6 THP - 2007) re.: Dreh-Drück- Steller und Taster im unteren Bereich der Mittelkonsole (Audi A3 - 2012) .....	31
Abbildung 14: Berührungsempfindliche Oberflächen im Fahrzeug li.: 17 Zoll Touchscreen (Tesla Model S - 2012); re.: Touchpad (Mercedes C- Klasse - 2014) .....	32
Abbildung 15: Drei-Ebenen-Modell für zielgerechte Tätigkeiten nach Rasmussen (li.) Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges (re.) .....	34
Abbildung 16: Weiterentwicklung der Drei-Ebenen-Hierarchie.....	36
Abbildung 17: Anzeigebild des taktilen Touch-Displays für manöverbasiertes Fahren .....	42
Abbildung 18: Abfolge der Schritte des Münchener Vorgehensmodells.....	44
Abbildung 19: Modularisierung des Fahrerhauses .....	47
Abbildung 20: Maßangaben eines Schwingsitzes .....	60
Abbildung 21: Festlegung der Sitzposition des Konzepts A – Draufsicht .....	65
Abbildung 22: Festlegung der Sitzposition des Konzepts A - Seitenansicht.....	66
Abbildung 23: Festlegung der Sitzposition des Konzepts B - Draufsicht.....	68
Abbildung 24: Festlegung der Sitzposition des Konzepts B - Seitenansicht.....	69
Abbildung 25: li: Sidestick-Konzept 1 (Daimler) re: Sidestick-Konzept 2 (RUVID) ....	72

Abbildung 26: Lenkschieber.....	72
Abbildung 27: Schmetterlingslenkrad Mercedes "G-Code" Konzept .....	73
Abbildung 28: Konzept Rinspeed.....	74
Abbildung 29: Fahrstellung .....	74
Abbildung 30: Arbeitsstellung .....	75
Abbildung 31: Komfortstellung .....	76
Abbildung 32: Sichtlinien im Nutzfahrzeug .....	78
Abbildung 33: Mögliche Umsetzung der Fahrstellung .....	81
Abbildung 34: Mögliche Umsetzung der Arbeitsstellung.....	81
Abbildung 35: Wohnraum Konzept A.....	87
Abbildung 36: Wohnraum Konzept B.....	88
Abbildung 37: RAMSIS Typ Lkw-Fahrer, Perzentile 5, 50 und 95 .....	94
Abbildung 38: Kontaktbedingung zwischen Schuhsohle, Gaspedal und Boden.....	95
Abbildung 39: Anpassung der Lenkrad- und Sitzposition an das Manikin (li.: 5. Perzentil; mi.: 50. Perzentil; re.: 95. Perzentil) .....	95
Abbildung 40: Neigung der Anzeigeelemente (50. Perzentil-Manikin) (li.: Primärdisplay; re.: Sekundärdisplay).....	96
Abbildung 41: Greifschalen li.: Greifschale 95. Perzentil (blau), Greifschale 5. Perzentil (orange); re.: verschnittene Greifschalen (grün).....	97
Abbildung 42: Direktsicht-Analyse .....	97
Abbildung 43: Detaillierte Darstellungen der Direktsicht-Analyse (li.: Primärdisplay; mi.: Sekundärdisplay; re.: Bedieninsel) .....	98
Abbildung 44: Isochrone für Sakkadendauer von 300 ms .....	99
Abbildung 45: Reflektions-Analyse .....	99
Abbildung 46: Presbyopie-Analyse (gelb: 30 Jahre; grün: 50 Jahre; blau: 55 Jahre) .....	100
Abbildung 47: Anordnung der Bedieninsel innerhalb der verschnittenen Greifschale .....	101
Abbildung 48: Verhinderung der Reflexionen durch Hutzen.....	101
Abbildung 49: Liegen, Fernseher und Schranksystem (li.: Konzept A; re.: Konzept B) .....	102
Abbildung 50: Modulares Küchensystem und Kühlschrank (li.: Konzept A; re.: Konzept B).....	103
Abbildung 51: Wohnbereich (li.: Konzept A; re.: Konzept B) .....	103
Abbildung 52: Liegekonzept reduzierter Beifahrersitz .....	104
Abbildung 53: Staufach unterhalb der Liege.....	104

## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeits- und Lenkzeiten für Nutzfahrzeug-Fahrer .....	23
Tabelle 2: Grade der Automatisierung und ihre Definition Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) .....	38
Tabelle 3: Morphologischer Kasten .....	49
Tabelle 4: Modelle Draufsicht Fahrerhaus .....	54
Tabelle 5: Bewertungsmatrix Draufsicht Fahrerhaus .....	55
Tabelle 6: Modelle Seitenansicht des Fahrerhaus .....	58
Tabelle 7: Bewertungsmatrix Seitenansicht Fahrerhaus .....	58
Tabelle 8: Zeichenerklärung Konzept A – Draufsicht .....	65
Tabelle 9: Zeichenerklärung Konzept A – Seitenansicht .....	66
Tabelle 10: Zeichenerklärung Konzept B - Draufsicht .....	68
Tabelle 11: Zeichenerklärung Konzept B – Seitenansicht .....	69
Tabelle 12: Übertragung der Konzepte A und B in virtuelle Umgebung .....	93

# 11 Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
A	Stirnfläche
Abs.	Absatz
ACC	Adaptive-Cruise-Control
AG	Aktiengesellschaft
Ao	Außerordentlich
AP	Augpunkt
Art.	Artikel
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMW	Bayrische Motoren Werke
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	computer aided design
CFD	computational fluid dynamics
cm	Zentimeter
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
c <sub>p</sub>	Druckbeiwert
c <sub>w</sub>	Luftwiderstandsbeiwert
DIN	Deutsches Institut für Normung
Dipl.-Ing.	Diplom Ingenieur
Diss.	Dissertation
Dr.	Doktor
EC	European Comission
EG	Europäische Gemeinschaft
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
F	Kraft
Fa.	Firma
FAS	Fahrerassistenzsystem
FDIS	Final Draft International Standard
F <sub>L</sub>	Luftwiderstand
FPK	Freiprogrammierbares Kombiinstrument
ggfs	gegebenenfalls
gew.	gewichtet
GHz	Gigahertz
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung

h	Stunde
HPD	H-Point Design Tool
HPM	H-Punkt-Machine
Hrsg.	Herausgeber
HUD	Head-Up-Display
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
km	Kilometer
li.	links
LKS	Lane-Keep-Support
Lkw	Lastkraftwagen
m	Meter
MAN	Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
mi.	mittig
mm	Millimeter
MODAS	Methods for Designing Future Autonomous Systems
Mrd.	Milliarden
ms	Millisekunde
MVM	Münchener Vorgehensmodell
n.v.	nicht vorhanden
No	Number
Nr.	Nummer
o.Ä.	oder Ähnliches
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OEM	Original Equipment Manufacturer
Pkw	Personenkraftwagen
Prof.	Professor
RAMSIS	Rechnergestütztes Anthropologisch-Mathematisches System zur Insassen Simulation
re.	rechts
RUVID	Red de Universidades Valencianas para el fomento de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación
s	Sekunde
S.	Seite
SIP	Sitzindexpunkt
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
Techn.	Technische
t	Tonnen
tkm	Tonnenkilometer

TV	Television
u.a.	unter anderem
u.Ä.	und Ähnliches
UN	United Nations
ungew.	ungewichtet
Univ.	Universität
US	United States
USA	United States of America
UV	Ultraviolett
v	Geschwindigkeit
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
vgl.	vergleiche
Vol	Volume
z.B.	zum Beispiel
$\beta$	Winkel Beta
$\rho$	Dichte