

Systemergonomische Analyse von Anzeige- und Bedienkonzepten zur Unterstützung des Parkvorgangs

Christian Doisl



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

**Lehrstuhl für Ergonomie
der Technischen Universität München**

**Systemergonomische Analyse von Anzeige- und
Bedienkonzepten zur Unterstützung des Parkvorgangs**

Christian Doisl

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb
2. Univ.-Prof. Gudrun J. Klinker, Ph.D.

Die Dissertation wurde am 22.11.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 25.04.2008 angenommen.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit in der Fahrzeugentwicklung für Fahrerassistenzsysteme bei der BMW Group in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München. Deshalb möchte ich mich auch zu aller erst bei meinem Doktorvater, Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Heiner Bubb bedanken, der mich bei meiner Arbeit stets unterstützt und immer ein offenes Ohr für mich hatte. Außerdem trug er durch seine äußerst produktiven Beiträge sehr zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Als nächstes möchte ich meinen besonderen Dank an den Initiator dieser Arbeit, Herrn Dr. Peter Lehnert richten, auf dessen Hilfe jeglicher Art ich mich stets verlassen konnte. Ebenso möchte ich mich an dieser Stelle recht herzlich bei den Herren Dr. Matthias Kopf, Artur Russ und Armin Zeller für Ihr Vertrauen in meine Fähigkeiten bedanken.

Für umfangreiche Unterstützung durch Versuchsträgerumbauten und -beschaffung richte ich meinen speziellen Dank an Mirko Funk, Renaud Debon und Dr. Robert Neuss.

Bei allen von mir betreuten Diplomanden, Praktikanten und Werkstudenten möchte ich mich hiermit ebenfalls recht herzlich bedanken, da sie mich bei meinen Untersuchungen sehr unterstützt haben, voran Andreas Discher, Alper Güven und Till Reymann.

Ferner bedanke ich mich recht herzlich bei Nima Farid und Christian Lange sowie Sascha Bembenek und Bernd Scheunert für Ihre zahlreichen und sehr fruchtbaren Diskussionen, nicht nur in Bezug auf meine Arbeit, sondern ebenso auf interdisziplinärer Ebene.

Last but not least hat meine Familie und meine Lebensgefährtin Paulina meinen herzlichsten Dank verdient, da sie mich unterstützt und sehr viel Geduld für mich aufgebracht haben.

München im November 2007

Christian Doisl

Abstract

Deutsch:

Bisher wurden zahlreiche Untersuchungen zur Unterstützung der Längs- und Querverführung im Bereich der primären Fahraufgabe (siehe bei Bubb [72], Tsimhoni [85], Doisl [14], Kopf [42], Sacher [70], u.v.m) durchgeführt. Das Parken bzw. die Parkstandsuche wurde jedoch nur verkehrstheoretisch betrachtet, um Modelle zu entwickeln, die den Einfluss des Parkens und Parkstandsuchens auf den Verkehrsfluss beschreiben. Mit dem Einsatz unterschiedlichster Parkassistenzsysteme wie z. B. die Park-Distanz-Kontrolle, Rückfahrkamera oder semiautomatischer Einparkassistent zur Unterstützung dieses Teilbereichs der primären Fahraufgabe, besteht nun die Notwendigkeit, dieses Thema systemergonomisch zu betrachten und die Bedürfnisse des Fahrers bei der Benutzung unterschiedlichster Systeme in den Vordergrund zu stellen.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb zuerst eine Bedarfsanalyse durchzuführen. Diese Analyse beinhaltet eine ergonomische Ist-Analyse, indem das Parken und die Parkstandsuche ohne Fahrerassistenzsysteme in Form von Flussdiagrammen dargestellt wird, um Verbesserungs- und Assistenzpotenzial aufzuzeigen. Außerdem werden Realversuche dazu verwendet, objektive und subjektive Daten über das Parken und die Parkstandsuche ohne Assistenzsysteme zu erhalten. Dabei sollen unterschiedliche Methoden analysiert werden, wie die Parkqualität bzw. die Fahrleistung des Parkens ermittelt werden kann. Anschließend wird ein gesamtintegratives Anzeige- und Bedienkonzept für den aus der Bedarfsanalyse erschlossenen Unterstützungsbedarf konzipiert. Nach der Evaluierung des integrativen Lösungsansatzes werden ergonomische Regeln für das Parken mit und ohne Fahrerassistenzsysteme aufgestellt. Abschließend werden die in dieser Arbeit verwendeten Methoden bewertet.

English:

Numerous ergonomic examinations to assist the linear track and cross rail of the primary driving task (siehe bei Bubb [72], Tsimhoni [85], Doisl [14], Kopf [42], Sacher [70], et. al.) were conducted till now. Parking or the parking lot search was looked at, however, only traffic theoretically to develop models who describes the influence of parking and parking lot search on traffic. With the introduction of many different parking assistance systems, such as the parking distance control, rearview camera or semi-automatic parking assistant for the support of this part of the primary driving task is the necessity now to look at this topic ergonomically and to focus on the needs of drivers while using different assisting systems.

It is therefore aim of this work first to carry out a demand analysis. This analysis contains an ergonomic „As Is“ analysis by parking and the park lot search being represented without driver assistance systems by flow charts to show improvement and assistance potential. In addition, real attempts are used to receive objective and subjective data about parking and the park lot search without assistance systems. Different methods are analysed, how the parking quality and the parking performance can be defined. After that, a complete integrated advertisement and usability concept will be conceived, based on the being analysis. After the evaluation of the integrated solution concept, ergonomic rules will be defined. Finally, the methods employed in this work will be assessed.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|------------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Motivation | 1 |
| 1.2 | Zielsetzung | 4 |
| 1.3 | Aufbau der Arbeit | 5 |
| 2 | Einführung in die Thematik und Begriffsklärung | 9 |
| 2.1 | Definition Parken | 9 |
| 2.2 | Parksituationskatalog | 10 |
| 2.3 | Stand der Technik | 13 |
| 2.4 | Bewertung aktueller Parkassistenzsysteme und Anzeigekonzepte | 15 |
| 3 | Bedarfsanalyse | 21 |
| 3.1 | Umfrage zum Bedarf an Parkassistenzsystemen | 21 |
| 3.2 | Ergonomische Ist-Analyse der Parkstandsuche | 26 |
| 3.2.1 | Hypothesen und Ziele des Versuchs | 26 |
| 3.2.2 | Versuchskonzeption und -durchführung | 28 |
| 3.2.3 | Untersuchungsergebnisse | 40 |
| 3.2.4 | Hypothesenverifizierung anhand der Empirie | 53 |
| 3.3 | Ergonomische Ist-Analyse des Parkvorgangs | 54 |
| 3.3.1 | Veränderung Fahrzeugdesign und Auswirkungen auf Sichtkegel | 56 |
| 3.3.2 | Versuchshypothesen | 59 |
| 3.3.3 | Versuchskonzeption und -durchführung | 59 |
| 3.3.4 | Untersuchungsergebnisse | 61 |
| 3.4 | Parkanalyse mithilfe der Flussdiagrammtechnik | 70 |
| 3.4.1 | Analyse der Parkstandsuche | 70 |
| 3.4.2 | Analyse des Einparkens | 72 |
| 3.4.3 | Analyse des Ausparkens | 74 |
| 3.5 | Zusammenfassung Bedarfsanalyse | 75 |
| 4 | Konzepterstellung und Realisierung einer Parkassistenz | 77 |
| 4.1 | Warnung des rückwärtigen Verkehrs | 79 |
| 4.2 | Sichterweiterungsassistent | 89 |
| 4.3 | Führungsassistenz | 100 |
| 5 | Versuchskonfiguration zur Konzeptevaluierung der Sichtenerweiterung | 107 |
| 5.1 | Versuchsdesign | 108 |
| 5.2 | Messgrößen u. -methoden | 109 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.3 | Versuchsplanung | 111 |
| 5.4 | Versuchsdurchführung | 111 |
| 6 | Untersuchungsergebnisse Sichtenerweiterung | 115 |
| 6.1 | Datenaufbereitung und -analyse | 115 |
| 6.2 | Auswertung objektive Daten | 115 |
| 6.3 | Auswertung subjektive Daten | 121 |
| 7 | Versuchsdesign zur Konzeptevaluierung der Führungsassistenz | 127 |
| 8 | Untersuchungsergebnisse Führungsassistenz | 131 |
| 8.1 | Auswertung objektive Daten | 131 |
| 8.2 | Auswertung subjektive Daten | 133 |
| 9 | Schlussfolgerung und Ausblick | 139 |
| 9.1 | Ergonomische Empfehlungen | 139 |
| 9.2 | Konzeptempfehlungen | 144 |
| 9.3 | Methodenbewertung | 145 |
| | Literaturverzeichnis | 155 |
| | Abkürzungsverzeichnis | 157 |
| | Abbildungsverzeichnis | 161 |
| A | Anhang | 165 |
| A.1 | Fragebögen | 165 |
| A.1.1 | NASA-TLX | 165 |
| A.1.2 | Konzeptevaluierung Sichtenerweiterung | 166 |
| A.1.3 | Konzeptevaluierung Führungsassistenz | 172 |

1 Einleitung

1.1 Motivation

In den letzten Jahren erhalten Parkassistenzsysteme (PAS) immer mehr Einzug in das Automobil. Dabei geht die Evolution dieser Assistenten von der Abstandsmessung über Sichtenerweiterung durch Kamerasysteme bis hin zum semiautomatischen bzw. automatischen Einparken. Ultraschallbasierte Assistenten und Kamerasysteme sind heute schon für viele Fahrzeuge erhältlich, semiautomatische und automatische Parkhilfen werden in den kommenden Jahren zur Verfügung stehen.

Betrachtet man die historische Entwicklung der Fahrzeuggeometrie näher, kann festgestellt werden, dass die Fahrzeugkanten seit Anfang der 80iger Jahre immer schlechter für den Fahrer ersichtlich sind. Um ein Fahrzeug ohne zusätzliche Unterstützung einzuparken ist es jedoch notwendig, diese Kanten von der Fahrerposition aus zu sehen. Das heutige Design fast aller Fahrzeugklassen erfüllt diese Anforderung jedoch nicht vollständig, weshalb bei einigen Modellen weder durch einen Blick in den Innenspiegel noch durch eine Kopfdrehung des Fahrers, die hinterste Kante der Heckklappe ersichtlich ist. Auch die Fahrzeugfront ist durch das Design so verändert worden, dass die vordere Kante von der Fahrerposition aus gesehen nicht mehr zu erkennen ist. Zusätzlich wird die Fläche der Fensterscheiben immer kleiner, weshalb der Fahrer immer weniger visuelle Information von der Umwelt aufnehmen kann, was eine ADAC Studie aus dem Jahre 2005 belegt (siehe ADACmotorwelt [1]). In dieser Studie wurde die Rundumsicht unterschiedlichster Fahrzeuge bewertet. Demnach waren ältere Fahrzeuge wie z. B. der BMW 2002 übersichtlicher als heutige Fahrzeuge (vgl. Abb. 1.1).

Abbildung 1.1 zeigt deutlich, wie die Sicht durch die Heckscheibe in den letzten Jahren aufgrund der Designveränderungen eingeschränkt wurde. Der Kinderwagen in Abbildung 1.1 ist somit bei den meisten heutigen Automobilen in dieser speziellen Situation fast gar nicht mehr zu erkennen. Dies könnte in einigen Fällen sogar zu Unfällen führen, da relevante Objekte nicht rechtzeitig bzw. überhaupt nicht wahrgenommen werden.

Aerodynamikvorteile und eine bessere Steifigkeit der Fahrgastzelle, die moderne Fahrzeuge gegenüber Älteren aufweisen, ebenso wie Designmerkmale führten zu dieser Entwicklung. Außerdem können Kopfstützen im Fond die Passagiere bei Unfällen vor gefährlichen Halswirbelerkrankungen schützen. Die Kopfstützen beeinträchtigen jedoch die Sicht, wie Abbildung 1.1 auch verdeutlicht.

Um solche modernen KFZ bequemer und übersichtlicher parken zu können, sind bei vielen Automobilherstellern Parkassistenzsysteme optional erhältlich. Damit wird

dem Fahrer z. B. über ein Display und/oder akustisch über frequenzveränderbare Signaltöne der Abstand zu Objekten angezeigt. Aber nicht nur die eingeschränkte



Abbildung 1.1 : Vergleich rückwärtige Sicht BMW 2002 und Mitsubishi Colt (Quelle: ADAC)

Sicht neuer Fahrzeuge motiviert zu ergonomischen Untersuchungen des Parkens und möglicher Assistenzsysteme. Das Parken ist generell ein schwieriges Fahrmanöver. Zuerst muss, nach dem das Fahrziel erreicht wurde, ein geeigneter Parkstand gefunden werden, wobei das Führen des Fahrzeugs nicht vernachlässigt werden darf. Ist ein Parkstand gefunden, muss der Fahrzeugführer das Automobil anhalten, während sich normalerweise hinter dem Auto der Verkehr staut. Dies erhöht den Stressfaktor, wie eine ADAC-Studie nachweisen konnte (siehe ADACmotorwelt [2]). Demnach bewerteten Autofahrer nach Zeitdruck und extrem dichten Verkehr die Parkstandsuche als stark belastend.

Anschließend muss der Fahrer noch so schnell wie möglich in die Parklücke einparken, damit der rückwärtige Verkehr so kurz wie unbedingt notwendig behindert wird. Bei ausreichend großen Parklücken stellt das unter normalen Umständen kein Problem dar. In Städten, wo die Parkstandverfügbarkeit abhängig von der Tageszeit meistens gering ist, werden auch sehr enge Parkstände genutzt, was mehrfaches Rangieren zur Folge haben kann. Dies erhöht unter Umständen den Stressfaktor zusätzlich.

Parken findet bei jeder Fahrt mindestens zweimal statt: Bei Fahrtbeginn muss das Fahrzeug ausgeparkt, bei Fahrtende eingeparkt werden. Auf dem Weg zum Ziel können natürlich noch verschiedene Zwischenstopps eine Rolle spielen. Somit stellt das Parken eine relativ häufige Verkehrssituation dar, was die Notwendigkeit der Durchführung einer ergonomischen Analyse dieses Teils der primären Fahraufgabe unterstreicht.

Riel [69] zeigte in seiner Arbeit „Modellierung von Störungen des Verkehrsablaufs durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand“, dass Parkmanöver die Verkehrssicherheit eher gering beeinflussen. Unfälle beim Parken haben deshalb meistens Bagatellschäden zur Folge. Am häufigsten beeinträchtigen Parkmanöver den Verkehrsfluss, wenn sie rechts rückwärts durchgeführt werden. Dies liegt darin begründet, dass rückwärtige Fahrzeuge sehr dicht auf die Einparkenden auffahren und somit kaum die Möglichkeit haben zu überholen, ohne vorher zurückzusetzen. Folgende Kon-

flikte bzw. Behinderungen können parkstandabhängig auftreten: Behinderung des rückwärtigen Verkehrs, Konflikte mit Radverkehr beim Ausparken, Behinderung des fließenden Verkehrs durch Ausparken und generelle Sicherheitsprobleme. Assistenzsysteme für solche Verkehrssituationen könnten deshalb dazu beitragen, den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Um das Unfallpotenzial von Parkmanövern zu verdeutlichen dient Abbildung 1.2. Aus dieser Grafik kann leicht abgelesen werden, dass immerhin 3% aller Unfälle mit

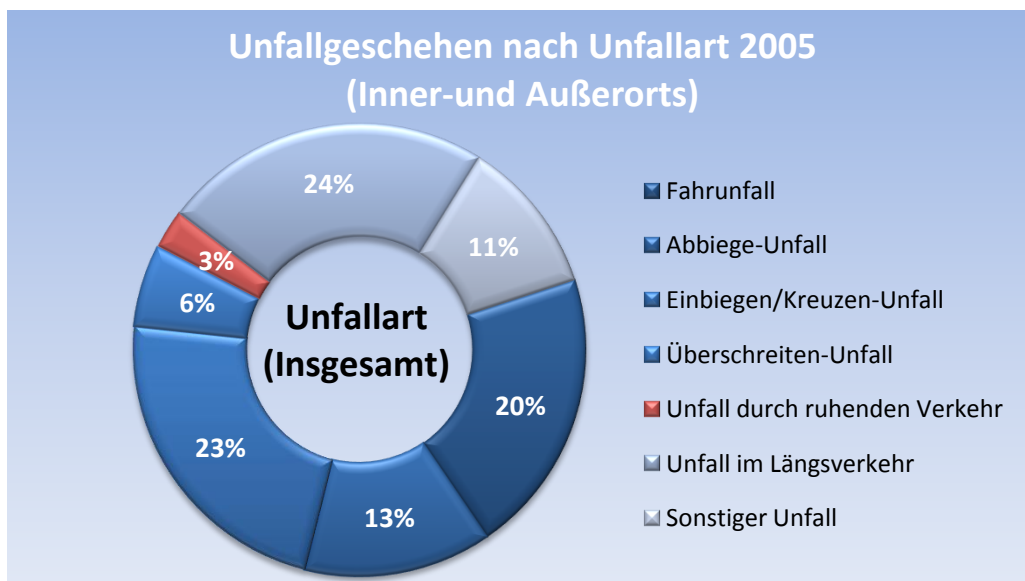


Abbildung 1.2 : Verkehrsunfälle nach Unfallart 2005 (Statistische Bundesamt, 2005)

Personenschaden in Deutschland dem Parken und Rangieren zugeschrieben werden können. Fahrerassistenzsysteme, die in diesen Verkehrssituationen ansetzen, haben demnach das Potenzial, die Unfallhäufigkeit von Personenschäden zu verringern.

Welcher Art diese Unfälle sein können, beschreibt folgendes tragisches Beispiel, berichtet von der Süddeutschen Zeitung [51]: Ein Mann überrollte beim Rückwärtsfahren seine Frau mit Kind, obwohl in dem Auto eine Parkdistanzkontrolle (PDC) verbaut war. Die Frau zog sich dabei Rippenfrakturen und eine Beckenverletzung zu, während das neun Monate alte Kind im Krankenhaus seinen inneren Verletzungen erlag. Bis zur Veröffentlichung dieses Artikels war unklar, ob der Unfall wegen eines Systemversagens oder einer Fehleinschätzung des Fahrers so folgenschwer endete. Dieser Unfall dient als Beispiel dafür, dass sogar mit Fahrerassistenzsystemen Unfälle nicht gänzlich vermieden werden können. Außerdem stellt sich die Frage, ob die Parkdistanzkontrolle mit den derzeitigen angebotenen Anzeige- und Bedienkonzepten ein geeignetes Assistenzsystem für das Rückwärtsfahren ist und wie diese Systeme verbessert werden können, um die Unfallzahlen weiter zu verringern.

Aber auch Bagatellschäden, die in der Unfallstatistik 1.2 nicht aufgeführt sind, können zu einem großen Ärger führen. Bei heutigen Fahrzeugmodellen sind die Stoßstangen so in die Front- und Heckschürzen integriert, dass ein leichtes touchieren

kostenintensive Lackschäden zur Folge haben kann.

Parkassistenten können jedoch nicht nur zur Sicherheit beitragen, sondern natürlich auch den Diskomfort erheblich verringern. Vor allem ältere Fahrer können sich nicht mehr so leicht umdrehen, um rückwärtszufahren oder einzuparken. Systeme, die entsprechend über ein Kamerabild die Umgebung des Fahrzeugs darstellen, hätten somit einen zusätzlichen Vorteil vor allem für ältere Fahrzeugführer, da Kopfdrehungen nicht mehr notwendig wären.

Ein weiterer Motivationsgrund für die ergonomische Untersuchung von Parkassistenzsystemen ist das weiterhin steigende Verkehrsaufkommen in den nächsten Jahren. Steinebach [81] beschreibt, dass nicht nur außerhalb, sondern auch in den Städten der Verkehr drastisch zunehmen wird. Dies bedeutet ebenfalls eine Erhöhung des Parkstandsuchverkehrs und der parkenden Fahrzeuge. Da die baulichen Maßnahmen zur Erweiterung von Parkständen nicht in dem Maße steigen, wie das Verkehrsaufkommen wachsen wird, werden insgesamt weniger innerstädtische Parkstände zur Verfügung stehen. Somit werden die Fahrzeugführer gezwungen sein, engere Parkstände zu nutzen. Außerdem müssen mehr Zeit aufbringen, Parkstände zu suchen - was natürlich den Parkstandsuchverkehr erhöht - bzw. verstärkt auf kostenpflichtige Parkstände und Parkhäuser ausweichen. Zur Erhöhung der Sicherheit und des Komforts ist es deshalb notwendig, ergonomisch sinnvolle Parkassistenzsysteme zur Verfügung zu stellen.

Zuletzt noch einmal die wesentlichen Punkte zusammengefasst, die dazu motivieren, das Parken und Rangieren systemergonomisch zu untersuchen, um daraus ergonomische Empfehlungen und Regeln abzuleiten:

- Neue Parkassistenzsysteme im Automobil
- Einschränkung der Rundumsicht bei neuen Fahrzeugen
- Parken ist ein schwieriges Manöver
- Verkehrsflussstörung durch Einparken u. Parkstandsuchen
- Unfälle beim Parken und Rangieren
- Diskomfortempfinden beim Ein- und Ausparken
- Zunahme des Verkehrsaufkommens und damit auch des Parkstandsuchverkehrs

1.2 Zielsetzung

Aufgrund der oben angeführten ADAC-Studien und der Einführung neuer Assistenzsysteme im Bereich Parken und Rangieren, sowie Unfallstatistiken und nachgewiesenen Verkehrsflussstörungen durch Parkende und Parkstandsuchende stellt sich die Frage, welche Systeme den Fahrer überhaupt sinnvoll unterstützen bzw. welche Assistenzsysteme der Fahrzeugführer benötigt.

Wegen der historisch belegbaren Designveränderungen von Fahrzeugen, bei denen alle Bereiche des Fahrzeugs von der Fahrerposition aus gesehen ergonomisch gut einsehbar waren (vgl. BMW 2002 in Abb. 1.1), bis hin zu heutigen Fahrzeugen, die teilweise ohne Parkassistenten nicht mehr eingeparkt werden können, besteht nun die Notwendigkeit, diese Veränderungen auf ergonomischer Ebene zu untersuchen.

Somit wird in dieser Arbeit ein Teilbereich der primären Fahraufgabe, die Parkstandsuche und das Parken, systemergonomisch untersucht, um daraus ergonomische Regeln und Evaluierungsmethoden abzuleiten. Dazu werden Einparkvorgänge und Parkstandsuchaufgaben mit und ohne Fahrerassistenzsysteme durchgeführt. Dabei soll hinterfragt werden, wie sich das Parkverhalten mit Älteren im Vergleich zu heutigen Autos verändert hat und wie das Parkstandsuchen ergonomisch einzuschätzen ist. Diese Untersuchungen liefern zusammen mit einer Umfrage und mit der Erstellung von Flussdiagrammen die Möglichkeit der Optimierungsanalyse. Anschließend werden in dieser Arbeit Anzeige- und Bedienkonzepte entwickelt und untersucht, die den Parkvorgang unterstützen. Dabei ergeben sich einige ergonomische Fragen:

- Soll ein Assistenzsystem auf optischer Ebene als Kompensations- oder als Folgeaufgabe ausgelegt werden?
- Wie kann bei einer semiautomatischen Unterstützung beim Überschreiten von Systemgrenzen trotzdem assistiert werden?
- Wie müssen Parkassistenzsysteme ausgelegt werden, dass sie nicht vom Verkehrsgeschehen ablenken?

Schließlich erhält man mit dieser Arbeit einen Gesamtüberblick, wie die Veränderung des Fahrzeugdesigns das Parken beeinflusst. Außerdem werden ergonomische Regeln erstellt, die für die Auslegung unterschiedlichster Assistenzsysteme, angefangen vom Parken ohne technische Unterstützung bis hin zum teilautomatisierten Parken, zukünftig herangezogen werden können. Abschließend werden verschiedene Untersuchungsmethoden für die Evaluierung von Parkassistenzsysteme aufgeführt und bewertet.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach dieser Einleitung werden im zweiten Kapitel zuerst Grundlagen zum Verständnis der Thematik vermittelt und Begriffe erklärt bzw. definiert. Dazu werden die Informationskanäle des Menschen, die Systemergonomie und Fahrerassistenzsysteme näher erläutert, sowie der Begriff „Parken“ definiert. Außerdem werden bereits existierende Fahrerassistenzsysteme im Bereich des Parkens kategorisiert, analysiert und bewertet.

Anschließend wird im dritten Kapitel eine Bedarfsanalyse zum Parken und Parkstandsuchen durchgeführt. Dafür dient eine Umfrage und das Erstellen von Flussdiagrammen, um analytisch die Thematik zu erfassen. Schließlich werden für die Gewinnung von objektiven Daten Realversuche zur ergonomischen Ist-Analyse des

Parkens und Parkstandsuchens durchgeführt.

Das vierte Kapitel dient der Konzipierung einer Parkassistentz auf Basis der ergonomischen Ist-Analyse und der Entwicklung eines gesamtintegrativen Anzeige- und Bedienkonzeptes. Im darauf Folgenden Kapitel wird das Versuchsdesign zur Konzeptevaluierung eines Assistenzsystems zur Sichtenerweiterung für das Parken vorgestellt. Diese Untersuchung wird anschließend ausgewertet und die Ergebnisse interpretiert. Im siebten und achten Kapitel wird ähnlich mit dem Versuch zur Evaluierung eines Systems zur Unterstützung der Fahrzeugführung beim Parken verfahren.

Das neunte Kapitel rundet zusammen mit einem Ausblick diese Arbeit ab, wobei ergonomische Empfehlungen und Regeln aus den Konzeptevaluierungen abgeleitet und die verwendeten Methoden analysiert und bewertet werden.

Folgendes Datengewinnungsschema wurde dabei dieser Arbeit zugrunde gelegt (s. Abb.1.3). Aus der Bedarfsanalyse, der ergonomischen Ist-Analyse, Literaturrecherche

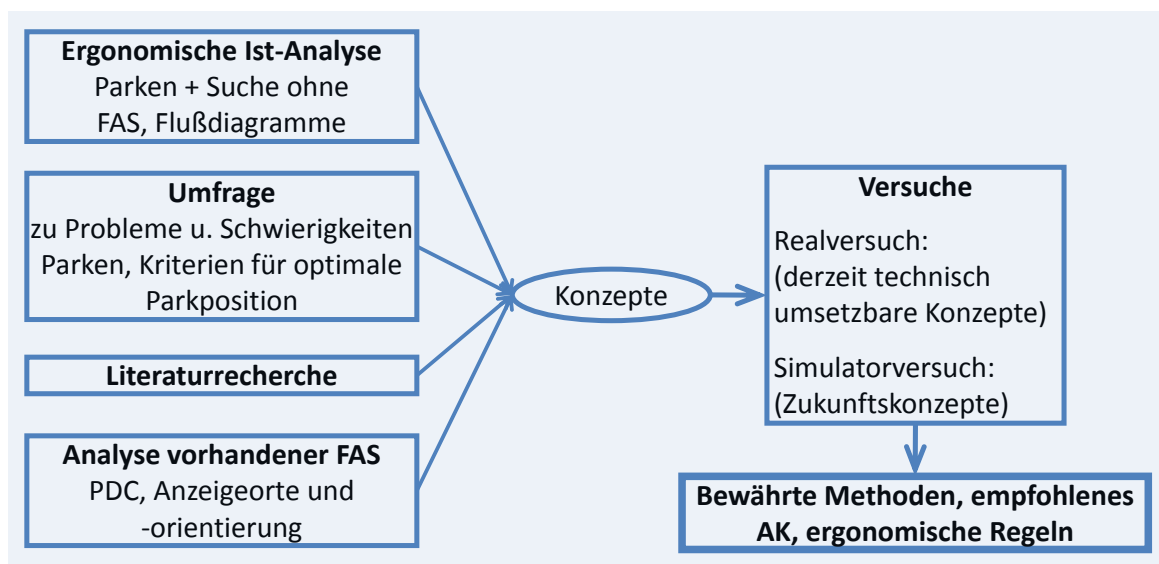


Abbildung 1.3 : Schema Zusammensetzung Doktorarbeit

und der Analyse bereits vorhandener Parkassistenten (PAS) wurden neue und bestehende Assistenzsysteme und die dafür notwendigen Anzeige- und Bedienkonzepte (ABK) entwickelt.

Die Bedarfsanalyse gibt Aufschluss über zu verwendende Messmethoden und Messgrößen. Probanden konnten dabei angeben, welche Größen beim Parken für sie eine Rolle spielen beziehungsweise wichtig sind. Außerdem wurden unterschiedliche Parksituationen in Schwierigkeitsgraden unterteilt.

Bei der ergonomischen Ist-Analyse wurde das Parken und die Parkstandsuche ohne Fahrerassistenzsysteme (FAS) bewertet und die Ergebnisse in die Bedarfsanalyse integriert.

Aus der Literatur wurden unterschiedliche Beanspruchungstests und Messmethoden für Längs- und Querdynamiksysteme verglichen und versucht, diese Methoden für das Parken zu verwenden.

Die Analyse bereits vorhandener Parkassistenten, wie z.B. der Parkdistanzkontrolle (PDC), soll Verbesserungspotenzial aufzeigen.

Die Konzepte für Assistenten unterschiedlichen Automatisierungsgrads wurden schließlich untersucht und bewertet. Die daraus resultierenden Ergebnisse dienen schließlich der Entwicklung ergonomisch sinnvoller Anzeigekonzepte (AK) für das Parken und geben einen Überblick über Untersuchungsmethoden, die sich bei dieser Arbeit bewährten. Schließlich konnten ergonomische Regeln abgeleitet und aufgestellt werden.

2 Einführung in die Thematik und Begriffsklärung

In diesem Kapitel werden Grundlagen zum Verständnis vorliegender Arbeit vermittelt. Dabei werden Begriffe erklärt und in Zusammenhang mit der in dieser Arbeit diskutierten Thematik gebracht. Darüber hinaus wird ein Einblick in unterschiedlichste verfügbare und zukünftige Parkassistenzsysteme gegeben und schließlich der Begriff Parken definiert, wie er in dieser Arbeit Verwendung findet.

2.1 Definition Parken

Um ein einheitliches Verständnis des in dieser Arbeit häufig gebrauchten Begriffs „Parken“ zu erreichen, soll dieser wie folgt definiert werden als

„... Teil der primären Fahraufgabe, bei dem die Auswahl eines Parkstandes, das Einparken und sichere Abstellen, sowie umgekehrt das Ausparken, bis hin zum wieder Eingliedern in den fließenden Verkehr, im Vordergrund steht.“

Die primäre Fahraufgabe lässt sich dabei nach Bubb [72] in Form eines Regelkreises mit den drei Ebenen der Navigation, Fahrzeugführung und -stabilisierung darstellen. Hierbei ist „jede Berührung mit stehenden oder sich bewegenden Objekten im Verkehrsraum zu vermeiden“. Abbildung 2.1 zeigt, wie der Mensch in das Mensch-Maschine-System (MMS) Fahrer-Fahrzeug-Umwelt eingebunden ist. Die hierbei zu erledigenden Aufgaben werden vom Fahrer unbewusst durchgeführt. Ein einfaches Beispiel soll die drei Ebenen näher erläutern. Angenommen wird eine Fahrt von München nach Hamburg. Um diese Fahrt durchführen zu können, muss der Fahrer zuerst festlegen, auf welcher Route und in welcher voraussichtlichen Fahrzeit der Zielort zu erreichen ist. Die Auswahl des zu fahrenden Kurses und der geplanten durchschnittlichen Geschwindigkeit entspricht der Navigationsaufgabe. Auf der Strecke unterwegs wird der Fahrer mit unterschiedlichen Verkehrssituationen konfrontiert und muss seinen im Augenblick notwendigen Kurs festlegen. Dazu gehört zum Beispiel seine augenblickliche Geschwindigkeit oder die gewählte Fahrspur. Diese Aufgabe wird als Führungsaufgabe bezeichnet. Schließlich muss der Fahrer die Ausgangsgrößen der Führung mithilfe des Fahrzeugs in die Realität umsetzen. Dafür bedient er Lenkrad, Gaspedal und Bremse. Hierbei spricht man von einer Stabilisierungsaufgabe. Das Parken beinhaltet ebenfalls alle drei Ebenen. Der Fahrer muss vor Fahrtbeginn, während der Fahrt oder nach Erreichen des eigentlichen Ziels den Kurs festlegen, in welcher Richtung er um das Fahrziel herum nach einem Parkstand suchen will. Diese Aufgabe

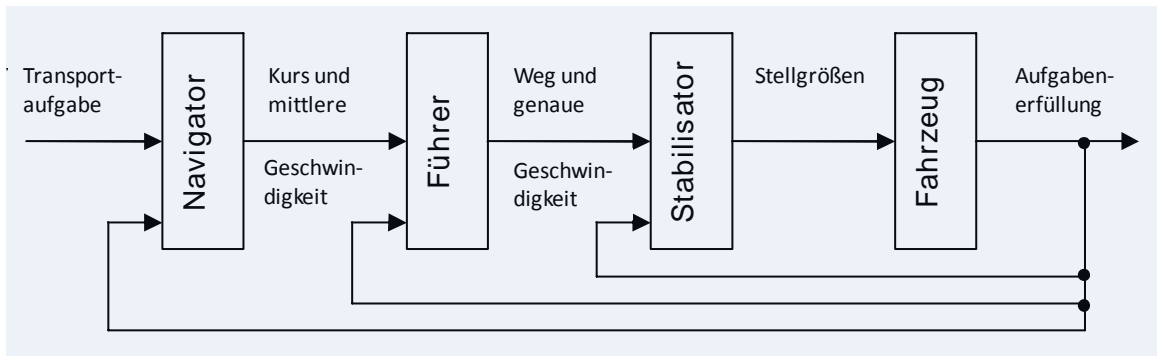


Abbildung 2.1 : Regelkreis der primären Fahraufgabe [72, Bubb in Schmidtke]

kann der Navigationsebene zugeordnet werden. Dazu zählt ebenso die Entscheidung, welchen maximalen Fußweg er vom Parkstand zum eigentlichen Ziel akzeptiert. Gegebenenfalls hat der Fahrer jedoch keine Wahl - wenn z.B. die Parkstandverfügbarkeit um das Ziel herum sehr gering ist - einen längeren Fußweg in Kauf zu nehmen.

Wenn das Fahrziel erreicht ist beginnt schließlich die Parkstandsuche, wobei der Fahrer eine geeignete Fahrstrecke und eine angemessene Geschwindigkeit bis zu einem für ihn akzeptablen Parkplatz auswählen und das Fahrzeug in die Parklücke manövrieren muss. Diese beiden Punkte können der Fahrzeugführung und -stabilisierung zugeschrieben werden, da bis zum Abstellen des Fahrzeugs der Verkehrsraum beachtet werden muss. Dafür ist ein geeigneter Kurs festzulegen und in die Fahrzeugregelung durch Lenkbewegungen und eine geeignete Gas- bzw. Bremspedalstellung einzugreifen.

2.2 Parksituationskatalog

Parkstände werden im öffentlichen Straßenraum üblicherweise in den Aufstellungsarten Senkrechtparken, Schrägparken oder Längsparken angeordnet, wobei bei der Organisation von Parkständen und der Auswahl für eine der genannten Aufstellungsarten die quantitative Verfügbarkeit von Parkraum neben gestalterischen Aspekten das in der Praxis wohl wichtigste Kriterium darstellt (vgl. Riel [69]). Quantitativ gesehen stellt das Senkrechtparken die beste Lösung dar, weil auf diese Weise die meisten Parkstände zur Verfügung gestellt werden können (vgl. Abbildung 2.2). In der Praxis werden jedoch die meisten Parkstände in Längsrichtung angelegt, da die baulich begrenzte Breite des Straßenraums in den Städten meistens keine andere Aufstellungsart zulässt. Je nach Präferenz des Fahrers und Ausrichtung der Parkstände werden Parkmanöver auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlichen Auswirkungen auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit durchgeführt. So kommt es zum Beispiel beim rückwärts Einparken häufig zu Behinderungen im fließenden Verkehr, weil nachfolgende Fahrzeuge relativ dicht hinter einem einparkenden Fahrzeug herfahren. Dieses wird dadurch am Zurückstoßen und Einparken gehindert

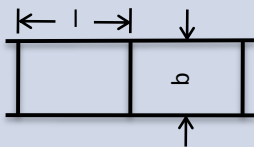
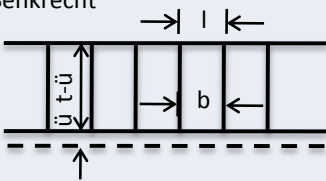
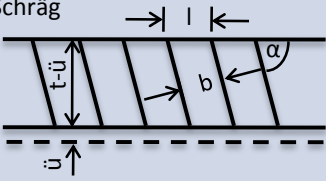
| Aufstellung | Verfügbarkeit von Parkständen |
|--|---|
| <p>Längs</p>  | <p>$l = 5,75\text{m}$ $b = 2,00\text{m}$ Parkstände / m = 0,17</p> |
| <p>Senkrecht</p>  | <p>$l = b = 2,50\text{m}$ $t - \ddot{u} = 4,30\text{m} (=5,00\text{m} - 0,70\text{m})$ Parkstände / m = 0,4</p> |
| <p>Schräg</p>  <p style="text-align: center;">$l = \frac{b}{\sin \alpha}$</p> | <p>$\alpha = 50 - 90^\circ$ $L = 2,53\text{m} \sim 3,54\text{m}$ (abhängig v. α) $t - \ddot{u} = 4,50\text{m} \sim 4,15\text{m}$ $b = 2,5\text{m}$ Parkstände / m = 0,39 \sim 0,28</p> |

Abbildung 2.2 : Aufstellungsarten von Parkständen gemäß der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [18], Maße für bequemes Ein- und Ausparken

während Nachfolgende nicht an dem parkenden Fahrzeug vorbeifahren können, ohne vorher selbst zurückzustößen. Diese Problematik wird erst dann aufgelöst, wenn kein Gegenverkehr mehr vorhanden ist und die folgenden Fahrzeuge überholen können. Oder aber die rückwärtigen Fahrzeuge können etwas zurückstoßen, damit der Einparkende in die Parklücke fahren kann.

Außerdem stellt beim Suchen eines Längsparkstandes vor allem die Abschätzung der Parklückengröße ein Problem dar. Die Entscheidung, ob ein Parkstand ausreichend groß ist, kann meistens erst getroffen werden, wenn der Fahrer an der Lücke vorbeigefahren ist. Damit ist ein rückwärtiges Einparken fast immer unumgänglich. Weil dieses Manöver jedoch im Verhältnis zum Geradeausfahren viel seltener auftritt, ist das für den Fahrer eine ungewöhnliche Situation. Bei den Schräg- und Senkrecht-parkständen kann der Fahrzeugführer oft schon vorher entscheiden, ob die Lücke für ihn geeignet ist, weil die Breite einer Parklücke besser eingeschätzt werden kann als die Länge. Dadurch ist es für den Fahrer häufiger möglich, vorwärts einzuparken, was für ihn ein einfacheres Manöver darstellt. Aus diesem Grund werden für die Untersuchungen in dieser Arbeit die häufigeren und schwierigeren Längsparkstände verwendet. Alle entwickelten Konzepte finden jedoch ebenso für das Schräg- und Senkrechtparken Verwendung.

In Abbildung 2.3 werden weitere problematische Situationen aufgezeigt, die nach obi-

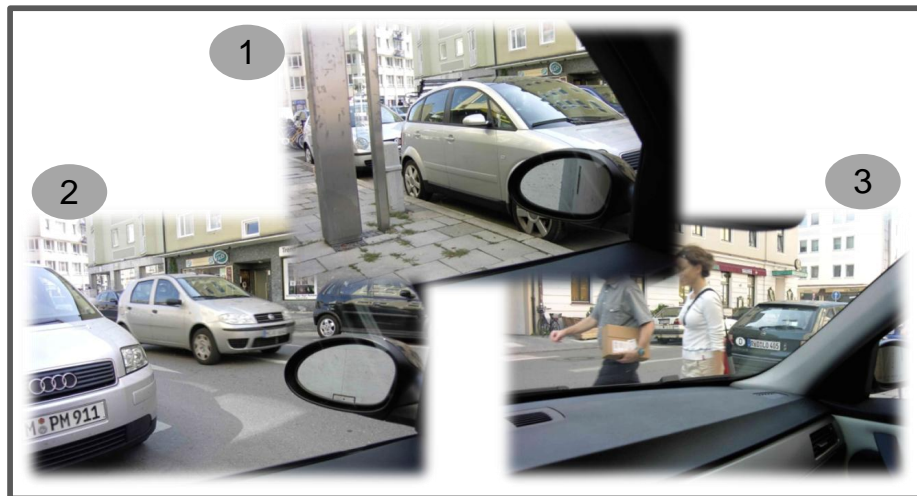


Abbildung 2.3 : Situation Ausfahrt



Abbildung 2.4 : Situation Hofausfahrt

ger Definition ebenso bei der Fahraufgabe des Parkens zu berücksichtigen sind. Das Problem in Abbildung 2.3 ist dabei die Unübersichtlichkeit der Situation. Ein Fahrzeugführer will aus einer Hofeinfahrt auf eine öffentliche Straße nach rechts einfahren. Im ersten Schritt kann er durch das linker Hand parkende Fahrzeug die Straße überhaupt nicht einsehen. Erst im zweiten Schritt sieht er noch gerade rechtzeitig den Verkehr, da befindet sich aber die Fahrzeugfront schon vollständig auf der Fahrbahn des von links kommenden Verkehrs. Im dritten Bild der Abbildung 2.3 wollen auch noch schnell zwei Fußgänger vor ihm vorbei. Anhand dieser Situation wird die Schwierigkeit und Beanspruchung beim Ausfahren aus engen Hofeinfahrten deutlich. In Abbil-

dung 2.4 ist ebenfalls zu erkennen, dass der Fahrer erst dann die Situation beurteilen kann, wenn sich die Fahrzeugfront schon komplett auf der Fahrspur des Querverkehrs befindet (in diesem Falle auf dem Fußgängerweg). Somit wurden weitere Situationen erfasst, die für den Fahrer sehr unübersichtlich und unkomfortabel sind und ein Gefahrenpotenzial aufweisen. Das Hauptproblem dieser Situationen besteht also in der Wiedereingliederung in den fließenden Verkehr. Die Sicht auf andere relevante Verkehrsteilnehmer ist oft eingeschränkt. Abhilfe können Sichtverbesserungssysteme bzw. Kollisionsüberwachungen schaffen. Assistenzsysteme für solche Situationen werden konzeptionell ebenfalls in dieser Arbeit berücksichtigt und in einem integrativen Anzeigenkonzept dargestellt.

2.3 Stand der Technik

Dieser Abschnitt dient der Gegenüberstellung und ergonomischen Bewertung von derzeit erhältlichen Parkassistenzsystemen.

Folgende Einteilung derzeitiger Parkassistenzsysteme wird nun vorgenommen:

1. Abstandsinformationssysteme
2. Sichterweiterungssysteme
3. Semiautomatische Parkassistenten
4. Parkstandsuche
5. Kombination aus den ersten vier Systemen

Die ersten drei Kategorien beinhalten Systeme zur Unterstützung des Ein- und Ausparkens, die vierte Kategorie Systeme für das Auffinden eines geeigneten Parkstandes. All diese Systeme können zu den aktiven Fahrerassistenzsystemen gezählt werden, da sie den Fahrer dahingehend unterstützen, Unfälle zu vermeiden, im Gegensatz zu den passiven Assistenten, die wie z.B. der Sicherheitsgurt oder Airbag die Unfallfolgen vermindern sollen. Als Fahrerassistenzsysteme werden in dieser Arbeit solche Systeme bezeichnet, die den Fahrer bei der primären und sekundären Fahraufgabe unterstützen. Zur Kategorie Eins gehören alle Systeme der ersten Generation von Parkassistenten. Mit diesen kann der Abstand zwischen zwei Objekten (Fahrzeug und anderer Gegenstand) mit Hilfe von Ultraschallsensoren, die am Fahrzeug angebracht sind, gemessen werden. Über eine Anzeige kann der Fahrer die Empfehlungen der Systembewertung („Abstand noch ausreichend“ bzw. „Achtung, Kollisionsgefahr“) verarbeiten und sein Fahrzeug dementsprechend führen (siehe Abbildung 2.5). Häufig dient eine akustische Rückmeldung dazu, die Gefährlichkeit über einen weiteren Sinneskanal zu signalisieren, wodurch die Anzeige nicht ständig betrachtet werden muss. Allerdings kann es vorkommen, dass detektierte Objekte aufgrund der Geometrie des Ultraschallsensorkegels wieder verschwinden. Dies wird mitunter durch die Geometrie des Sensorkegels verursacht. Dieser Effekt kann

zur Verwirrung und damit zu falschen Reaktionen des Fahrers führen, wodurch Unfälle verursacht werden können. Sichterverweiterungssysteme gehören der zweiten

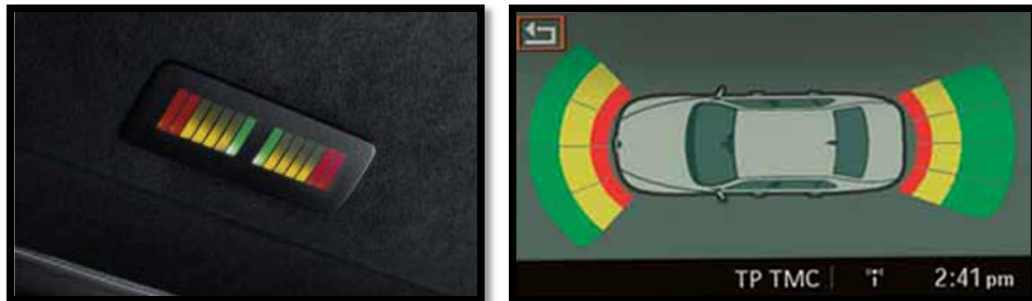


Abbildung 2.5 : Abstandsinformationssysteme

Generation von Parkassistenten an. In einem Display wird ein Kamerabild angezeigt, wodurch der Fahrer die Umgebung um das Fahrzeug herum besser überblicken kann (siehe Abb. 2.6). Dabei können unterschiedliche Perspektiven angezeigt werden.



Abbildung 2.6 : Sichterverweiterungssysteme

Die Rückfahrkamera zum Beispiel befindet sich am Heck des Fahrzeugs und zeigt die rückwärtige Umgebung an. Die Rundumsicht bietet Informationen ca. 1,5m um das Fahrzeug herum als Draufsicht an. Seitliche Kameras können helfen, bei einer unübersichtlichen Ausfahrt relevante Objekte früher zu entdecken.

Bei all diesen Kamerasystemen können drei Arten von Anzeigen auftreten. Systeme, die das Videobild direkt anzeigen und Systeme, bei denen das Bild von einem Computer vereinfacht dargestellt und interpretiert wird. Dabei muss der Rechner relevante Objekte klar und eindeutig anzeigen. Diese Interpretation erfolgt meist durch eine Bildverarbeitung, bei der Kanten, bzw. Helligkeitsunterschiede im Bild erkannt und dementsprechend angezeigt werden. Zuletzt sei noch eine Mischform erwähnt, bei der ein reales Videobild mit Hilfslinien dargestellt wird, die dem Fahrer zusätzliche Informationen über Soll- und Ist-Lenkwinkel für den Parkvorgang oder den aktuellen Fahrschlauch anbieten. Der Fahrschlauch ist eine Art Korridor, in dem sich ein Fahrzeug bei aktuellem Situationsaspekt (Geschwindigkeit, Gierrate, Lenkwinkel, etc.) bewegt.

Die dritte Kategorie beinhaltet semiautomatische bzw. automatische Systeme. Bei den



Abbildung 2.7 : Automatisches bzw. semiautomatisches Parkassistenzsystem

semiautomatischen Parkassistenzsystemen wird dem Fahrer ein Teil der Parkaufgabe abgenommen, wohingegen der automatische Assistent den kompletten Parkvorgang selbstständig durchführt. Diese Systeme werden in den nächsten Jahren serienreif sein. In Abbildung 2.7 ist beispielsweise ein semiautomatisches System dargestellt. Über einen Touchscreen muss mithilfe des Cursors ein virtuelles Rechteck über die Parklücke gezogen werden. Anschließend kann das Fahrzeug fast selbstständig einparken, wobei die Lenkbewegungen automatisch durchgeführt werden und der Fahrer lediglich noch Gas und Bremse bedienen muss. Ein anderes System ist der Garagenparker, der vollautomatisch mithilfe von vorher in der Garage angebrachten Reflexionspunkten einparken kann. Bei der Parklückenvermessung wird die Parkstandgröße mithilfe von Sensoren (Radar, Ultraschall, Kameras) ermittelt. Wenn ein Parkstand als ausreichend groß detektiert wird, kann diese Information dem Fahrer akustisch oder/und optisch angezeigt werden. Auf Basis dieser Information ist es möglich, sich für oder wider einen Parkstand zu entscheiden. Zusätzlich bieten spezielle Online-Dienste Vorabreservierungen von Parkständen in Parkhäusern an. Wenn also ein Fahrzeug eine Verbindung zu einem solchen Serviceanbieter aufbaut, kann es innerhalb seines Zielgebiets nach verfügbaren Parkplätzen in Parkhäusern suchen und einen Parkstand vorab reservieren. Die Bezahlung erfolgt ebenso online.

Alle oben aufgeführten Systeme sollen nun genauer unter ergonomischen Gesichtspunkten analysiert und bewertet werden.

2.4 Bewertung aktueller Parkassistenzsysteme und Anzeigekonzepte

Aufgabe der Systemergonomie ist es, das System bzw. den Regelkreis aus Mensch-Maschine-Umwelt zu verbessern. Hierbei soll das Verhältnis von Aufgabenerfüllung zu Aufgabenstellung, also die Qualität Q der Zielerreichung optimiert werden. Dabei können folgende Gleichungen helfen, das Regelsystem aus Mensch, Maschine und Umwelt zu objektivieren:

$$\text{Qualität } Q = \frac{\text{Aufgabenerfüllung}}{\text{Aufgabenstellung}} \quad (2.1)$$

$$\text{Leistung } P = \frac{\text{Aufgabenstellung}}{\text{Aufgabenerfüllung} \cdot \text{Zeit } t} = \frac{\text{Qualität } Q}{\text{Zeit } t} \quad (2.2)$$

$$P_{\text{Park}} = \frac{Q_{\text{Park}}}{t_{\text{Park}}} \quad (2.3)$$

Nach der Norm EN ISO 9000:2005 ist Qualität „der Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt. Die Qualität gibt damit an, in welchem Maße ein Produkt (Ware oder Dienstleistung) den bestehenden Anforderungen entspricht. Die Benennung Qualität kann zusammen mit Adjektiven wie schlecht, gut oder ausgezeichnet verwendet werden. Inhärent bedeutet im Gegensatz zu zugeordnet einer Einheit innewohnend, insbesondere als ständiges Merkmal.“

Entscheidend für die Qualität eines Produktes nach ISO 9000 ist nicht sein Preis oder die Güte der verwendeten Materialien. Entscheidend ist, dass die gestellten Anforderungen an das Produkt erfüllt werden. Dabei müssen sowohl die objektiv messbaren Eigenschaften und Vorgaben des Produzenten als auch die subjektiven Erwartungen der Kunden erfüllt werden.

Nach der IEC 2371 ist Qualität die Übereinstimmung zwischen den festgestellten Eigenschaften und den vorher festgelegten Forderungen einer Betrachtungseinheit.

Während Qualität früher traditionell als eine Eigenschaft von Produkten oder Dienstleistungen verstanden wurde, also die Erfordernisse der Kunden im Vordergrund standen, erstreckt sich der Qualitätsbegriff im Rahmen von Total-Quality-Konzepten, wie dem Total Quality Management als umfassende Variante des Qualitätsmanagements, über ganze Unternehmen. Neben den Kundenanforderungen treten die Anforderungen von Mitarbeitern, Kapitalgebern und Öffentlichkeit (rechtliche Anforderungen), an deren Erfüllung sich die umfassende Qualität eines Unternehmens (Total Quality) misst.

Die Aufgabenstellung beim Parken ist ähnlich wie bei der primären Fahraufgabe. Jeder Kontakt mit anderen Objekten ist zu vermeiden. Zusätzlich ist das Fahrzeug so einzuparken, dass andere Verkehrsteilnehmer nicht behindert werden.

Bis jetzt ist allerdings ein wichtiges Kriterium für viele Vorgänge noch nicht genannt worden: Die Zeit. Vor allem in einer Leistungsgesellschaft spielt es eine große Rolle, dass eine Aufgabe nicht nur qualitativ gut erfüllt wurde, sondern dass die Zielerreichung auch in einer gewissen Zeit geschieht. Das heißt, beim Parken stellt sich nicht nur die Aufgabe, Berührungen mit anderen Objekten zu vermeiden und Verkehrsteilnehmer nicht zu behindern. Der Parkvorgang soll so schnell wie möglich durchgeführt werden, damit folgende Fahrzeuge nicht zu stark beeinträchtigt werden. Die Verknüpfung von Qualität und Zeit ergibt in der Ergonomie den Leistungsbegriff, der nach Bubb [72] nicht in Konflikt mit dem physikalischen Leistungsbegriff steht (siehe Gleichung 2.3).

Die Optimierung des Mensch-Maschine-Systems kann mithilfe unterschiedlichster Methoden erzielt werden, wobei zunächst die Analyse des Regelkreises im Vordergrund steht. Dafür werden in der Systemergonomie häufig Flussdiagramme verwendet, um die zeitlich-räumliche Ordnung zu beschreiben. Entscheidungen, die vom Menschen getroffen werden, sind als Rauten darzustellen und Bedienungen als Rechtecke. Nach der Erstellung eines Flussdiagramms kann man feststellen, wie komplex bestimmte Vorgänge in der Zeit-Raum-Dimension sind. Solche Abläufe können dann eventuell durch Hilfsmittel verbessert oder aufgelöst werden. Flussdiagramme für das Parken und Parkstandsuchen finden sich im Kapitel 3.4.

Um sinnvolle Hilfsmittel zu entwickeln werden systemergonomische Gestaltungsmaximen verwendet. Diese können nach Bubb [72] als Fragen formuliert werden:

- Funktion
„Was will der Operator bezwecken und inwieweit kommt ihm das technische Arbeitsmittel entgegen?“
- Rückmeldung
„Kann der Operator erkennen, ob er etwas bewirkt hat und welchen Erfolg er hatte?“
- Kompatibilität
„Wie groß ist der Umkodieraufwand zwischen verschiedenen technischen Informationskanälen?“

Ein anderer wichtiger Punkt ist die Abwendung bzw. Ablenkung durch ein Hilfsmittel von der eigentlichen Aufgabe. So sollte beim Parken trotz zusätzlicher Arbeitsmittel der Fokus auf der Straße liegen und keine zu großen Ablenkungen auftreten, um die Sicherheit nicht zu gefährden.

Um auf die Bewertung der derzeitigen Parkassistenzsysteme zurückzukommen soll nun mit den eben erwähnten Kenntnissen die Beurteilung leichter fallen. Die meisten Bewertungsmethoden werden jedoch erst in den Untersuchungen der folgenden Kapitel Verwendung finden.

Betrachtet man die Parkassistenten der ersten Kategorie, also die Abstandsinformationssysteme, kann festgehalten werden, dass mit solch einem System der Diskomfort beim Parken minimiert werden kann. Das Hilfsmittel kommt dem Fahrer dahingehend entgegen, dass ihm der Abstand zu Hindernissen angezeigt wird. Mithilfe der Ampelfarben zeigt das Assistenzsystem, ab wann eine Kollisionsgefahr mit einem Objekt entsteht. Somit interpretiert das System die Situation. Dadurch erkennt der Fahrer, was er bewirkt hat und welchen Erfolg er hatte. Bei einer roten Anzeige soll das Auto zum Stillstand gebracht werden. Ein Dauerton weist zusätzlich auf die Gefahr hin. Es kann jedoch aus technischen Gründen geschehen, dass Objekte zuerst angezeigt werden und dann wieder verschwinden, um schließlich doch wieder zu erscheinen. Das System gibt außerdem nicht genau an, welches Objekt sich gerade im Sensorbereich befindet und wie groß es ist. Ein kleiner Zweig kann zum Beispiel einen nervenden

Dauerton erzeugen, ohne dass der Fahrer einsehen kann, dass das Objekt für das Einparken eventuell irrelevant ist. Zusätzlich können die Anzeigen im Innenraum von der Verkehrssituation ablenken. Dem Fahrer werden nur eingeschränkte Informationen zu Hindernissen um das Fahrzeug herum angezeigt. Eine seitliche Sensorik gibt es bis dato noch nicht. Der Vorteil der akustischen Warnausgabe liegt deshalb darin, dass sich der Fahrer beim Rückwärtsparken weiterhin auf die Fahrzeugumwelt konzentrieren kann und zum Beispiel Innenraumblicke auf das Anzeigeelement nicht notwendig sind. Dies kann die Gefährdung durch Blickabwendung von der Umwelt reduzieren. Jedoch senkt die akustische Parkdistanzkontrolle den Diskomfort nur leicht. Aus diesem Grund wurden weitere Assistenten entwickelt. Außerdem ist für viele Fahrer die akustische Darstellung von Hindernissen unerträglich und störend, wie in Kapitel 6 nachgewiesen wird. Inakzeptable Modalitätsauslegungen können dann wiederum den Sicherheitsgewinn einschränken.

Sichterweiterungssysteme werden heutzutage oft schon mit Systembewertungen der Gefahrenbereiche verknüpft. Oder aber der Fahrer erhält außer der Umfeldanzeige zusätzliche Informationen darüber, wie er am besten in eine Parklücke kommt. Die derzeitigen Ausführungen haben jedoch den Nachteil, dass meistens nur ein kleiner Ausschnitt des Fahrzeugumfeldes dargestellt wird. Wie später in Kapitel 6 gezeigt wird, haben hochinformativ Anzeigen das Potenzial für lange Fixationsdauern. Der Fahrer ist der Meinung, er könne nach solchen Anzeigen ohne Sicherungsblicke einparken. Dabei decken die meisten Anzeigen nur Teile des Fahrzeugumfeldes ab (vgl. Abbildung 2.6). Dies kann zu Sicherheitsrisiken führen, die vermieden werden sollten.

Bei dem semiautomatischen System wie im rechten Bild von Abbildung 2.7 dargestellt, ist auch nur ein kleiner Ausschnitt der Umwelt im Display ersichtlich. Außerdem muss der Fahrer auf umständliche Art und Weise eigenständig den Bereich festlegen, wo er einparken will. Dies kann natürlich aufgrund der benötigten Konfigurationszeit zu einer Verschlechterung der Einparkleistung führen. Und damit auch zu Akzeptanzproblemen.

Für die Konzipierung und Untersuchung von neuen Parkassistenten ergeben sich deshalb folgende Fragestellungen:

- Wie kann die Qualität bzw. Fahrleistung des Ein- u. Ausparkens bzw. Rangierens definiert und gemessen werden?
- Hat die Fahrzeuggeometrie, -design bzw. die -gestaltung Auswirkungen auf die Qualität bzw. Leistung des Einparkens?
- Kann das Ein- und Ausparkverhalten durch kamerabasierte Assistenzsysteme verbessert werden?
- Welches Anzeige-Bedien-Konzept ist aus Akzeptanzsicht und aus ergonomischer Sicht für Park- u. Rangierassistenten geeignet?

- Welche Auswirkungen haben Fehleinschätzungen des Fahrers oder der Parkassistenten auf die Umwelt?
- Sind Anzeigen als Kompensations- oder Folgeaufgabe empfehlenswert?

Die verschiedenen oben aufgeführten Fragen sind als übergeordnete Fragen zu verstehen. Jede einzelne Fragestellung kann viele untergeordnete Fragen enthalten, die in den folgenden Kapiteln teilweise aufgeführt und beantwortet werden. Jedoch kann kein Anspruch auf Vollständigkeit der Fragestellungen erhoben werden, da die Komplexität dieses Themas immer wieder neue Fragen aufwerfen kann, die nicht im Rahmen einer einzelnen Arbeit beantwortet werden können.

3 Bedarfsanalyse

In diesem Kapitel werden unterschiedliche Methoden für die Analyse des Bedarfs nach Parkunterstützung vorgestellt, verwendet und im Folgenden näher erläutert.

Um Probleme beim Parken aufzuzeigen wurde ein Situationskatalog mit Hilfe einer Bilddokumentation realisiert.

Anschließend wurde durch eine Umfrage festgestellt, wie hoch Fahrzeugführer die Notwendigkeit von Parkassistenten im Vergleich zu anderen Fahrerassistenzsystemen bewerten.

Außerdem wurde nach subjektiv empfundenen Problemen in verschiedenen Parksituationen oder bei unterschiedlichen Parkstandbauweisen gefragt. Schließlich sollte noch aufgezeigt werden, wie aus Sicht des Fahrers ein Kraftfahrzeug optimal in eine Parklücke zu positionieren ist. Diese Ergebnisse wurden mit gesetzlichen Vorschriften und Empfehlungen von Fahrschulen verglichen. Damit konnte herausgefunden werden, welche subjektiven Kriterien im Vergleich zu Vorschriften oder Empfehlungen für die Fahrzeugpositionierung in einem Parkstand eine Rolle spielen. Diese Kriterien wurden dann für relevante Messgrößen für in dieser Arbeit durchzuführende Untersuchungen herangezogen. Somit wurden nicht nur Kriterien aus der Straßenverkehrsordnung für Versuche verwendet. Stuft nämlich ein Proband bestimmte gesetzliche Vorschriften als nicht wichtig für ihn selbst ein, ist es sehr schwierig, ihm solche Vorschriften als Versuchsaufgabe zu stellen. Dies kann zur Verweigerung der Aufgabe durch den Probanden führen, womit die Versuchsergebnisse verfälscht würden.

Zusätzlich sollen objektive Messungen dazu beitragen, die subjektiven Eindrücke der Befragten zu stützen. Deshalb wurde eine systemergonomische Ist-Analyse mithilfe eines Realversuchs durchgeführt und Flussdiagramme erstellt. Der Realversuch sollte außerdem dazu beitragen eine Messmethode zu entwickeln, die die Parkleistung eines Fahrers objektiviert.

3.1 Umfrage zum Bedarf an Parkassistenzsystemen

Ziel der Umfrage war es, vorab den Bedarf nach Parkassistenten zu ermitteln. Deshalb wurde zuerst der Bekanntheitsgrad unterschiedlicher Fahrerassistenzsysteme bestimmt, um den Stellenwert derzeitiger Parkassistenzsysteme innerhalb der Fahrerassistenzsysteme zu erfassen. Außerdem wurden noch Fragen zu unterschiedlichen Parkstandbauweisen und Parksituationen gestellt, um herauszufinden, welche Situationen für den Fahrer in der Regel am Schwierigsten zu bewältigen sind. Die für

den Fahrer am Schwersten zu bewältigenden Situationen werden in den folgenden Untersuchungen als Versuchsszenarien verwendet. Damit soll der Parkleistungsunterschied zwischen verschiedenen Systemen deutlicher hervortreten. In für den Fahrer einfachen Situationen ist es eher unwahrscheinlich, dass sich Unterschiede in der Fahrleistung mit und ohne Fahrerassistenzsysteme ergeben.

Schließlich sollten die Umfrageteilnehmer noch beurteilen, welche Kriterien für ein optimal eingeparktes Fahrzeug aufgestellt werden können. Mithilfe dieser Kriterien wurden dann die Aufgabenstellungen der Probanden für zukünftige Parkuntersuchungen abgeleitet. Die Aufgabenerfüllung wiederum kann gemessen und zur Bewertung der Einparkleistung herangezogen werden.

Die inhaltlichen Schwerpunkte der Umfrage setzen sich somit wie folgt zusammen:

- Bekanntheit verschiedener Fahrerassistenzsysteme
- Subjektive Bewertung verschiedener Assistenzsysteme bezüglich Nützlichkeit
- Subjektive Beurteilung der optimalen Parkposition zur Verwendung als objektiven Maßstab für die Parkleistungsbestimmung
- Kritische Parkplatzbauweisen und Parksituationen

Die Umfrage wurde mit einer Access-Datenbank realisiert. Nach der Datenbankprogrammierung wurde diese auf einem BMW internen Server zugänglich gemacht. Der Aufruf zur Teilnahme an der Umfrage geschah über einen Newsgroupartikel.

Umfrageergebnisse

An der Umfrage haben insgesamt 154 BMW Mitarbeiter teilgenommen, wobei nur 94 Fragebögen zur Auswertung herangezogen werden konnten, da die Restlichen nicht vollständig ausgefüllt waren. Das hängt wohl damit zusammen, dass einige Mitarbeiter zuerst begonnen haben, die Fragen in den Access-Formularen auszufüllen und dann entweder das Interesse verloren haben, oder keine Zeit mehr für die Bearbeitung der Fragen aufbringen konnten.

Das Durchschnittsalter der an der Umfrage beteiligten Personen lag bei 30,2 Jahren, der Frauenanteil bei 14%. Dies entspricht in etwa dem Frauenanteil der BMW Mitarbeiter. Die durchschnittliche Jahresfahrleistung der Umfrageteilnehmer beträgt 17500 km.

Die Auswertung der Frage nach dem Bekanntheitsgrad unterschiedlicher Fahrerassistenzsysteme ergab, dass vor allem Systeme zur Fahrdynamikregelung wie die dynamische Stabilitätskontrolle (DSC) bzw. elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) mit 22% und das Antiblockiersystem mit 18% einen hohen Bekanntheitsgrad aufweisen, gefolgt vom Parkassistenzsystem Parkdistanzkontrolle mit 18%. Diese Werte sind allerdings relativ zu sehen. Das bedeutet, dass der absolute Wert nicht auf den durchschnittlichen Kunden übertragen werden kann, da BMW Mitarbeiter viel

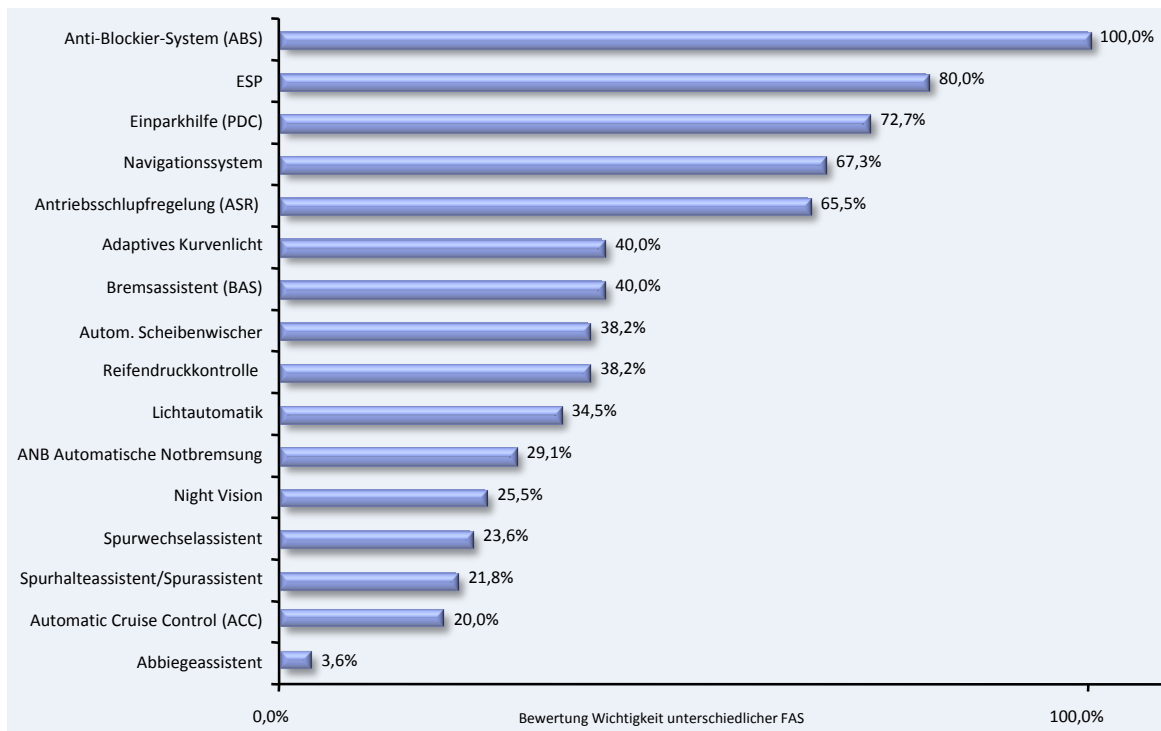


Abbildung 3.1 : Subjektive Bewertung der Wichtigkeit verschiedener Fahrerassistenzsysteme

häufiger in Kontakt mit Fahrerassistenzsystemen kommen, da sie teilweise an der Entwicklung dieser Systeme beteiligt sind. Deshalb wird nur ein Vergleich zwischen den Umfrageergebnissen angestrebt. Trotzdem ist die Parkassistenz im Vergleich zu anderen Systemen wie Navigation, Tempomat, aktive Geschwindigkeitsregelung oder Night-Vision mit am stärksten im Bewusstsein der Umfrageteilnehmer vertreten. Die Frage wurde offen gestellt, wodurch sich die Befragten spontan an Systeme erinnern mussten. Demgegenüber wurde anschließend eine geschlossene Frage nach der subjektiven Einschätzung der Wichtigkeit spezieller Fahrerassistenzsysteme gestellt. Alle der dort aufgeführten Systeme wurden vorher vollständig erläutert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.1 aufgeführt. Es konnte nur abgestimmt werden zwischen: „Das System wäre mir sehr wichtig / unwichtig“. Hier wird deutlich, dass die Befragten hauptsächlich Regelsysteme der Fahrdynamik, das Navigationssystem und Parkassistenz als wichtigste Systeme unter den Auswählbaren bewerten. Somit konnte gezeigt werden, dass das Thema „Parken“ einen großen Stellenwert unter den Fahrerassistenzsystemen einnimmt. Daraus ergibt sich ein weiterer Motivationspunkt für diese Arbeit.

Ein anderer Teil der Intranetumfrage befasste sich mit eventuell problematischen Parksituationen. Dafür wurden mögliche schwierige Parkstände aus der Bilddokumentation erschlossen und diese Situationen in die Umfrage mit aufgenommen. Dem zur Folge bewerten die Befragten alle Situationen im Durchschnitt als weder pro-

blematisch, noch als unproblematisch, wie Abbildung 3.2 verdeutlicht. Ausnahmen

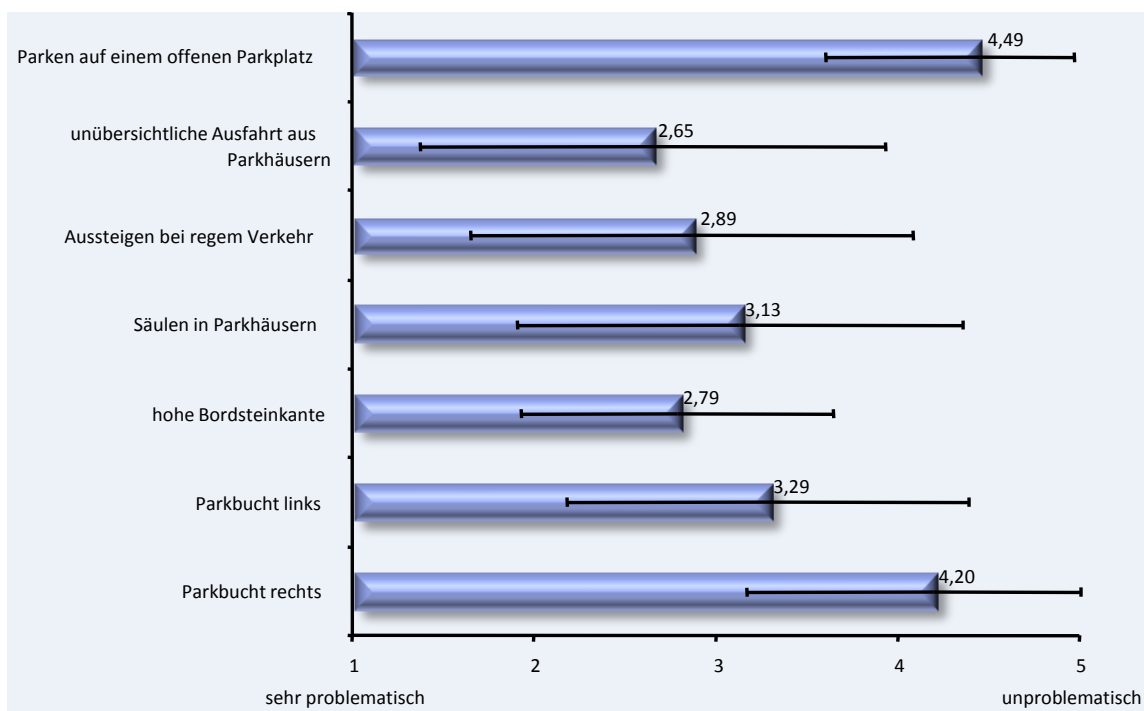


Abbildung 3.2 : Subjektive Bewertung problematischer Parksituationen

stellen die Situationen „Parkbucht rechts“ und „Parken auf einem offenen Parkplatz“ dar, die als unproblematisch eingestuft werden können. Die anderen Situationen polarisieren jedoch auch sehr stark. Deutlich wird zudem, dass das Parken auf der linken Straßenseite schwieriger eingeschätzt wird, als auf der rechten Seite. Außerdem empfinden einige Umfrageteilnehmer vor allem unübersichtliche Stellen und andere bauliche Begrenzungen wie Säulen in Parkhäusern als problematisch. Ebenso das Aussteigen bei regem Verkehr wird als schwierige Situation empfunden.

All diese Situationen geben einen Hinweis auf Unterstützungsbedarf. Deutlich wird jedoch, dass nicht alle Befragten die aufgeführten Situationen als gleich problematisch bewerten, weshalb natürlich nicht generalisiert werden darf. Die Ergebnisse zeigen trotzdem Motivationsgründe auf, um sich näher mit dem Thema Parken zu beschäftigen.

Einer der wichtigsten Teile der Umfrage war die Bestimmung der optimalen Parkposition. Dafür wurden alle drei Parkstandbauweisen berücksichtigt, weil jede davon andere Begrenzungen aufweist. Bei einer Längsparkbucht auf der rechten Fahrbahnseite zum Beispiel befindet sich normalerweise neben dem abgestellten Fahrzeug eine Fahrspur und/oder ein Gehsteig bzw. Fahrradweg. Bei einer Schrägparkbucht ist das Fahrzeug in der Regel zwischen zwei anderen Fahrzeugen abgestellt, wodurch das Ein- und Aussteigen keine große Aufmerksamkeit auf den fließenden Verkehr abverlangt. Im Access-Formular wurde deshalb das Umfeld des abgestellten Fahrzeugs

in die Beurteilung der optimalen Parkposition mit einbezogen. Somit konnte jeder Umfrageteilnehmer bei unterschiedlichen Abständen von Fahrzeug zur Begrenzung angeben, ob dieser möglichst groß, möglichst klein sein sollte, oder keine Rolle für ihn spielt. Wie Abbildung 3.3 verdeutlicht, ist es für die meisten Befragten sehr wichtig, dass der Abstand zwischen Fahrzeug und Bordstein sehr klein ist und der Abstand zur Fahrspur sehr groß. Damit wird natürlich das Unfallrisiko beim Ein- und

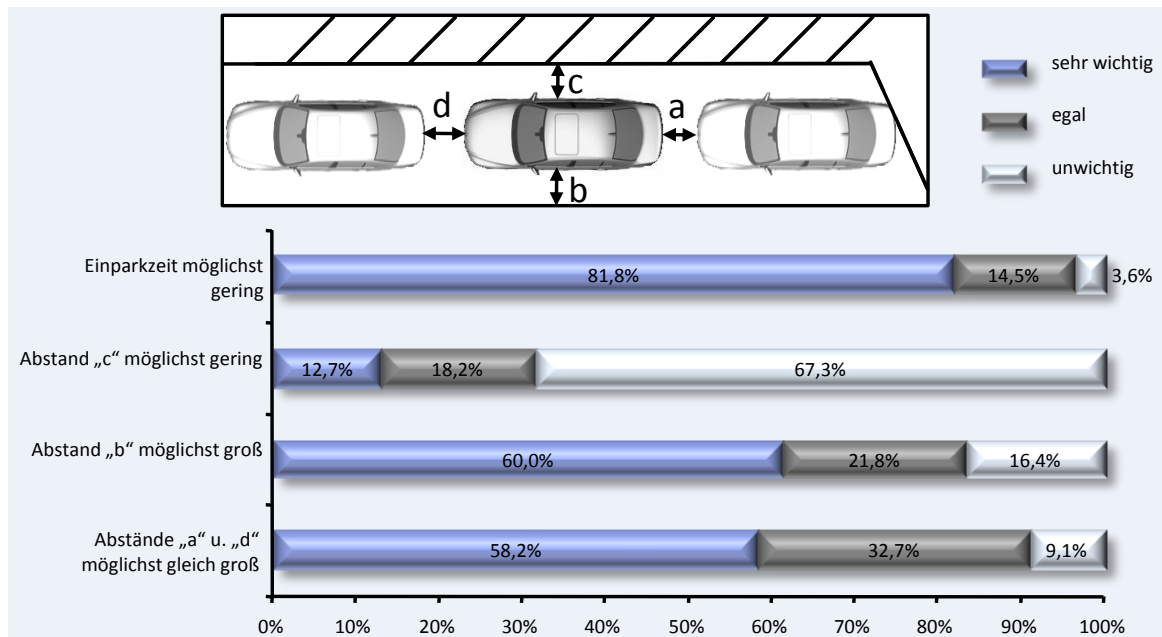


Abbildung 3.3 : Kriterien für optimale Parkposition

Aussteigen minimiert. Außerdem ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass der Spiegel des abgestellten Fahrzeugs Schaden durch vorbeifahrende Autos nimmt. Zusätzlich sollte das Vehikel bei einem Parallelparkstand mittig geparkt werden. Der Grund dafür liegt wohl darin, dass sonst das Ausparken schwierig werden könnte, wenn nach dem Abstellen ein anderer Verkehrsteilnehmer vor oder hinter dem eigenen Fahrzeug zu dicht parkt. Diesem Risiko wird entgegengewirkt, indem das Fahrzeug möglichst mittig zwischen zwei parkenden Autos abgestellt wird. Ist die Lücke sehr groß, also zum Beispiel mehr als zwei Fahrzeuglängen, sollte versucht werden, zum Vorder- bzw. Hinterfahrzeug nicht zu dicht aufzufahren, sodass der gerade eben erwähnte Fall nicht eintritt. Diese Situationen sind natürlich bei der Entwicklung eines Parkassistenzsystems zu beachten. Ein Assistenzsystem sollte solche Situationen unterscheiden können und dementsprechend den Fahrzeugführer unterstützen. Ein anderes wichtiges Kriterium für die Befragten ist die Einparkzeit. Das Fahrzeug sollte demnach so schnell wie möglich geparkt werden, um den fließenden Verkehr so wenig wie möglich zu beeinflussen und die Beanspruchung des Parkenden nicht zu strapazieren.

Nach Wikipedia sind „psychische Belastungen von außen auf eine Person einwir-

kende psychologische Größen, die zu einer Beanspruchung des Menschen führen...“ Das bedeutet, dass die Belastung für jeden Menschen gleich ist, da sie extrinsischen Charakter hat. Wie beanspruchend eine Belastung ist, empfindet jeder anders und kann mit unterschiedlichen Methoden bewertet werden, z.B. mit dem in dieser Arbeit in Kapitel 3.2.2 verwendeten NASA-TLX Test.

Letztendlich können die wichtigsten Kriterien für eine optimale Parkendposition bei Längsparkständen folgendermaßen definiert werden:

- So schnell wie möglich Einparken
- So nah wie möglich am Bordstein parken
- So mittig wie möglich zwischen vorderer und hinterer Begrenzung parken

Für die beiden anderen Parkstandarten Schrägparkbucht und Senkrechtparkstand gelten dieselben Prinzipien. In beiden Fällen sollte das Fahrzeug mittig zwischen zwei bereits Parkenden abgestellt werden, sodass für einen selbst und auch für die anderen Verkehrsteilnehmer keine Probleme beim Ein- und Aussteigen auftreten. Außerdem ist es empfehlenswert, das Fahrzeug so weit wie möglich von der Fahrbahn weg abzustellen. Alle aufgeführten Kriterien werden nun als Aufgabenstellung für weitere Untersuchungen zum Parken herangezogen. Damit kann die Parkqualität und Parkleistung berechnet werden.

3.2 Ergonomische Ist-Analyse der Parkstandsuche

Im Folgenden wird ein Realversuch zur ergonomischen Analyse der Parkstandsuche vorgestellt, Hypothesen für den Versuch aufgestellt, das Versuchsdesign und die -durchführung dieses Realversuchs erläutert und die Ergebnisse ausgewertet und interpretiert. Aus den Ergebnissen kann schließlich der Bedarf an Unterstützung zum Parken abgeleitet werden. Dabei wird das Parken als Teil der primären Fahraufgabe analysiert. Da der Ist-Zustand der Parkstandsuche im Vordergrund steht, werden hier keine Assistenzsysteme verwendet. Ziel der Studie ist es, die Suche nach einem Parkstand zu objektivieren. Somit soll herausgefunden werden, wie beanspruchend die Parkstandsuche gegenüber dem normalen Fahren in der Stadt bei mittlerem Verkehrsaufkommen ist. Ein Stau wurde hierbei als hohes Verkehrsaufkommen gewertet. Wenn sich kein Fahrzeug vor oder hinter dem Versuchsfahrzeug befindet, wurde das als Geringes, alles andere als mittleres Verkehrsaufkommen festgelegt. Außerdem wurde analysiert, wie gefährlich die Parkstandsuche für den rückwärtigen Verkehr und wie abgelenkt der Fahrer beim Parkstandsuchen ist. Zusätzlich stellte sich noch die Frage nach der Höhe der Beeinflussung des rückwärtigen Verkehrs durch den Suchenden.

3.2.1 Hypothesen und Ziele des Versuchs

Für die Evaluierung der Parkstandsuche wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Die Blickabwendung vom Straßenfluchtpunkt ist beim Parkstandsuchen höher als beim normalen Fahren, in manchen Fällen sogar so groß, dass keine sichere Fahrzeugführung gewährleistet ist.
2. Die durch die Blickabwendung resultierenden Stabilisierungsmaßnahmen führen zu stärkeren Lenkwinkeländerungen und höheren Fahrzeugverzögerungen.
3. Die Beanspruchung beim Parkstandsuchen ist größer als beim normalen Fahren.
4. Fahrzeugführer haben Probleme beim Abschätzen der Parkstandgröße, lassen deshalb sogar Parkstände aus, die ausreichend groß wären.
5. Der rückwärtige Verkehr wird durch die Parkstandsuchenden beeinträchtigt.

Diese Hypothesen ergaben sich aufgrund von Überlegungen und der im Abschnitt 3.4.1 durch Flussdiagramme aufgeführten Probleme, sowie durch die Literaturrecherche. Das Gefahrenpotenzial bei einer Blickabwendung vom Straßenfluchtpunkt ist nach Schweigert [73] von mehreren Faktoren abhängig, wie z.B. von der Länge und vom Winkel der Blickabwendung, der gefahrenen Geschwindigkeit sowie der Entfernung des Fixationspunktes vom Fahrzeug (wichtig für die Spurhaltung). Deshalb ist bei der Suche nach einer geeigneten Parklücke Folgendes zu erwarten: Je näher ein Fahrzeugführer an einen möglichen Parkstand heranfährt, desto größer ist das Ablenkungspotenzial, weil der Fahrer immer weniger Spurinformatoren aufnimmt und der Blickabwendungswinkel ständig zur Parklücke hin vergrößert wird. Dadurch können selbst bei einer nur sehr geringen Lenkwinkelabweichung vom Soll häufigere und in der Ausprägung stärkere Stabilisierungsmaßnahmen auftreten. Aufgrund der komplexen Anforderungen an den Fahrer beim Parkstandsuchen (Fahrzeugführung, geeigneten Straßenverkehrsordnung konformen Parkstand suchen, evtl. drängelnder rückwärtiger Verkehr, etc.) ist eine erhöhte Beanspruchung zu erwarten. Wenn die Beanspruchung für den Fahrzeugführer eine Grenze übersteigt, kann es dann durchaus geschehen, dass ausreichend große Parkstände ausgelassen werden. Außerdem kann der Fahrer aufgrund der Parkstandsuchgeschwindigkeit und der Fahrzeuglänge die Parkstandgröße oft nur sehr schwer abschätzen. Da er die höhere Beanspruchung durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit kompensieren müsste (Kompensationsverhalten), wird der rückwärtige Verkehr teils stark beeinflusst. Dies konnte schon bei Riel [69] nachgewiesen werden. In dieser Arbeit ist die Art der Beeinträchtigung und Kritikalität der Situation genauer und detaillierter zu erfassen. Um die aufgestellten Hypothesen zu verifizieren, wurde ein Feldversuch konzipiert, bei dem insgesamt 26 Probanden eine ausgewählte Versuchsstrecke (9 km Stadtrundkurs) unter realen Verkehrsbedingungen zu befahren hatten. Der Versuch wurde im Januar 2006 durchgeführt, die Versuchsdauer lag bei ca. einer Stunde. Obwohl der Versuch im Winter durchgeführt wurde, waren die Straßen während des ganzen Versuchszeitraums schnee- und eisfrei. Außerdem gab es in dieser Zeit tagsüber

keine Niederschläge. Somit konnten die Witterungsverhältnisse für die Versuchsauswertung vernachlässigt werden, da sie keinen Einfluss auf die Fahrleistung der Probanden hatten. Alle zu diesem Versuch eingeladenen Probanden nahmen auch an dem anschließenden Versuch zum Einparken teil (siehe Abschnitt 3.3.1).

Bei der Erstellung des Versuchsdesigns wurde darauf geachtet, eine geeignete Methode zur wissenschaftlichen Beschreibung der Parkstandsuche zu entwickeln. Dafür mussten speziell auf die Problematik zugeschnittene objektive als auch subjektive Messdaten erfasst und statistisch ausgewertet werden. Um die subjektive Beanspruchung zu ermitteln, wurde ein durch die National Aeronautics and Space Administration (NASA) entwickelter Test, der NASA Task Load Index (NASA-TLX) - vgl. Kapitel 3.2.2) - verwendet.

Ein weiteres Ziel des Feldversuchs war die Einschätzung des Unfallpotenzials durch evtl. sehr hohe Blickabwendungszeiten vom Straßenfluchtpunkt, hervorgerufen durch die Parkstandsuchaufgabe. Die Fahrzeugstabilisierung durch den Fahrer wie Lenken und Bremsen sollte dabei genauer betrachtet werden. Der Versuch war so konzipiert, dass die Parkstandsuche aus der Sicht des Fahrers und die resultierende Beeinflussung anderer Verkehrsteilnehmer bewertet werden konnte.

3.2.2 Versuchskonzeption und -durchführung

Versuchsträger

Der Realversuch wurde mit einem von der BMW Group zu Verfügung gestellten BMW 530i Touring (interne Baureihenbezeichnung E61) durchgeführt. Das Fahrzeug verfügt über 2996cm^3 Hubraum, 190kW Leistung und ist mit einem Automatikgetriebe ausgestattet. Die Touring-Version des Fahrzeugs bietet ausreichend Platz, um die Hardwarekomponenten der verschiedenen Messsysteme im Kofferraum unterzubringen.

Die Stromversorgung für die Messkomponenten (Aufzeichnungscomputer, Blickerfassungsrechner) wurde mittels eines DC/AC-Wechselrichters und Spannungswandlers vom bordinternen Netz realisiert.

Die Lichtmaschine verfügt über eine ausreichende elektrische Leistung, sodass der Versuchsträger einschließlich Messeinrichtung keine weitere von außen zugeführte Spannungsversorgung benötigte. Die weiteren im Fahrzeug verbauten Messeinrichtungen werden in den folgenden Teilabschnitten beschrieben.

Versuchspersonenkollektiv

Die Akquisition der Versuchspersonen erfolgte über einen Artikel in der BMW internen Newsgroup. Die Probanden sollten dabei nicht über 190 cm groß sein, damit durch die Kopfapparatur der Blickerfassungsbrille des digitalen kabellosen Blickerfassungssystems (Dikablis) keine Beeinträchtigung der Kopffreiheit entsteht. Des Weiteren konnten auf Grund der Blickerfassungsbrille des Dikablisystems nur Versuchspersonen ohne Brille teilnehmen. Das Tragen von Kontaktlinsen stellte jedoch keine Systembeeinflussung dar, auch Störreflexionen traten hierbei nicht auf.



Abbildung 3.4 : Hardwareeinbau im Versuchsträger

Außerdem wurde bei der Auswahl des Versuchspersonenkollektivs darauf geachtet, dass nicht nur Probanden am Versuch teilnahmen, die privat ebenfalls einen BMW fahren. Damit sollte erreicht werden, dass das Personenkollektiv einigermaßen repräsentativ ist, da bei dieser Untersuchung die Ist-Analyse der Parkstandsuche allgemein im Vordergrund stand.

Das Versuchspersonenkollektiv wurde in zwei Altersgruppen unterteilt. Versuchspersonen die jünger als 23 Jahre sind wurden für den Versuch als Repräsentanten für Fahranfänger, ältere über 30 als erfahrene Fahrzeugführer angenommen. Nach Fastenmeier [17] gelten Personen mit einer Fahrpraxis über 100.000 km als erfahrene Fahrer. Da ein 23-jähriger seit ungefähr 5 Jahren einen Führerschein hat und man von einer durchschnittlichen Fahrleistung von ungefähr 20Tkm im Jahr ausgehen kann, liegt die Altersgrenze zwischen Fahranfänger und geübtem Fahrer bei einem Alter von 23 Jahren. Es wird vermutet, dass bei der Parkstandsuche und beim Einparken das Verhalten der Fahrzeugführer abhängig ist von ihrer Erfahrung. Je größer die Fahrerfahrung, desto detaillierter sind die inneren Modelle des Fahrzeugführers. Je weniger Erfahrung ein Autofahrer hat, desto unsicherer verhält er sich im Straßenverkehr und desto eher benötigt er Unterstützung bei der Erledigung der primären Fahraufgabe. Aus diesem Grund wurde das Probandenkollektiv dementsprechend aufgeteilt, um diese These zu verifizieren. Demnach wäre eine Unterstützung für Fahranfänger hilfreicher als für erfahrene Fahrer. Vor Beginn der eigentlichen Messreihe wurden die Versuchspersonen gebeten, sich während der Fahrt so natürlich wie möglich zu verhalten und sich nicht von den Messapparaturen sowie den begleitenden Versuchsleiter und Beobachter beeinflussen zu lassen. Den Probanden wurde außerdem mitgeteilt, dass der

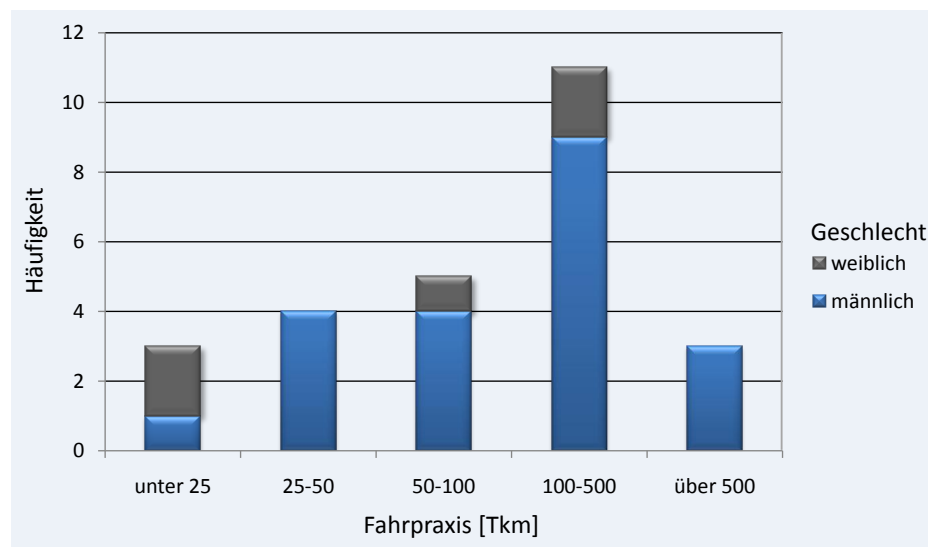


Abbildung 3.5 : Häufigkeitsverteilung Fahrpraxis des Probandenkollektivs

mitfahrende Beobachter Notizen zu den Verkehrssituationen macht und erhobene Daten anonymisiert werden. Außerdem wurde jede Versuchsperson darauf hingewiesen, dass sie alleine die Verantwortung für das sichere Fahren im Straßenverkehr trägt. Dies alles sollte dazu beitragen, eine möglichst realitätsnahe Fahrt zu gewährleisten. Zusätzlich wurde darum gebeten, dass sich der Fahrer während der Fahrt nicht mit den mitfahrenden Personen unterhält oder sich anderweitig beschäftigt (z.B. mit tertiären Fahraufgaben), um die Validität der Ergebnisse nicht zu gefährden.

Versuchsstrecke

Die ca. 9 km lange Versuchsstrecke beinhaltete sieben ausgewählte Streckenabschnitte, die Gegenstand der Untersuchung waren (Abbildung 3.6). Die Auswahl des Streckenrundkurses, der sich im nördlichen Innenstadtraum und Innenstadtrandbereich Münchens befindet, erfolgte unter Beachtung bestimmter Kriterien. Wichtig war es dabei ein Versuchsstreckenprofil auszuwählen, das unterschiedliche Verkehrssituationen und Verkehrsdichten erfasst. Zum anderen sollten diese Abschnitte räumlich nahe beieinanderliegen, um die Versuchsdauer nicht unnötig zu verlängern. Es wurde darauf geachtet, dass die Gesamtversuchsdauer wegen evtl. auftretenden Ermüdungserscheinungen der Probanden nicht über zwei Stunden betrug. Nach dem Versuch zur systemergonomischen Analyse der Parkstandsuche wurde ein weiterer Versuch zur ergonomischen Analyse des Einparkens mit einer Dauer von etwa einer Stunde angeknüpft, wobei die im Versuchsfahrzeug eingebauten Messeinrichtungen verwendet wurden. Dadurch konnte erheblich viel Zeit eingespart werden, weil Probanden nicht extra abgeholt, das Blickerfassungssystem nicht neu kalibriert werden musste und sich die Versuchspersonen bereits an das Auto für den anschließenden Versuch eingewöhnen konnten. Insgesamt beeinflusste dieses Vorgehen nicht die Qualität der Versuchsergebnisse.

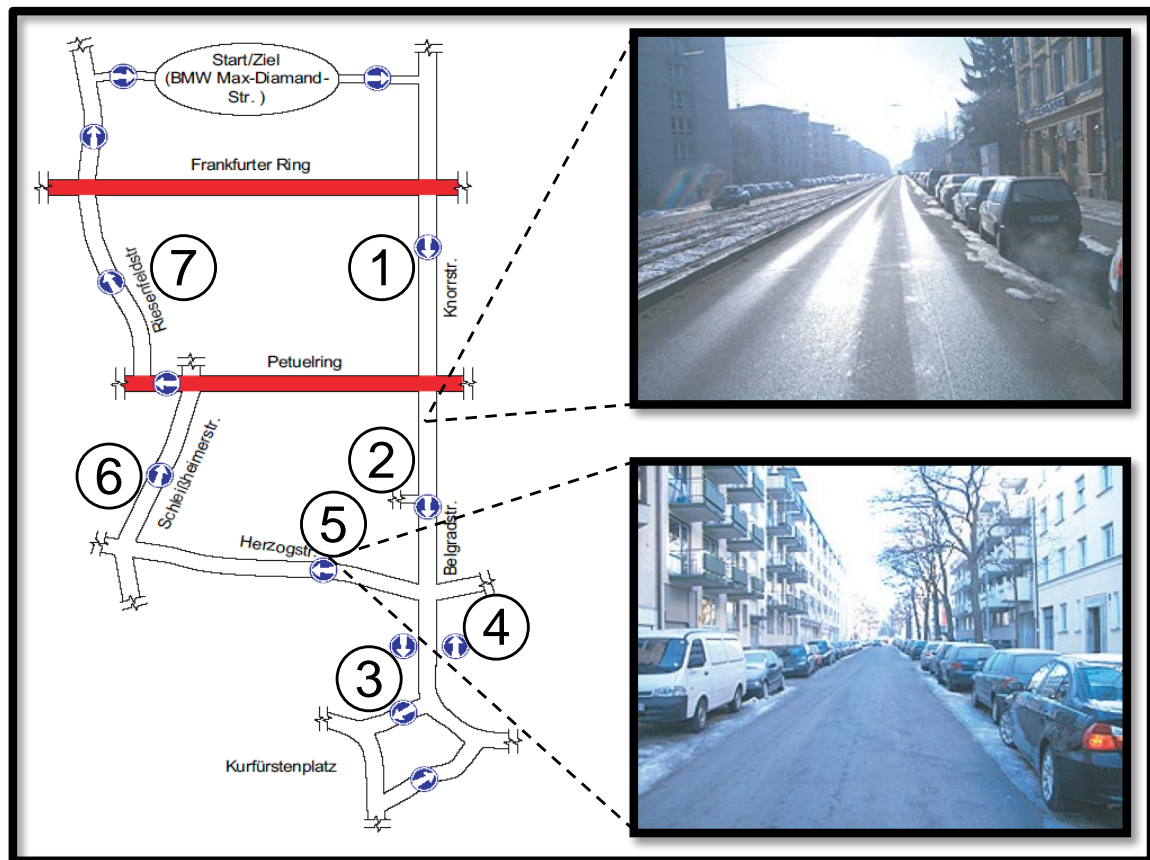


Abbildung 3.6 : Versuchsstrecke

- **Abschnitt 1 (Knorrstraße):**
 Der Streckenabschnitt im Bereich Frankfurter Ring bis Petuelring weist eine Spur in jede Fahrtrichtung auf. Der Fahrbahnverlauf ist gerade. Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Radfahrer sind durch Grünanlagen abgetrennt und verwenden den separat angelegten Bürgersteig / Fahrradweg.
 Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Das Wohngebiet weist durch die vereinzelt Verkaufsläden und Straßenknotenpunkte eine mäßige Verkehrsdichte auf. Den Probanden wird in dem Streckenabschnitt eine Eingewöhnungsfahrt ermöglicht, um sich an die Versuchssituation (Versuchsträger, Blickerfassungssystem, etc.) zu gewöhnen. Als Versuchsaufgabe steht die freie Fahrt - also keine Parkstandsuche - im Vordergrund.
- **Abschnitt 2 (Belgradstraße):**
 Der Streckenabschnitt im Bereich Petuelring bis Destouchestraße beinhaltet eine Spur in jede Fahrtrichtung. Der Unterschied zu Abschnitt 1 ist, dass die Fahrbahnen durch Grünanlagen voneinander getrennt sind. Eine Überholmöglichkeit durch rückwärtig fahrende Verkehrsteilnehmer ist so gut wie nicht gegeben. Dadurch wurde gewährleistet, dass der rückwärtige Verkehr behindert wird. Damit

konnte das Fahrverhalten des Parkstandsuchenden und des rückwärtigen Verkehrs in dieser speziellen Situation analysiert werden.

Der Proband bekam die Versuchsaufgabe einen geeigneten Parkstand unter Berücksichtigung der StVO zu suchen und einzuparken.

- **Abschnitt 3 (Belgradstraße):**
Der Streckenabschnitt im Bereich Destouchestraße bis Kurfürstenplatz beinhaltet eine Spur in jede Fahrtrichtung. Der Streckenbereich repräsentiert die hohe Verkehrsdichte im Innenstadtgebiet.
Erschwerend zur Verkehrssituation kommen in der Fahrbahn eingelassene Schienen für Straßenbahnen hinzu. Die Taktfrequenz der Straßenbahn betrug im Versuchszeitraum 10 Minuten. Eine Zusatzbelastung stellte der Verkehr durch Fahrradfahrer dar, die in diesem Streckenabschnitt auf die Straße geleitet werden. Als Versuchsaufgabe steht die freie Fahrt d. h. keine Parkstandsuche im Vordergrund.
- **Abschnitt 4 (Belgradstraße):**
Der Streckenabschnitt zwischen Kurfürstenplatz und Destouchestraße weist die gleichen Eigenschaften wie Abschnitt 3 auf. Als Versuchsaufgabe sollte der Proband einen geeigneten Parkstand nach StVO suchen und einparken.
- **Abschnitt 5 (Destouchestraße, Clemensstraße)**
Der Streckenabschnitt im Bereich Belgradstraße bis Schleißheimer Str. enthält eine Spur für beide Fahrtrichtungen. Der Straßenbereich repräsentiert ein typisches verkehrsberuhigtes Wohngebiet mit engen Parklücken und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h.
Die Versuchsaufgabe bestand wieder darin, einen geeigneten Parkstand nach StVO zu suchen und einzuparken.
- **Abschnitt 6 (Schleißheimer Straße)**
Der Streckenabschnitt zwischen Clemensstr. und Petuelring beinhaltet eine, dann zwei Spuren je Fahrtrichtung, die jedoch durch den Straßenbahnverkehr gänzlich voneinander getrennt sind.
Die Aufgabe für den Probanden bestand nach einer anfänglich freien Fahrt darin, einen Längsparkstand nach StVO zu suchen und einzuparken.
- **Abschnitt 7 (Riesenfeldstraße)**
Der Streckenabschnitt im Bereich Petuelring bis Frankfurter Ring weist eine Spur in jede Fahrtrichtung auf. Der Verkehrsabschnitt liegt teilweise an einem angrenzenden Industriegebiet bzw. im Wohngebiet. Die Verkehrsdichte kann als mittel bis gering eingestuft werden.
Als Versuchsaufgabe sollte der Proband nach einer freien Fahrt bis Keferloherstrasse einen geeigneten Parkstand suchen und einparken.

Mit diesen unterschiedlichen Streckencharakteristiken konnte gewährleistet werden, dass ein umfangreiches Spektrum an verschiedenen Streckenführungen, die normalerweise in einer Stadt auftreten, berücksichtigt wird.

Versuchsablauf

Die Versuche wurden Anfang 2006 durchgeführt. An allen Versuchstagen herrschte sonniges Wetter mit etwa gleich hohem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen. Die Versuchsfahrten können daher unter dem Aspekt der äußeren Bedingungen ohne Einschränkungen verglichen werden. Der Versuchsablauf kann im Ganzen in die folgenden drei Abschnitte untergliedert werden:

- Eingangsfragebogen, Systemeinführung und Kalibrierung der Versuchsmessgeräte
- Eingewöhnungsfahrt
- Versuchsfahrt bzw. Messfahrt
- Abschlussfragebogen, Beanspruchungstest NASA-TLX (siehe A.1)

Nach der Begrüßung erfolgte eine kurze Einführung über das Ziel des Realversuchs. Des Weiteren wurde der Proband über Gefahren und mögliche Sicherheitsmaßnahmen aufgeklärt. Sollte eine Aufgabe dem Probanden als zu schwer oder gefährlich erscheinen, konnte diese jederzeit abgebrochen werden. Der Proband wurde somit nie vom Versuchsleiter genötigt, eine gestellte Versuchsaufgabe zu beenden.

Nach Vorlage einer gültigen Fahrerlaubnis der teilnehmenden Versuchsperson, vervollständigte der Proband den Eingangsfragebogen. Hier wurden Angaben zur Person, Fahrerfahrung, Erfahrung mit technischen Systemen und die Gefühlslage vor Fahrtbeginn abgefragt. Anschließend erhielt der Teilnehmer eine detaillierte Einweisung in den Versuchsträger und die dort eingebauten Messeinrichtungen. Der Fahrer wurde aufgefordert Sitz, Lenkrad und Rückspiegel auf die individuellen Bedürfnisse anzupassen und den Sicherheitsgurt anzulegen. Nachdem die Versuchsperson die Blickerfassungsbrille des Dikablissystems aufgesetzt hatte, wurde anhand von vorher definierten Punkten an einer Hauswand das System justiert und kalibriert. Nachdem alle Messsysteme den betriebsbereiten Status erreichten, erfolgte die Eingewöhnungsfahrt zum Startpunkt der eigentlichen Versuchsstrecke. Während dieser Fahrt sollte sich der Proband an den Versuchsträger und die eingebauten Messeinrichtungen gewöhnen.

Zu Beginn des eigentlichen Tests wurden alle Messsysteme zur Datenaufzeichnung aktiviert. Der Proband erhielt vom Versuchsleiter genaue Anweisungen zur Fahrstrecke und der entsprechenden Fahraufgabe. Die Aufgabenstellung und die Aufgabenausführung erfolgten bei jedem Probanden immer nach dem gleichen Schema. Nach frühzeitiger Aufforderung wurde der Proband während der entsprechenden Streckenabschnitte gebeten, entweder einen Parkstand zu suchen und einzuparken, oder lediglich den Streckenabschnittskurs nach Richtlinien der StVO abzufahren. Die Distanz zwischen den Streckenabschnitten war ausreichend groß, sodass innerhalb eines Abschnittes immer mindestens ein geeigneter Parkstand gefunden werden

konnte. Insgesamt wurden während der Versuchsreihen über alle Probanden 172 Fahrsituationen, davon 97 Parkstandsuchsituationen und 75 Situationen der freien Fahrt aufgezeichnet.

Nach Erreichen eines Parkstands wurde der Versuchsteilnehmer angehalten, in der selbst gewählten Parklücke einzuparken. Aufgetretene Probleme wie z.B. eine zu klein eingeschätzte Parklücke wurde als Fehler im Fragebogen vermerkt. Zudem notierte der Versuchsleiter, wenn der Proband ausreichend große Parkstände ausließ. Nach Abschluss des Parkvorgangs erfolgte eine kurze Befragung über die während der Aufgabe gewonnenen Eindrücke und Empfindungen des Probanden. Ebenfalls dokumentierte der Versuchsleiter auffällige Vorkommnisse, wie z.B. besondere Verkehrssituationen (drängelnder rückwärtiger Verkehr, Fußgänger, etc.). Nachdem eine Versuchsperson die gesamte Versuchsstrecke abgefahren hatte wurde seine subjektiv empfundene Beanspruchung mithilfe des NASA-TLX Tests für die „freie Fahrt“ und die „Parkstandsuche“ ermittelt. Der Abschlussfragebogen zielte auf subjektive Eindrücke des Probanden während des Realversuchs ab. Für alle Versuchsfahrten galt, dass diese immer nach einem gleichen Schema abliefen und die Sicherheit zu jedem Zeitpunkt im Vordergrund stand.

Das Blickerfassungssystem Dikablis

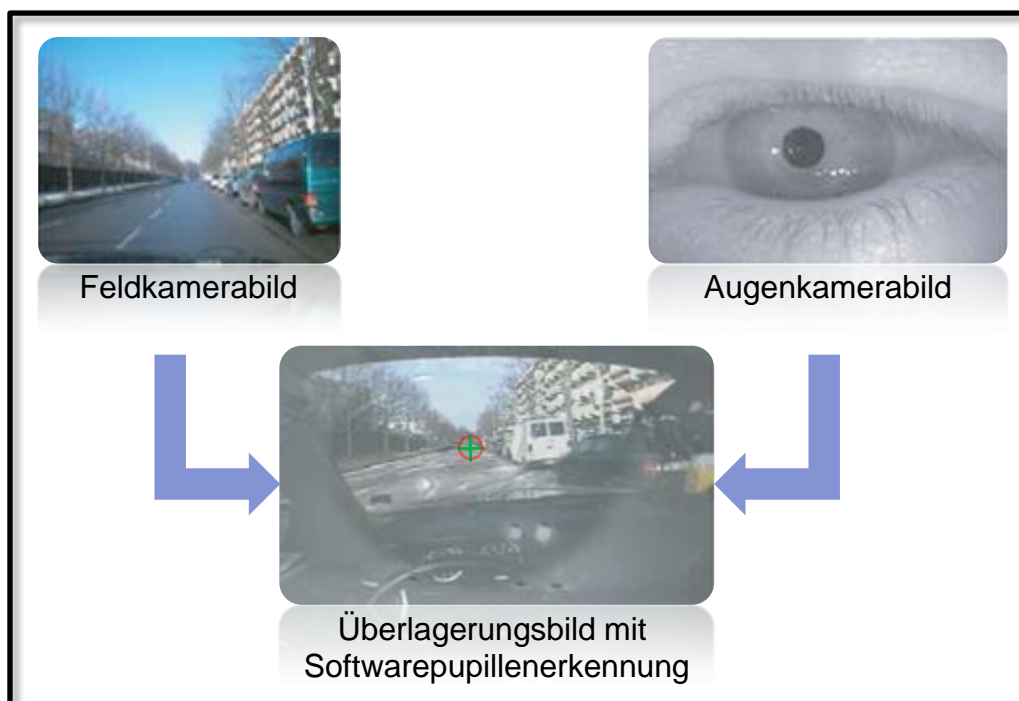


Abbildung 3.7 : Digitales kabelloses Blickerfassungssystem (Dikablis)

Dikablis ist ein am Lehrstuhl für Ergonomie entwickeltes Messsystem, das Blickbewegungen von Personen in Echtzeit erfasst und für spätere Versuchsauswertungen

in ein abgestimmtes Rechnersystem abspeichert. Durch die Untersuchung des Blickverhaltens kann die Ablenkung des Fahrers bei unterschiedlichen Mensch-Maschine-Interaktionen bewertet werden (vgl. Schweigert [73]). Grundsätzlich kann nach Just & Carpenter [28] davon ausgegangen werden, dass Fixationsort und Aufmerksamkeitsfokus übereinstimmen.

Dikablis besteht aus drei Einheiten: Einer Kopfeinheit mit zwei kleinen Videokameras, einem Übertragungssystem, das die Daten über eine Wireless-LAN Funkverbindung zur Rechnereinheit überträgt und der Rechnereinheit selbst, über die die empfangenen Videoströme abgespeichert und anschließend ausgewertet werden können.

Die auf der Kopfeinheit montierte Feldkamera erfasst die Blickrichtung der Versuchsperson. Eine im Infrarotbereich arbeitende Videokamera filmt die Pupillenbewegung des rechten Auges über einen Infrarot-Spiegel. Um konstante Kontrastverhältnisse zu erzeugen wird das Auge mit Infrarot-Dioden ausgeleuchtet. Die beiden durch die



Abbildung 3.8 : Versuchsperson mit Dikablis-Brille im Versuchsfahrzeug

Wireless-LAN Funkverbindung übertragenen Videoströme werden getrennt im PC digital aufgezeichnet und durch spezielle Software überlagert. Ist das Augenbild und das Bild der Feldkamera zueinander kalibriert, kann mithilfe einer Pupillenerkennung ermittelt werden, wohin die Versuchsperson genau sieht.

Ein weiteres Modul der Dikablissoftware ermöglicht mit der Pupillenerkennung, dass bei der Auswertung Fixationen auf spezielle Bereiche oder Objekte, den sogenannten Areas-of-Interests (AOI), hinsichtlich Zeitpunkt und Länge ermittelt werden können. Der rote Kreis in Abbildung 3.7 zeigt dabei den fovealen Bereich an, das grüne Kreuz den Pupillenmittelpunkt.

Videoverfassung des vor- und rückwärtigen Verkehrs

Zur Überwachung der durch den Versuch resultierenden Reaktionen der anderen Verkehrsteilnehmer auf den Parkstandsuchenden wurden zwei Videokameras an der Front- und Heckscheibe installiert. Die beiden erfassten Videosignale wurden mit dem



Abbildung 3.9 : Installierte Videokameras zur Überwachung des Verkehrsumfeldes

Dikablis Feldkamerastream mithilfe eines Videoschnittstellen-Konverters zu einer Videosequenz konvertiert und digitalisiert auf einem separaten Rechner abgespeichert. Der duplizierte Feldkamerastream diente neben einem Synchronisationsblitz als framgenaue Synchronisierung der beiden Videosysteme. Bei der späteren Auswertung konnten durch diese Aufnahmen unter anderem gefährliche Verkehrssituationen aufgezeigt und als aussagefähige Sachverhalte extrahiert werden.

Erfassung technisch-physikalischer Fahrzeugparameter

Neben den digitalisierten Videos wurden außerdem physikalische Parameter des Versuchsfahrzeugs aufgezeichnet. Zur Auslesung der für den Realversuch relevanten Daten wurde der fahrzeuginterne CAN-Bus verwendet, der dem Auto als Informations- und Steuerungssystem dient. Auf dem CAN-Bus werden derzeit sechs verschiedene Nachrichtentypen (Applikationsnachrichten, Dienstenachrichten, segmentierte Dienstenachrichten, Diagnose, Netzwerkmanagement und Nachrichten für Messzwecke) übertragen. Folgende physikalische Fahrzeugdaten wurden für die Untersuchung abgegriffen und aufgezeichnet:

- Fahrzeuggeschwindigkeit: v in $[km/h]$

- Fahrzeugbeschleunigung: a in $[m/s^2]$
- Lenkradwinkel: δ in $[^\circ]$
- Blinkerstatus [*links, rechts, aus*]
- Systemzeit t in $[ms]$

Zur Vereinfachung der Synchronisation wurde darauf geachtet, die CAN-Bus-Abtastrate der Videoframerate von (40ms) anzupassen und die Daten in Form von Textdateien auf dem Videostreamrechner mit abzuspeichern.

NASA-TLX Beanspruchungstest

Beim von der NASA entwickelten Beanspruchungsfragebogen von Staveland [29] wird ein Beanspruchungsindex, der Task Load IndeX, anhand von Bewertungen der gefühlten Beanspruchung von Personen während einer bestimmten Situation gebildet. Dabei gibt es die folgenden 6 Beanspruchungsdimensionen d_k :

- d_1 : Geistige Anforderung
- d_2 : Körperliche Anforderung
- d_3 : Zeitliche Anforderung
- d_4 : Leistungsdruck bei der Aufgabenerfüllung
- d_5 : Anstrengung
- d_6 : Frustration

Jede der Dimensionen d_k muss die Versuchsperson i nach jedem Versuchsdurchlauf mit Variation v auf einer Skala bewerten. Niedrige Skalenwerte (b_{i,v_k}) stehen für niedrige, hohe Skalenwerte für hohe Beanspruchung b der jeweiligen Dimension auf die Versuchsperson. Die Skalen im von der NASA veröffentlichten TLX-Programm¹ haben das Intervall $S = [5;100]$ mit der Schrittweite 5. Die Skala besteht also aus den Elementen $\{5;10;...;95;100\}$. Nach dieser Bewertung werden alle möglichen Kombinationen aus je 2 der Dimensionen $d_k \in D = \{d_1;...;d_6\}$ gebildet und der Versuchsperson gezeigt. Die mögliche Kombinationsanzahl M der Beanspruchungsdimensionen ergeben sich für $k = 6$ wie folgt:

$$M = \frac{d_k(d_k - 1)}{2} = \frac{d_k^2 - d_k}{2} = 15 \quad (3.1)$$

Bei jedem der 15 angezeigten Dimensionstupel muss die Versuchsperson nun auswählen, welche der beiden Beanspruchungsdimensionen ihrem Empfinden nach bedeutsamer für die Gesamtbeanspruchung war. Die Anzahl der hierbei jeweils bedeutsamer

¹ NASA-TLX Beanspruchungstest (<http://www.nrl.navy.mil/aic/ide/NASATLX.php> [2006])

empfundene Beanspruchung wird für jede Dimension gezählt ($\#d_k$). Anschließend werden die relativen Auswahlhäufigkeiten jeder der Dimensionen d_k gebildet:

$$p_{i_v}(d_k) = \frac{\#d_k}{M} \in [0; 1] \quad (3.2)$$

Die Werte $p_{i_v}(d_k)$ sind die Gewichtungen der Skalenwerte $b_{i_v}(d_k)$ und werden mit diesen multipliziert. Summiert man die so entstanden Werte, so erhält man den Beanspruchungsindex T_{i_v} (im Wertebereich zwischen 0% und 100%) für die Versuchsperson i bei Variante v :

$$\sum_{k=0}^m b_{i_v}(d_k) \cdot p_{i_v}(d_k) = \sum_{k=0}^m t_{i_v}(d_k) = T_{i_v} \quad (3.3)$$

Da bei dieser Untersuchung viele Beanspruchungsbögen erhoben worden sind ist die Reihenfolge der Dimensionstupel für alle Versuchspersonen gleich (sollte normalerweise zufällig sein), da die Erhebung mithilfe eines einheitlichen, handschriftlich auszufüllenden Fragebogens erfolgte. Das von der NASA entwickelte TLX-Program bildet die Reihenfolge der Tupel zufällig.

Statistische Auswertung

Nach der Durchführung aller Versuchsfahrten wurden die erhobenen Daten statistisch ausgewertet. Dafür ist zum einen eine Datenaufbereitung und zum anderen eine Datenanalyse notwendig. Bei der Datenaufbereitung müssen zuerst die ermittelten Werte zusammengefasst, synchronisiert und gefiltert werden. Im zweiten Schritt werden die Daten auf Unterschiede zwischen den Aufgabenausprägungen analysiert und bewertet.

- Datenaufbereitung

Durch die Datenaufbereitung wurden die Messwerte für eine statistische Auswertung vorbereitet. Die Datenaufbereitung beinhaltet zwei Teilaufgaben.

Einerseits wurden die Antworten aus den Fragebögen zusammengefasst und andererseits die objektiven Messdaten synchronisiert, relevante Versuchsschnitte extrahiert und der statistischen Analyse zugeführt.

Dabei verwendete Rechnerwerkzeuge wie Microsoft Excel, SPSS, SQL-Tabellen für große Datenmengen, selbst programmierte Tools oder der Dikablissoftware stellten technische Hilfsmittel dar, um die Arbeit der Datenaufbereitung in angemessener Zeit bewältigen zu können.

Das nachstehende Schema verdeutlicht die Methodik der Datenerfassung im Realversuch und der anschließenden Datenaufbereitung:

- Datenanalyse

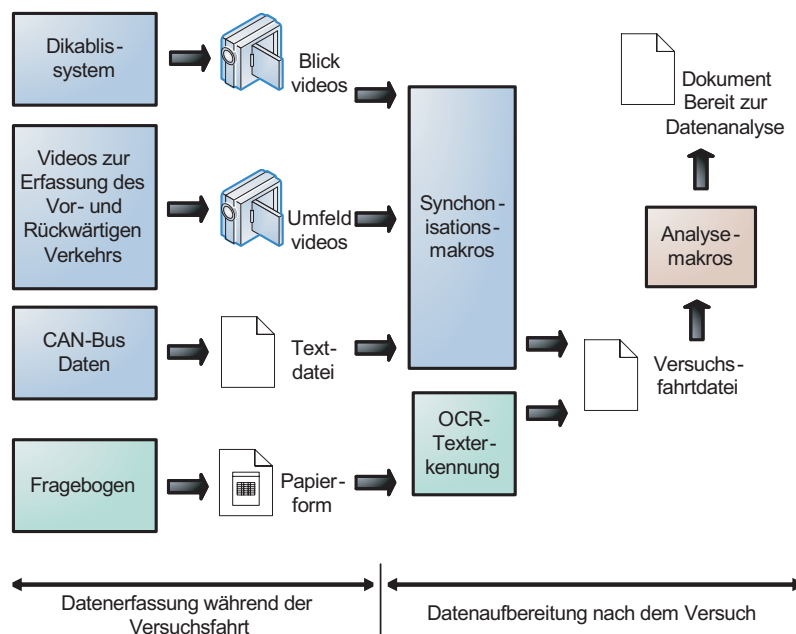


Abbildung 3.10 : Datenerfassungs- und Datenaufbereitungsschema

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den statistischen Methoden zur Analyse der aufbereiteten Daten. Für die Auswertung wurden Verfahren der deskriptiven Statistik und Inferenzstatistik angewendet, die hier kurz erläutert werden. Der interessierte Leser sei hier auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen (z.B. Bortz [?]).

Hinsichtlich der deskriptiven Statistik wurde das arithmetische Mittel, Minimum, Maximum und die Standardabweichung bestimmt. Das arithmetische Mittel (\bar{x}) ist die Summe aller Werte dividiert durch die Anzahl aller Werte. Das Minimum und Maximum stellt den jeweils kleinsten und größten Wert einer Verteilung dar. Die Standardabweichung (s) ist ein Maß zur Kennzeichnung der Variabilität einer Verteilung und ist der positive und negative Wert der Quadratwurzel der Varianz (s^2). Die Varianz berechnet sich aus der Summe der quadrierten Abweichungen aller Messwerte vom arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl aller Messwerte. Für eine Normalverteilung gilt, dass zwischen den Werten $\bar{x} + s$ und $\bar{x} - s$ genau 68,26% aller Fälle liegen.

Mithilfe der inferenzstatistischen Analyse - wie z.B. der in dieser Arbeit verwendeten Varianzanalyse (Analysis of Variance ANOVA) - kann untersucht werden, ob (und gegebenenfalls wie) sich der Erwartungswert einer Zufallsvariablen (bei nur einer untersuchten Zufallsvariablen spricht man auch von einer Univariaten, bei mehr als einer untersuchten Zufallsvariablen von einer multivariaten Varianzanalyse (MANOVA)) in verschiedenen Stichproben (mehr als zwei) unterscheidet. Bei diesem Verfahren wird getestet, ob die Varianz der Messwerte zwischen den Stichproben größer ist als die Varianz der Messwerte innerhalb

der Stichproben. Dadurch kann ermittelt werden, ob sich die Stichprobenwerte voneinander unterscheiden oder nicht. Die ANOVA setzt homogene Varianzen und normalverteilte Stichproben voraus. Werden nur zwei Faktorstufen miteinander verglichen, so ist die durchzuführende ANOVA gleich dem t-Test. Zur Durchführung statistischer Analysen muss eine Nullhypothese (H_0), zur Versuchshypothese (H_A) aufgestellt werden. Ist die Versuchshypothese gerichtet oder ungerichtet, so lautet die Nullhypothese:

H_0 : Die Mittelwerte der beiden Stichproben unterscheiden sich nicht voneinander.

Die Versuchshypothese ist damit die Alternativhypothese H_A zur Nullhypothese. Fällt nun das Ergebnis der ANOVA, der p -Wert, unter eine durch das Signifikanzniveau α mit in dieser Arbeit üblicherweise 5% festgelegte Irrtumswahrscheinlichkeit, mit der die Nullhypothese unberechtigterweise abgelehnt wird, so kann H_A angenommen werden. Ein Unterschied zwischen den Mittelwerten zweier Stichproben wird in dieser Arbeit als „signifikant“ bezeichnet, wenn die ANOVA einen Wert von $p \leq \alpha$ liefert. Die Versuchshypothese kann dann mit einer Wahrscheinlichkeit von $1 - \alpha$ (hier: 95%) berechtigterweise angenommen werden. Ist der Wert $p > 0,25$ entscheidet man sich üblicherweise für die H_0 Nullhypothese (siehe Bubb [7]). In dieser Arbeit wird dann von „keinem Unterschied“ zwischen den Stichproben ausgegangen. Bei Werten die zwischen $\alpha < p < 0,25$ liegen (vgl. Bubb [7]), kann man sich weder für noch wider einer der Hypothesen entscheiden. Dieser Bereich wird auch als „statistischer Graubereich“ bezeichnet und hier als „nicht signifikantes“ Ergebnis definiert. Für Post-hoc Vergleiche zwischen mehreren Stichproben wurden jeweils t-Tests für abhängige bzw. unabhängige Gruppen - je nach Versuchsdesign - verwendet. Dabei wurden die Signifikanzniveaus dieser Mehrfachvergleiche nach Bonferoni adjustiert (siehe Bortz [4]), um eine Kumulation des α -Fehlers zu vermeiden. Dies ist im speziellen Fall von nur zwei Stichproben nicht notwendig, da es sich dann um einen einfachen t-Test handelt, weshalb keine Varianzanalyse durchgeführt werden muss und damit auch keine Bonferoni Korrektur. Abhängig vom Versuchsdesign verschiedener Untersuchungen wird in dieser Arbeit also entweder ein t-Test für abhängige bzw. unabhängige Stichproben bestimmt, wenn exakt zwei Stichproben vorliegen, und eine Varianzanalyse, wenn mehr als zwei Stichproben genommen wurden.

3.2.3 Untersuchungsergebnisse

Insgesamt umfasste das Versuchspersonenkollektiv 26 Probanden. Es wurden objektive Daten wie Fixationsdauern und -häufigkeiten sowie das Fahrverhalten während der freien Fahrt und der Parkstandsuche aufgezeichnet. Subjektive Daten aus Fragebögen und dem NASA-TLX Test spiegeln die persönlichen Empfindungen und Beanspruchungen der Probanden während der Parkstandsuche und der freien Fahrt

wieder.

Alle erfassten Messdaten lagen in der notwendigen Qualität vor, um fundierte Rückschlüsse aus den Ergebnissen ziehen zu können.

Blickverhalten

Bei der Untersuchung des Blickverhaltens stand die Blickabwendung vom Straßenfluchtpunkt im Vordergrund d.h., es wurden vor allem die Kenngrößen *Abwendungsdauer je Blickabwendung*, *die kumulierte, prozentuale Blickabwendungszeit jeder Versuchsperson* und die *Abwendungshäufigkeit* betrachtet.

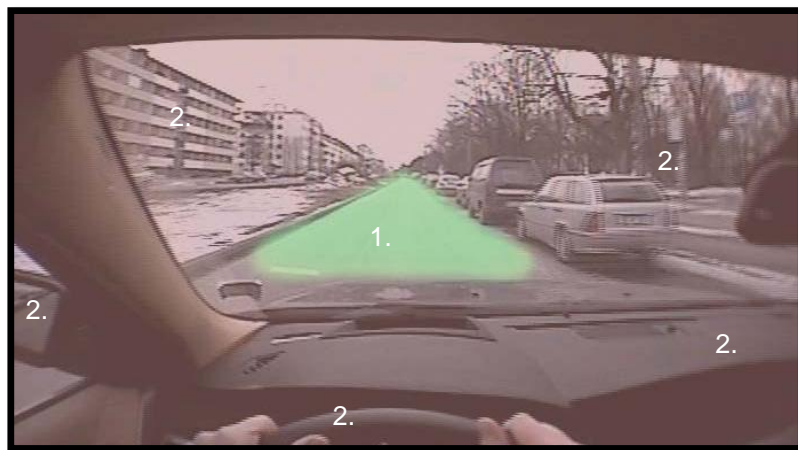


Abbildung 3.11 : Area of Interest (AOI) bei der Parkstandsuche

Blickabwendungszeiten vom Straßenfluchtpunkt

Für diese Untersuchung wurden zwei Area of Interests (AOI) wie folgt festgelegt:

- **Straßenfluchtpunkt**
Fixationen in diesem Bereich dienen der Informationsgewinnung über Fahrbahnbegrenzung und Verhalten des vorwärtigen Verkehrs, etc.
- **Blickrichtungen außerhalb des Straßenfluchtpunktes**
Fixationen außerhalb des Bereichs 1 (s. Abb. 3.11) werden im Versuch als von der primären Fahraufgabe eventuell ablenkende Blicke bewertet, auf z.B. Parklücken, Umgebung, Häuser, etc.

Die Blickabwendungszeit wurde in dieser Untersuchung als die Zeit definiert, während der ein Fahrer vom Straßenfluchtpunkt in den Bereich 2 (vgl. Abb. 3.11) sieht und anschließend wieder in den Bereich 1 blickt. Je höher die Blickabwendungszeit, desto länger hat der Proband andere Punkte im umliegenden Straßenverkehr (Parkbucht, Fußgänger etc.) und im Fahrzeug (Tacho, Spiegel, etc.) fixiert. Während dieser Zeit, können Informationen vom vorwärtigen Verkehrsumfeld - z.B. ein bremsendes

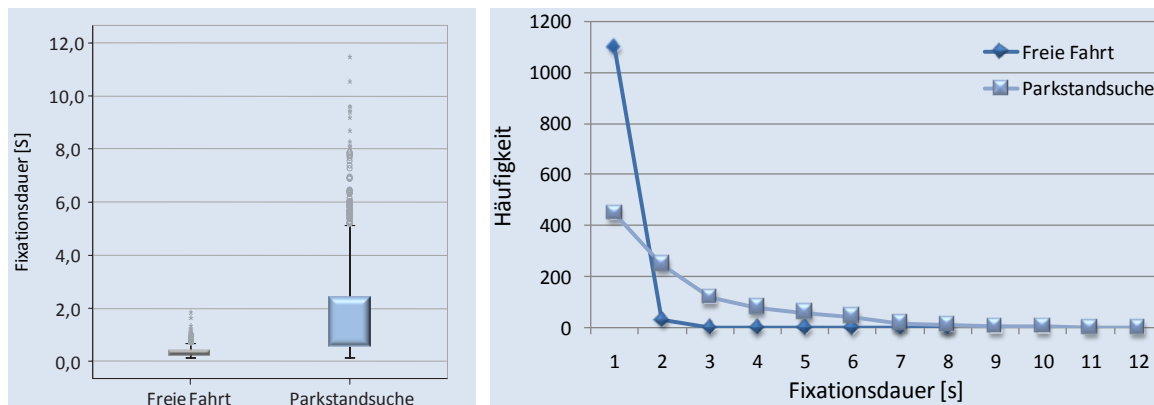


Abbildung 3.12 : Blickabwendungsdauern

| | Freie Fahrt | Parkstandsuche |
|---------------------------|-------------|----------------|
| Mittelwert | 343 ms | 1.778 ms |
| Standardabweichung | 202 ms | 1.762 ms |
| Minimum | 120 ms | 120 ms |
| Maximum | 1.840 ms | 11.480 ms |

Tabelle 3.1 : Deskriptive Statistik Vergleich „freie Fahrt“ und „Parkstandsuche“

Vorderfahrzeug - nicht bzw. nicht ausreichend schnell wahrgenommen werden, was zu einem erhöhten Unfallrisiko führen kann.

Im Realversuch konnte ein signifikanter ($F = 151,78$; $p < 0,00$) Unterschied zwischen der Länge der Abwendungszeiten bei der Parkstandsuche im Vergleich zur freien Fahrt nachgewiesen werden. Schweigert [73] stuft durchschnittliche Blickabwendungszeiten über 4 Sekunden (abhängig von Fahrzeugbreite, Spurbreite und Geschwindigkeit) als gefährlich ein. Bei der Parkstandsuche stellte sich heraus, dass 10% aller Blickabwendungen länger als vier Sekunden dauerten. Bei der „freien Fahrt“ hingegen lagen alle Blickabwendungen unter vier Sekunden. Damit konnte Hypothese 1 bestätigt werden. Somit kann beim Parkstandsuchen in 10% aller Fälle davon ausgegangen werden, dass ein erhöhtes Unfallpotenzial durch zu lange Blickabwendungszeiten besteht.

Prozentuale Abwendungszeit einzelner Blickabwendungen

Die prozentuale Abwendungszeit vom Straßenfluchtpunkt auf den Bereich 2 während der Parkstandsuchaufgabe wird im Folgenden näher bewertet. Die Datenanalyse ergibt, dass der prozentuale Fixationsanteil im Bereich 2 während der Parkstandsuche signifikant höher ist, als bei der normalen Stadtfahrt ($F = 86,17$; $p < 0,00$). Demnach haben sich Fixationsanteile im Bereich 2 während der Parkstandsuchaufgabe von bis zu 92% der Parkstandsuchzeit ergeben. Während dieser Zeit können natürlich andere

| | <i>Freie Fahrt</i> | <i>Parkstandsuche</i> |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|
| Mittelwert | 0,98% | 6,55% |
| Standardabweichung | 0,79% | 8,86% |
| Minimum | 0,13% | 0,09% |
| Maximum | 6,63% | 92,37% |

Tabelle 3.2 : Deskriptive Statistik prozentuale Blickabwendungsanteile an der Aufgabenzeit

wichtige Informationen für die primäre Fahraufgabe nicht mehr ausreichend aufgenommen und verarbeitet werden, wodurch das Unfallpotenzial in diesen Situationen ansteigt.

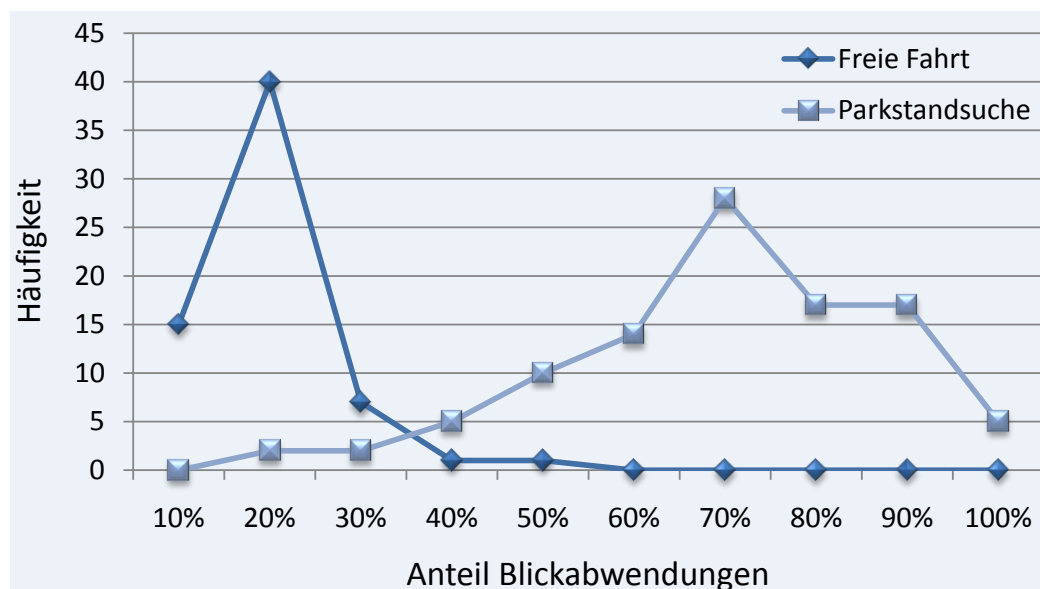


Abbildung 3.13 : Prozentuale Abwendungszeit einzelner Blickabwendungen

Abwendungshäufigkeit und prozentuale Blickabwendungsdauer

Die prozentuale Blickabwendungsdauer stellt im Gegensatz zur prozentualen Abwendungszeit einzelner Blickabwendungen die summierte Blickabwendungszeit eines Streckenabschnittes in Relation zur Versuchsabschnittstreckenzeit. Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied ($F = 661,71$; $p < 0,00$) zwischen Parkstandsuche und der freien Fahrt. Auffallend ist der maximale Blickabwendungsanteil von über 98% bei der Parkstandsuche, wenn man berücksichtigt, dass bei der Versuchssituation nur 1-2% der Versuchsabschnittszeit für Fixationen des Straßenfluchtpunktes verwendet wurde. Somit hat der Fahrer in dieser Situation außer der Parklücke sicherlich keine Informationen mehr aufgenommen. Dies wäre aber zur sicheren Führung des Fahrzeugs notwendig. Die Abwendungshäufigkeit zeigt die Anzahl der Blickabwendungen pro Zeit. Auch hier ist ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen Parkstandsuche

| | <i>Freie Fahrt</i> | <i>Parkstandsuche</i> |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|
| Mittelwert | 14,1 % | 66,2 % |
| Standardabweichung | 6,4 % | 16,5 % |
| Standardfehler | 0,74 % | 1,67 % |
| Minimum | 4,9 % | 45,5 % |
| Maximum | 18,8 % | 98,8 % |

Tabelle 3.3 : Deskriptive Statistik prozentuale Blickabwendungsdauer

| | <i>Freie Fahrt</i> | <i>Parkstandsuche</i> |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|
| Mittelwert | 33,3 ° | 83,2 ° |
| Standardabweichung | 54,5 ° | 98,4 ° |
| Minimum | 3,8 ° | 7,1 ° |
| Maximum | 354,5 ° | 515,4 ° |

Tabelle 3.4 : Deskriptive Statistik der maximalen Lenkwinkel

und freie Fahrt zu erkennen ($F = 549,70$; $p < 0,00$). Im Durchschnitt werden bei der Parkstandsuche 2,5 Mal mehr pro Sekunde Informationen aus dem Bereich 2 aufgenommen, als bei der freien Fahrt. Die hohe Blickwechselhäufigkeit bei der Parkstandsuche ist natürlich notwendig, um einen geeigneten Parkplatz zu finden und gleichzeitig das Fahrzeug führen zu können. Trotzdem ergeben sich hiermit zusätzlich Hinweise auf die Gefährlichkeit der Parkstandsuche.

Resultierende Fahrverhalten

Eine weitere Möglichkeit zur Analyse von Verhaltensänderungen durch Zusatzaufgaben ist die Auswertung physikalischer Fahrzeugparameter. Dafür soll die Auswertung von Geschwindigkeit, Beschleunigung und Lenkwinkeländerungen während der Parkstandsuche und der freien Fahrt Aufschluss über das Fahrverhalten geben. Wie in der Hypothese 2 erwartet, traten bei der Parkstandsuche höhere Lenkwinkel auf als bei der freien Fahrt. Ein Vergleich der beiden Fahrsituationen ergab, dass sich ein dreifach höherer Lenkwinkelausschlag bei der Parkstandsuche einstellt. Dabei ist zu beachten, dass nur die Parkstandsuche und nicht der Einparkvorgang zum Vergleich herangezogen wurde. Die Streuung der bei der Parkstandsuche erfassten Lenkwinkel ist ebenfalls viel größer als bei der freien Fahrt. Dies deutet darauf hin, dass die Spurhalteaufgabe bei der Parkstandsuche vernachlässigt wurde. Deshalb musste der Fahrer eine größere Soll/Ist-Korrektur des Lenkwinkels vornehmen, was sich in den aufgezeichneten Daten widerspiegelt. Zur Risikoabschätzung von im Realversuch aufgetretenen maximalen Lenkwinkeln - und damit von kritischen Ausweichsituationen - wird eine Daimler-Benz Studie aus dem Jahre 1998 (auch bekannt als der Elch-Test) herangezogen. Der Elch-Test zeigt unter anderem, welche

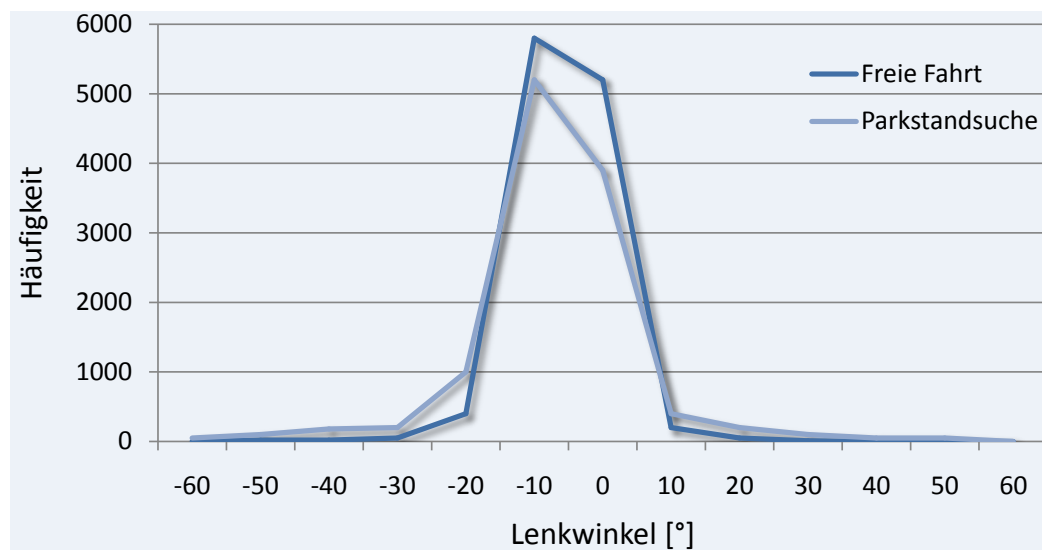


Abbildung 3.14 : Maximale Lenkwinkel

maximalen Lenkwinkel, Lenkwinkelgeschwindigkeiten und Lenkwinkelbeschleunigungen von „normalen“ Fahrern aufgebracht werden können. Als „normale“ Fahrer werden hier Fahrzeugführer angenommen, die sich hauptsächlich im öffentlichen Straßenverkehr bewegen und nicht auf Rennstrecken trainieren. Diese im Elch-Test aufgetretenen maximalen Lenkwinkelgeschwindigkeiten werden von Autofahren jedoch nur in äußerst kritischen Situationen erreicht. Deshalb soll diese Studie zur Analyse des Realversuchs herangezogen werden. Wenn nämlich bei der „freien Fahrt“ oder „Parkstandsuche“ in speziellen Situationen Lenkwinkelgeschwindigkeiten vorkommen, die denen des Elch-Tests gleichen, ist von kritischen Situation in unserem Versuch auszugehen.

Vergleicht man nun die Daimler-Benz Studie mit den Versuchsergebnissen des Realversuchs, kann festgestellt werden, dass weder bei der freien Fahrt noch bei der Parkstandsuche gefährliche Situationen entstanden sind. Nur vereinzelte Parkstandsuchzenen kamen in den kritischen Wertebereich, der hier durch den Elch-Test definiert wurde. Nach exakter Analyse der Videodaten konnten Gründe wie Unachtsamkeit und plötzliche Brems-Lenk-Manöver aufgrund zu spät erkannter Parklücken nachgewiesen werden. Somit ergaben sich einige wenige kritische Situationen. Für die weitere Bestätigung der ungerichteten Versuchshypothese 2 wurden Lenkwinkelgeschwindigkeiten und Lenkwinkelbeschleunigungen (Mittelwerte und Maximalwerte) untersucht. Die Ergebnisse bestärken ebenfalls die Hypothese. Somit kann es in seltenen Fällen bei der Parkstandsuche zu Problemen bei der Spurführung kommen.

Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit

Auch die translatorische Bewegung des Fahrzeugs wurde zur Bewertung der Parkstandsuche herangezogen. Es war eindeutig zu erkennen, dass bei der Parkstandsuche

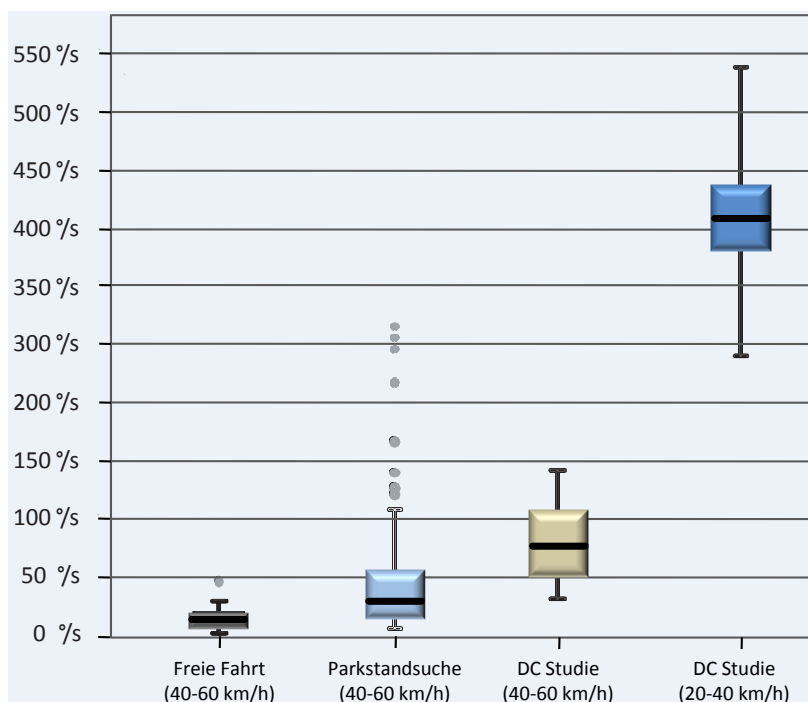


Abbildung 3.15 : Vergleich kritische Lenkwinkeländerungen von Elch-Test und Parkstandsuche

| | Freie Fahrt | Parkstandsuche |
|---------------------------|-------------|----------------|
| Mittelwert | 45,2 km/h | 31,7 km/h |
| Standardabweichung | 6,6 km/h | 7,5 km/h |
| Minimum | 27,3 km/h | 15,1 km/h |
| Maximum | 60,9 km/h | 48,9 km/h |

Tabelle 3.5 : Deskriptive Statistik der Geschwindigkeit

che die Fahrzeuggeschwindigkeit ($F = 151,65; p < 0,00$) gegenüber der freien Fahrt signifikant reduziert wird. Die reduzierte Geschwindigkeit soll im Folgenden als Parkstandsuchgeschwindigkeit definiert und verwendet werden. Für die freie Fahrt stellte sich dabei eine mittlere Geschwindigkeit von $\bar{v} \approx 45 \text{ km/h}$ ein, bei der Parkstandsuche von $\bar{v} \approx 31 \text{ km/h}$. Damit können auch Anforderungen an Assistenzsysteme für die Parkstandsuche gestellt werden. Alle Systeme, die die Suche nach einem Parkstand unterstützen, müssen bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von mindestens $v = 31 \text{ km/h}$ funktionieren. Ansonsten würde solche eine Hilfe dem Fahrer nicht viel nützen, und Akzeptanzproblemen wären vorprogrammiert. Die maximale Fahrzeugverzögerung bzw. maximale negative Beschleunigung kann ebenfalls zur Bestätigung der Hypothese 2 und zur Risikobetrachtung herangezogen werden. Bei der Parkstandsuche sind deshalb hohe Verzögerungen durch abrupte Bremsmanöver vor freien Parklücken näher zu untersuchen. Es hat sich herausgestellt, dass einige Verzögerungen nach der Entdeckung eines freien Parkstandes so groß sind, dass eine gefährliche Situation für

den rückwärtigen Verkehr entstehen kann und damit das Unfallpotenzial erhöht wird. Für die Definition einer gefährlichen Situation wird die Arbeit von Kopf [42] herangezogen. Für die Bewertung der Kritikalität bzw. Gefährlichkeit einer Situation wird die nach Kopf [42] zu berechnende Zeitreserve aufgeführt. Die Bremszeitreserve (T_{res}) ist definiert als die verbleibende Zeit, bis der Fahrer mit einer definierten Verzögerung bei einem gegebenen Situationsaspekt bremsen muss, um eine Kollision zu vermeiden $T_{rea} = T_{res}$. Damit ist die Zeitreserve eine Funktion aus der Eigen- und Fremdbeschleunigung (a_E, a_{R0}), der Eigen- und Fremdgeschwindigkeit (v_{E0}, v_{R0}), des Abstandes vom Eigen- zum Rückfahrzeug (Δx_0) und der maximal zur Verfügung stehenden Verzögerung des rückwärtigen Fahrzeugs ($a_{R1/max}$).

$$T_{res} = f(a_E, a_{R0}, v_{E0}, v_{R0}, \Delta x_0, a_{R1/max}) \quad (3.4)$$

Betrachtet man die Gefährlichkeit G (Kritikalität) einer Verkehrssituation des Eigenfahrzeugs zu einem Rückwärtigen so ist diese umgekehrt proportional zu T_{res} .

$$G = \frac{1}{T_{res}} \quad (3.5)$$

Die Zeitreserve kann wie folgt berechnet werden:

1. Grundannahmen

Es wird von einer zweiphasigen Bewegung der beiden beteiligten Fahrzeuge (in diesem Fall von dem Parkstandsuchenden und dem rückwärtigen Fahrzeug) ausgegangen, was Abbildung 3.16 veranschaulicht. Das Eigenfahrzeug E bewegt sich in Phase 0 mit der gleichen Geschwindigkeit wie das rückwärtige Fahrzeug R . Dadurch erhält man die Anfangsbedingung $v_{R0} = v_{E0}$. Die Herleitung erfolgt allgemein, somit werden die Gleichungen erst am Ende durch die Anfangsbedingungen vereinfacht. Anfänglich haben beide Fahrzeuge einen Abstand Δx_0 zur Zeit t_0 die durch v_{e0}, a_e, v_{r0} und a_{r0} beschrieben sind ($a = \text{Beschleunigung}$), $v = \text{Längsgeschwindigkeit}$). Als weitere Anfangsbedingung bleibt die Geschwindigkeit des rückwärtigen Fahrzeugs über die ganze Phase 0 gleich ($a_{r0} = 0$). E behält die Verzögerung a_e (negative Beschleunigung) über beide Phasen bei. Nach einer Reaktionszeit T_{rea} bremst R ab dem Zeitpunkt t_1 ($t_1 = t_0 + T_{rea}$) mit einer angenommenen Verzögerung $a_{R1/max}$ und behält diese dann die Phase 1 bei. Gesucht ist bei gegebenen Δx_0 die maximale Verzögerung a_e des Eigenfahrzeugs E , bei dem eine Kollisionsvermeidung unter den gegebenen Verhältnissen gerade noch möglich ist.

2. Allgemeine Berechnungen für Phase 0

Es gelten folgende Bewegungsgleichungen:

$$s_E(t) = s_{E0} + v_{E0}t + \frac{1}{2}a_{E0}t^2 \quad (3.6)$$

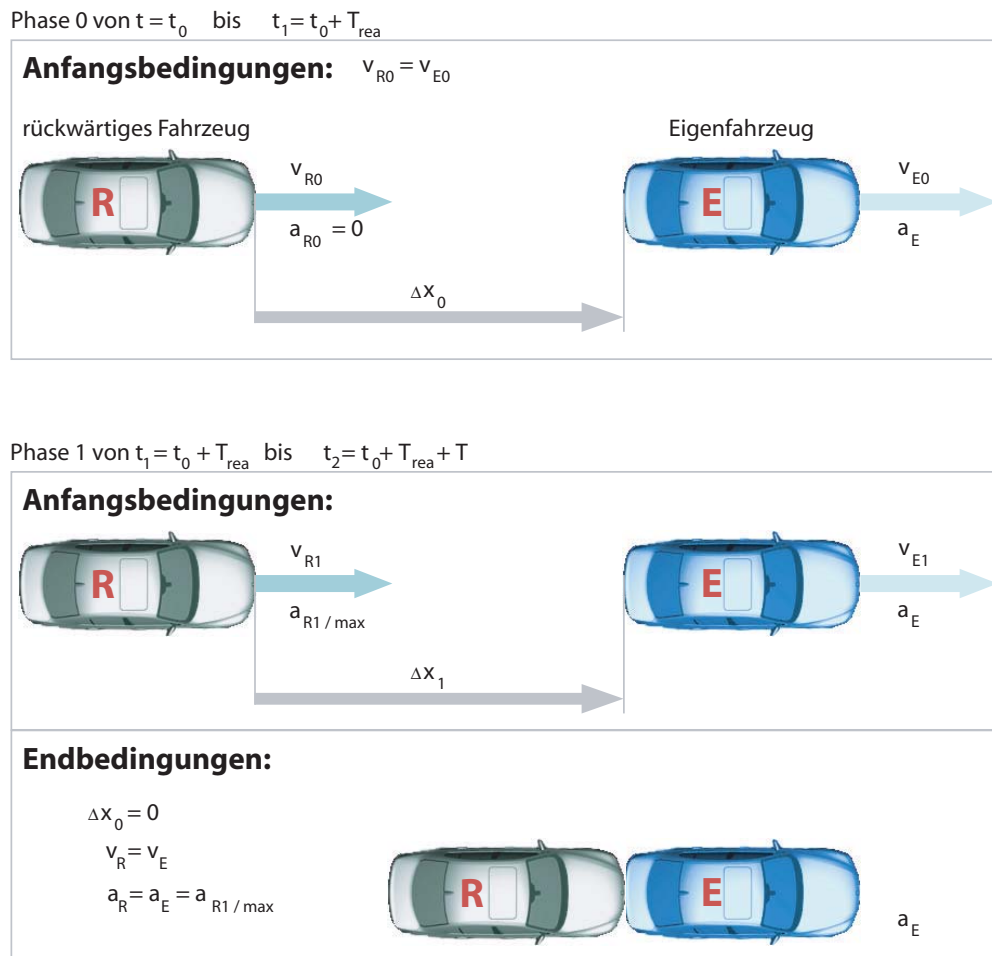


Abbildung 3.16 : Angenommene Bewegungsphasen zur Berechnung der kritischen Verzögerung

$$s_R(t) = s_{R0} + v_{R0}t + \frac{1}{2}a_{R0}t^2 \quad (3.7)$$

mit dem absoluten Weg s der beiden Fahrzeuge oder, ausgedrückt mit dem Abstand Δx , durch Differenzbildung der oberen Bewegungsgleichungen (5.1) und (5.2):

$$\Delta x(t) = \Delta x_0 + \Delta v_0 t + \frac{1}{2}\Delta a_0 t^2 \quad (3.8)$$

mit

$$\Delta x = s_E - s_R \quad (3.9)$$

$$\Delta v = v_E - v_R \quad (3.10)$$

$$\Delta a_0 = a_E - a_{R0} \quad (3.11)$$

Für die Geschwindigkeiten gilt:

$$v_E(t) = v_{E0} + a_E t \quad (3.12)$$

$$v_R(t) = v_{R0} + a_{R0} t \quad (3.13)$$

Oder ausgedrückt mit der Differenzgeschwindigkeit:

$$\Delta v(t) = \Delta v_0 + \Delta a_0 t \quad (3.14)$$

Am Ende der Phase 0 gilt:

$$\Delta x(T_{rea}) = \Delta x_0 + \Delta v_0 T_{rea} + \frac{1}{2} \Delta a_0 T_{rea}^2 \quad (3.15)$$

$$\Delta v(T_{rea}) = \Delta v_0 + \Delta a_0 T_{rea} \quad (3.16)$$

3. Berechnungen für Phase 1:

Die Anfangsbedingungen von Phase 1 sind die Endbedingungen von Phase 0:

$$\Delta x_1 = \Delta x(T_{rea}) \quad (3.17)$$

$$\Delta v_1 = \Delta v(T_{rea}) \quad (3.18)$$

Für die gesamte Phase 1 gelten die Bewegungsgleichungen:

$$\Delta x_t = \Delta x_1 + \Delta v_1 t + \frac{1}{2} \Delta a_1 t^2 \quad (3.19)$$

mit $\Delta a_1 = a_E - a_{R1/max}$

$$\Delta v_t = \Delta v_1 + \Delta a_1 t \quad (3.20)$$

Am Ende der Phase 1 mit der Zeitdauer T muss gelten:

$$\Delta x_2 = \Delta x(T) = \Delta x_1 + \Delta v_1 t + \frac{1}{2} \Delta a_1 t^2 = 0 \quad (3.21)$$

und

$$\Delta v_2 = \Delta v(T) = \Delta v_1 + \Delta a_1 t = 0 \quad (3.22)$$

Bemerkung: für $\Delta a_1 = 0$ müsste Δv nach Gleichung (3.20) schon am Ende der Phase 0 verschwinden. Das würde aber für Phase 0 eine zusätzliche Randbedingung bedeuten, womit der zweiphasige Ansatz physikalisch dann nicht mehr sinnvoll wäre. Daher wird im Folgenden immer $\Delta a_1 \neq 0$ angenommen.

Damit ergibt sich:

$$T = \frac{\Delta v_1}{-\Delta a_1} = \frac{\Delta v_0 + \Delta a_0 T_{rea}}{-\Delta a_1} \quad (3.23)$$

Durch einsetzen von (3.21), (3.15), (3.16) in (3.19) ergibt sich:

$$\Delta x_0 = -\Delta v_0 T_{rea} - \frac{1}{2} \Delta a_0 T_{rea}^2 + \frac{(\Delta v_0 + \Delta a_0 T_{rea})^2}{2\Delta a_1} \quad (3.24)$$

4. Allgemeine Anfangsbedingungen berücksichtigen:

Da beide Fahrzeuge am Anfang zum Zeitpunkt t_0 die gleiche Geschwindigkeit $v_{R0} = v_{E0}$ aufweisen, resultiert $\Delta v_0 = 0$. Ebenfalls wurde für das rückwärtige Fahrzeug während der Phase 0 eine konstante Geschwindigkeit ($a_{R0} = 0$) definiert. Somit folgt $\Delta a_0 = a_E$. Durch Einsetzen der Werte in Formel (3.22) ergibt sich:

$$\Delta x_0 = -\frac{1}{2} \Delta a_E T_{rea}^2 + \frac{(a_E T_{rea})^2}{2(a_E - a_{R1/max})} \quad (3.25)$$

5. Berechnung der kritischen Verzögerung des Eigenfahrzeuges

Durch Umformen der Gleichung (3.23) ergibt sich die Formel für die kritische Verzögerung von E:

$$a_E = \frac{2 a_{R1/max} \Delta x_0}{2 \Delta x_0 - a_{R1/max} T_{rea}^2} \quad (3.26)$$

Dabei ist a_{R1max} die Bremsbeschleunigung des rückwärtigen Fahrzeuges, die für kritische Situationen als maximale Verzögerung nach Kopf [42] von $a_{R1max} = 7 \frac{m}{s^2}$ festgelegt werden kann. Diese Verzögerung kann als realistisch für durchschnittliche Autofahrer bei heutigen Fahrzeugen und trockener Fahrbahn angenommen werden. T_{rea} stellt die Reaktionszeit (bis R selbst eine Verzögerung einleitet) des rückwärtigen Fahrers dar. Δx_0 beschreibt den Anfangsabstand zwischen den beiden Fahrzeugen.

Die Herleitung der analytischen Formeln basiert auf der Berechnung der Bremszeitreserve (T_{res}) nach Kopf [42].

Nach Kopf [42] ist die Abschätzung der Gefährlichkeit einer Verkehrssituation die Grundlage für eine Kollisionswarnung. Demnach ist die Gefährlichkeit umso größer, je kleiner T_{res} berechnet wird. Oder anders ausgedrückt, wenn T_{res} Null wird, gibt es für den Fahrer keine Möglichkeit mehr bei gegebenen Situationsaspekt rechtzeitig zu bremsen, um einen Unfall vermeiden zu können. Folgendes

Beispiel soll zeigen, ab welchen Verzögerungen bei einer typischen Alltagssituation bereits Vor- oder Akutwarnungen ausgegeben werden. Ein solch zweistufiges Kollisionswarnkonzept ist nach Doisl [14] empfehlenswert.

6. Beispielrechnung:

gegeben:

- $\Delta x_0 = 15m$
- $a_{R1/max} = -7,0 \frac{m}{s^2}$
- $T_{rea} = 1,0s$

(Dabei wurde die Warnschwelle für eine Akutwarnung $T_{res_{akut}} < 1,6s$ und für eine Vorwarnung $T_{res_{vor}} < 4,0s$ nach Doisl [14] ausgewählt.)

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich eine Akutwarnung bei einer Verzögerung des Eigenfahrzeuges von $a_E = -4,38m/s^2$ und eine Vorwarnung bei $a_E = -1,48m/s^2$. Bei den in dieser Untersuchung durchschnittlich aufgetretenen Verzögerungen des Parkstandsuchenden würde der rückwärtige Verkehr in den meisten Fällen zumindest eine Vorwarnung erhalten.

Der Vollständigkeit halber sei außer der Bremszeitreserve noch die Ausweichzeitreserve erwähnt. Bei dieser Art der Zeitreservenberechnung geht man nicht von einer Vollbremsung im Gefahrenfall aus, um die gefährliche Situation zu entschärfen, sondern von einer vordefinierten Lenkbewegung. Diese Zeitreservenart wurde jedoch in dieser Arbeit deshalb nicht berücksichtigt, da vom gefährlichsten Fall ausgegangen wird: Der Parkstandsuchende bremst, während auf der linken Fahrspur andere Fahrzeuge entgegenkommen und rechter Hand keine Ausweichmöglichkeit besteht. Dadurch kann der rückwärtige Verkehr dem Parkstandsuchenden zunächst nicht ausweichen, weshalb die Berechnung der Ausweichzeitreserve nicht sinnvoll ist.

Bewertung der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern

Ein wichtiger Punkt für die Minimierung von kritischen Situationen ist die Richtungsanzeige durch den Fahrer. Somit muss jeder Fahrzeugführer nach StVO durch Blinken seiner Umwelt signalisieren, wohin er fahren will. Damit können andere Verkehrsteilnehmer zumindest ungefähr abschätzen, wohin der Andere will. Dies spielt auch bei der Parkstandsuche eine wichtige Rolle. Bei zeitigem Blinken des Parkstandsuchenden kann sich der rückwärtige Verkehr natürlich rechtzeitig darauf einstellen, dass das Vorderfahrzeug in Kürze stark abbremst, um anzuhalten und einzuparken. Die Analyse der Fahrzeugdaten aus dem Realversuch zeigt jedoch, dass in 95% der Situationen der Fahrzeugführer entweder gar nicht blinkt, oder erst nachdem dieser begonnen hat zu bremsen. Dadurch können natürlich kritische Situationen entstehen, da der rückwärtige Verkehr von dem Bremsvorgang des vorderen Fahrzeugs vollkommen überrascht wird. Außerdem zeigt sich, dass der rückwärtige Verkehr dadurch so dicht auf den Parkstandsuchenden auffährt, dass dieser nicht rückwärts einparken kann, bis das hintere Fahrzeug überholt hat. Dies bestätigt auch Riel [69].

| | <i>T-Wert</i> | <i>P-Wert</i> |
|--|---------------|---------------|
| Geistige Anforderung | 4,096 | 0,48 |
| Körperliche Anforderung | 1,374 | 0,247 |
| Zeitliche Anforderung | 8,381 | 0,006 |
| Qualitätsdruck bei der Aufgabenerfüllung | 1,386 | 0,245 |
| Anstrengung | 0,224 | 0,638 |
| Frustration | 1,881 | 0,177 |
| Gesamtbeanspruchung | 7,124 | 0,010 |

Tabelle 3.6 : T-Test für den Vergleich der Beanspruchung zwischen „freie Fahrt“ und „Parkstandsuche“

Bewertung der Beanspruchung

Die ergonomische Beanspruchung ergibt sich aus den Faktoren Belastung durch die Aufgabe, Umweltfaktoren und durch das Mensch-Maschine-System. Außerdem spielen noch individuelle Fähigkeiten und Eigenschaften des Menschen eine Rolle. Mithilfe des Beanspruchungstests NASA-TLX wurde die Beanspruchung des Fahrers während der Parkstandsuche und der freien Fahrt ermittelt. Durch Vergleich der 6 Beanspruchungsdimensionen (geistige, körperliche und zeitliche Anforderung, Leistungsdruck bei der Aufgabenerfüllung, Anstrengung und Frustration) ergibt sich bei der Parkstandsuche, dass die geistige und zeitliche Anforderung signifikant höher ist als bei der freien Fahrt. Ebenso ist die Gesamtbeanspruchung bei der Parkstandsuche um 33% höher (signifikant) als bei der freien Fahrt (vgl. Tabelle 3.2.3). Somit stellt die Parkstandsuche einen äußerst beanspruchenden Teil der primären Fahraufgabe dar. Damit wird Hypothese 3) bestätigt.

Auswertung weiterer subjektiver Daten

Die nun folgenden Ergebnisse stellen weitere relevante Erkenntnisse aus dem Fragebogen dar.

Der rückwärtige Verkehr spielt demnach für die Probanden eine signifikante Rolle. So stimmten 75% der 26 Probanden zu, dass sich durch die Parkstandsuchaufgabe eine zusätzliche Belastung zur normalen Fahraufgabe ergibt, vor allem wenn rückwärtiger Verkehr hinzukommt. Außerdem wurden ca. 8% der Parklücken aufgrund der drängelnden nachfolgenden PKW ausgelassen. Videoaufnahmen fundieren diese Aussage, womit Hypothese 3) bestätigt werden konnte.

Eine weitere Schwierigkeit für die Probanden ergab sich bei der Abschätzung der Parkstandgröße beim Vorbeifahren an potenziellen Parklücken. Beim Realversuch räumten 12% der Probanden Probleme bei der Abschätzung von Parkständen ein. Als Hauptursache wurden die schwierig abzuschätzenden Maße des Versuchsträgers genannt, woraus die Bestätigung der Hypothese 4) folgt.

3.2.4 Hypothesenverifizierung anhand der Empirie

Die Hypothese, dass die Blickabwendung vom Straßenfluchtpunkt beim Parkstandsuchen höher ist als beim normalen Fahren, konnte bestätigt werden. Somit ist bei der Parkstandsuche die Blickabwendung vom Straßenfluchtpunkt signifikant höher als bei der freien Fahrt. Ebenfalls sind deutliche Unterschiede beim Fahrverhalten erkennbar. Bei der Aussage, dass diese Blickabwendungen die Sicherheit der Fahrzeugführung gefährdet, müssen mehrere Dinge beachtet werden: Durch die Zusatzaufgabe der Parkstandsuche verringert der Parkstandsuchende die Geschwindigkeit um durchschnittlich ca. 15 km/h. Das könnte auf das Kompensationsverhalten durch die erhöhte Beanspruchung zurückgeführt werden, aber auch auf die Vorbereitung der folgenden Abbremsung. Zur Risikoabschätzung kann beispielsweise die Daimler-Benz Studie herangezogen werden. Dabei ist die Anzahl der kritisch aufgetretenen Situationen gering, die sich durch plötzliche Brems-Lenk-Manöver aufgrund zu spät erkannter Parklücken begründen lassen. Insgesamt konnte jedoch festgestellt werden, dass durch die Parkstandsuche kritische Verkehrssituationen entstehen können.

Subjektiv betrachtet ist das Parkstandsuchen sehr viel beanspruchender, als die freie Fahrt in der Stadt. Der NASA TLX-Test wurde als Verfahren zur Ermittlung der Beanspruchung bei der freien Fahrt und der Parkstandsuche herangezogen (Theorie vgl. Kapitel 3.2.2, Ergebnisse vgl. Kapitel 3.2.3). Die Parkstandsuche ist somit signifikant um ca. 33% beanspruchender für die Versuchsteilnehmer als die freie Fahrt.

Außerdem lässt sich signifikant bestätigen, dass sich die Fahrer vom rückwärtigen Verkehr gestresst fühlen. Mittels eines Fragebogens konnten Versuchspersonen beschreiben, welche Beanspruchungsfaktoren sie bei der Parkstandsuche zusätzlich empfanden. Das Ergebnis deckt sich mit einer ADAC-Studie [2].

Eine weitere Hypothese, die sich ebenfalls bestätigen ließ, ist die Schwierigkeit der Abschätzung von Parklückengrößen bezogen auf das eigene Fahrzeug (siehe Kapitel 3.2.3). Wenn ein Versuchsteilnehmer eine Parklücke ausgelassen hat, wurde dieser nach den Gründen befragt. Als Hauptursache wurden Probleme bei der Abschätzung der Fahrzeugmaße und der drängelnde rückwärtige Verkehr genannt.

Ein weiteres Problem beim Parkstandsuchen ergibt sich durch die Behinderung des rückwärtigen Verkehrs, was in Kapitel 3.2.3 signifikant bestätigt werden konnte. Durch Analyse der Videodaten hätten durch Betätigung des Blinkers eventuell kritische Situationen vermieden werden können.

Zusammengefasst ergeben sich somit folgende Hauptprobleme bei der Parkstandsuche:

- lange Blickabwendung vom Straßenfluchtpunkt
- gefährliche Lenkmanöver
- gefährliche Bremsmanöver
- nicht rechtzeitiges Blinken
- hohes Beanspruchungspotenzial

3.3 Ergonomische Ist-Analyse des Parkvorgangs

In diesem Abschnitt wird der Einparkvorgang ohne Assistenzsysteme näher untersucht. Außerdem werden die Auswirkungen der Designveränderungen auf die Akzeptanz und die Einparkleistung im Vergleich von einem Fahrzeug aus den 80iger Jahren mit einem Heutigen aufgezeigt. Daraus soll ein weiterer Motivationsgrund für diese Arbeit erschlossen werden.

Um einen Einblick in die vom Fahrer durchzuführenden Aktionen beim links rückwärts Einparken zu erhalten, wird ein einfaches mathematisches Modell nach Herrmann [32] herangezogen. Der rückwärtige Parallelparkvorgang (siehe Abb. 3.17) gliedert sich demnach in folgende Einzelschritte:

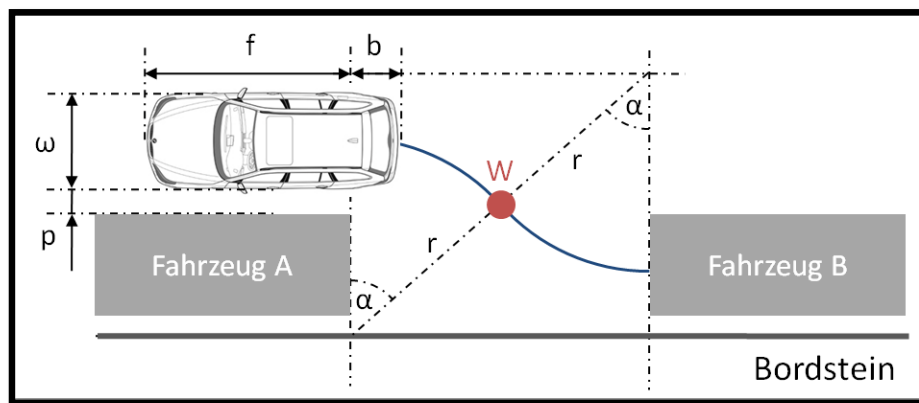


Abbildung 3.17 : Links rückwärtiger Parallelparkvorgang

1. Ausrichtung des Fahrzeugs neben dem vorderen Fahrzeug A im parallelen Abstand p .
2. Gerades Rückwärtsfahren, bis sich der hintere Achsmittelpunkt des eigenen Fahrzeugs auf gleicher Höhe mit dem Ende des vorderen Fahrzeugs A befindet.
3. Lenkrad bis zum Anschlag drehen und somit mit dem minimalen Lenkradius bis zum Wendepunkt W fahren. Hierbei wird ein Kreisbogen mit dem Winkel α abgefahren.
4. Nach Erreichen des Wendepunktes W kompletter entgegengesetzter Einschlag der Lenkung und Zurücklegen des gleichen entgegengesetzten Kreisbogens mit dem Winkel α .
5. Geringe Korrektur nach vorne um die optimale Parkendposition mittig zwischen dem vorderen Fahrzeugen A und dem hinteren Fahrzeug B einzunehmen.

Herrmann gibt die mathematische Formel für das optimale Parken für den seitlichen Abstand $p = 0$ zum Fahrzeug, das die Parklücke nach vorne begrenzt, wie folgt an:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{2r-\omega}{2r}\right) \quad (3.27)$$

$$g \geq \sqrt{2r\omega - f^2} + b \quad (3.28)$$

mit

- p seitlicher Abstand des eigenen Fahrzeugs zum vorderen Fahrzeug A
- α Winkel des zurückzulegenden Kreisbogens
- R Radius des minimalen Wendekreises des eigenen Fahrzeugs
- ω Breite des eigenen Fahrzeugs
- f Abstand der Hinterachse zur Fahrzeugfront
- b Abstand der Hinterachse zur Fahrzeugende
- g Größe der minimal benötigten Parklücke
- W Wendepunkt
- $r = \sqrt{R^2 - f^2} - \frac{\omega}{2}$

Ein seitlicher Abstand des eigenen Fahrzeugs zum vorderen Fahrzeug A mit $p = 0$ ist aber in der Realität nicht realisierbar. So muss die Formel mit einem realen Wert $p \neq 0$ angepasst werden. Herrmann gibt des Weiteren folgende mathematische Beziehungen an:

$$p = 2r(1 - \cos \alpha) - \omega \quad (3.29)$$

$$g \geq 2r \cdot \sin \alpha + b \quad (3.30)$$

Löst man Formel (3.29) nach α auf, und setzt diese in Gleichung (3.30) ein, erhält man die mathematischen Formeln des Parkens unter Berücksichtigung des seitlichen Abstands p :

$$\alpha = \arccos\left(1 - \left(\frac{p+\omega}{2r}\right)\right) \quad (3.31)$$

$$g \geq 2r \cdot \sin\left(\arccos\left(1 - \left(\frac{p+\omega}{2r}\right)\right)\right) + b \quad (3.32)$$

Deutlich wird hierbei, welche Größen der Fahrer beim Einparken selbstständig abschätzen muss und von welchen die Einparkkurve abhängig ist. Ein Fahrer müsste

sein Fahrzeug also immer exakt gleich neben dem Anderen positionieren, um ähnliche Lenkbewegungen durchführen zu können, was natürlich den Einparkvorgang erheblich erleichtern müsste und damit berechenbarer für den Fahrer wäre. Außerdem muss der Wendepunkt W exakt eingehalten werden, weil ansonsten das Fahrzeug anschließend viel zu weit weg oder zu nah am Bordstein steht. Diese wichtigen Größen können allerdings vom Fahrer nur sehr schwer eingeschätzt werden und erfordern viel Übung.

Das von Herrmann [32] verwendete Modell basiert nur auf dem minimalen Wendekreis eines Fahrzeugs, also auf den maximalen Lenkeinschlag beim Parkvorgang. Dadurch kann es vorkommen, dass die Fahrzeugfront beim rückwärts Einparken auf die Gegenfahrbahn gerät, weil zu Beginn des rückwärtigen Parkens gleich der maximale Lenkeinschlag eingestellt wird, um den ersten Kreisbogen abzufahren. Ein besseres Modell, das aber eine komplizierte Einparktrajektorie berechnet, wird in Kapitel 4.3 ausführlich beschrieben und für ein Assistenzsystem verwendet. Für einen Fahrzeugführer ist das einfache Modell jedoch schon als beanspruchend genug einzustufen. Daraus lassen sich bereits wie eben analysiert grundlegende Probleme beim Parken bestimmen. Diese Probleme werden zusätzlich durch eine bei heutigen Fahrzeugen eingeschränkte Rundumsicht (vgl. ADAC-Studie [1]) verstärkt, womit sich nachstehender Teilabschnitt genauer beschäftigt.

3.3.1 Veränderung Fahrzeugdesign und Auswirkungen auf Sichtkegel



Abbildung 3.18 : Maßstäbe für Objektivierung Übersichtlichkeit

In diesem Abschnitt wird nun aufgezeigt, wie stark sich die Formveränderungen von Fahrzeugen in den letzten Jahren auf die Übersichtlichkeit ausgewirkt haben. Allerdings muss zuerst eine Messmethode entwickelt werden, um eine objektive Aussage über die Veränderungen treffen zu können. Zuerst beschränken wir uns auf die Übersichtlichkeit beim Rückwärtsfahren, während der Blick durch die Heckscheibe gerichtet ist. Im Prinzip kann folgende Methode genauso für die Bewertung der Übersichtlichkeit nach vorne verwendet werden. Die wichtigste Information beim Rückwärts-parken ist die Heckkante des eigenen Fahrzeugs. Wenn diese Kante von der Fahrerposition aus gut zu sehen ist, kann der Abstand zu einem eventuellen Hindernis bzw. Objekt abgeschätzt werden. Natürlich ist die Abschätzung des Abstandes vom Eigen-

| <i>Modellreihe Fahrzeuge Mittelklasse</i> | φ [°] |
|---|---------------|
| 5er BMW (E28) Bj. 1981-1988 | 5,20 |
| 5er BMW (E34) Bj. 1988-1996 | 2,40 |
| 5er BMW (E39) Bj. 1996-2002 | 0,20 |
| 5er BMW (E60) Bj. ab 2003 | -0,02 |
| Mercedes E (W 123) Bj. 1976-1985 | 2,00 |
| Mercedes E (W 124) Bj. 1985-1995 | 1,80 |
| Mercedes E (W 210) Bj. 1995-2002 | 1,00 |
| Mercedes E (W 211) Bj. ab 2002 | < -0,00 |
| Audi 100 C2 (Typ 44) Bj. 1982-1994 | 2,40 |
| Audi A6 C4 (Typ 4A) Bj. 1994-1997 | 1,50 |
| Audi A6 C5 (Typ 4B) Bj. 1997-2004 | 0,00 |
| Audi A6 C6 (Typ 4F) Bj. ab 2004 | -0,60 |

Tabelle 3.7 : Veränderung des Sichtwinkels auf Heckklappe verschiedener Automobile

fahrzeug zum Hindernis ebenfalls abhängig von der Form des Objekts. Angenommen sei zum Beispiel ein anderes Fahrzeug, bei dem die Motorhaube sehr weit nach unten gezogen ist (z.B. ein Sportwagen). Ab einem bestimmten Abstand kann der Fahrer beim rückwärtigen Parken nur noch den hinteren Teil der Motorhaube des Sportwagens sehen, weil die Frontschürze komplett aus der Sicht verschwindet. Das lässt eine Abstandseinschätzung von Heckklappenkante zur Sportwagenfrontschürze kaum zu. Um jedoch trotzdem die Formveränderungen der letzten Fahrzeuggenerationen vergleichen zu können, wird an dieser Stelle das Hindernis vernachlässigt und nur das Eigenfahrzeug berücksichtigt. Wie eben erwähnt, ist es für eine Abstandseinschätzung sehr wichtig, die eigene Heckklappenkante zu sehen. Deshalb wird als objektiver Maßstab der Winkel zwischen Augenposition/Heckklappenkante und Augenposition/untere Heckscheibenkante herangezogen (siehe Abbildung 3.18). Dieser Winkel gibt somit Auskunft darüber, ob die Heckklappenkante noch gesehen werden kann ($\varphi > 0^\circ$) oder nicht ($\varphi \leq 0^\circ$). Da φ von der Kopfposition abhängig ist, wurde diese für die Messung des Winkels bei allen Fahrzeugmodellen gleich ausgelegt. In Fahrertrainings von z.B. ADAC oder BMW wird die Sitzposition des Fahrers wie folgt empfohlen: Der Fahrzeugführer sollte so hoch wie möglich im Auto sitzen, jedoch sollte der Kopf maximal eine Faust breit unter dem Dach des Fahrzeugs enden. Außerdem wird empfohlen, dass der Fahrer aufrecht sitzt (Rücken gerade) und die Hände auf 9 und 15 Uhr am Lenkrad liegen. Die Arme bilden dabei einen rechten Winkel. Ausgehend von dieser Sitzposition wurden für einen bestimmten Fahrer die Sichtwinkel φ fahrzeugabhängig berechnet und können in Tabelle 3.7 für eine bestimmte Fahrzeugklasse unterschiedlicher Automobilhersteller verglichen werden. In Tabelle 3.7 zeigt sich in den letzten Jahren ein deutlicher Rückgang des Sichtwinkels φ bis in den negativen Bereich. Somit kann bei allen neueren in der Tabelle aufgeführten Fahrzeugen die Heckklappenkante nicht mehr eingesehen werden. Deshalb sind viele moderne

Fahrzeuge so unübersichtlich, weil bei vielen der Sichtwinkel $\phi \leq 0$ ist. Ein anderes Maß zur Objektivierung der Übersichtlichkeit dient als weiterer Bewertungsmaßstab. Wie in der ADAC-Studie [1] untersucht, spielen die Fensterscheibenflächen eine große Rolle bei der Übersichtlichkeit eines Fahrzeugs. Deshalb wurde wie in Abbildung 3.19 dargestellt, die sichtbare Heckscheibenfläche von einigen mittleren Oberklassemodellen deutscher Automobilhersteller vermessen. Das Ergebnis zeigt Abbildung 3.19. Die Heckscheibenfläche wurde um bis zu 35% reduziert, was schließlich Auswirkungen auf die Rundumsicht hat. Dieser Entwicklungstrend zeigt sich jedoch nicht nur bei Deutschen, sondern bei fast allen Herstellern weltweit zu erkennen. Somit stellt sich die Frage, warum Automobilhersteller die Fahrzeugformen so ange-

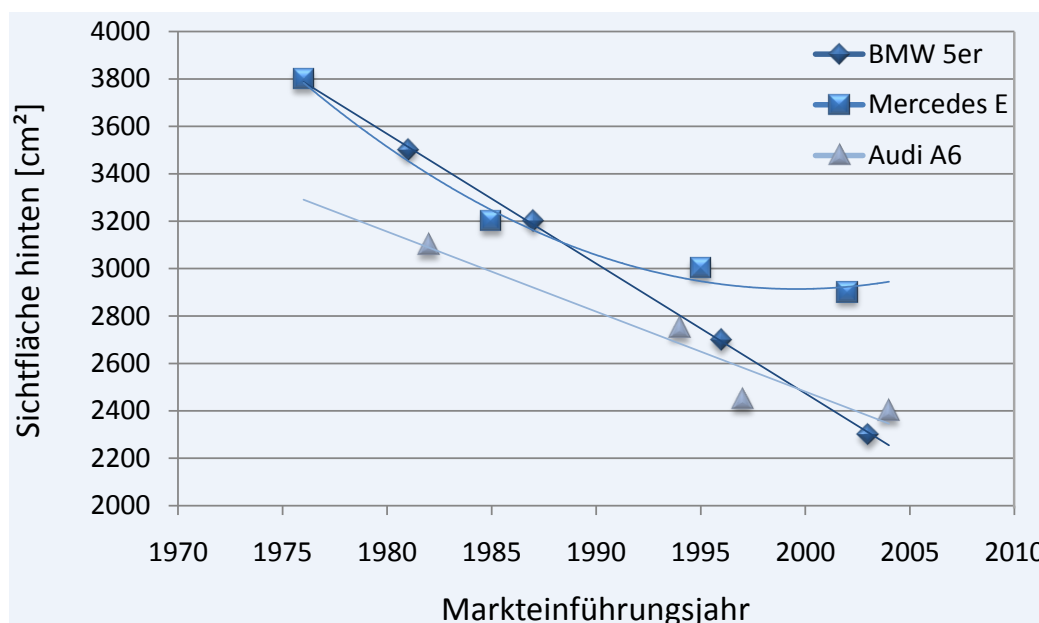


Abbildung 3.19 : Vergleich sichtbare Fläche durch Heckscheibe

passt haben, dass die Übersichtlichkeit beeinträchtigt wird. Dies hat vor allem zwei Gründe. Erstens hat eine Verbreiterung der A-, B-, und C-Säulen den Vorteil einer höheren Steifigkeit. Dadurch sind die Insassen bei einem Unfall, vor allem bei einem Überschlag, viel besser geschützt, wodurch die passive Sicherheit erhöht wird. Zweitens bewirkt die Fließheckanordnung einen besseren Strömungswiderstandskoeffizienten (c_w -Wert), was sich durch einen geringeren Energieverbrauch bezahlt macht. Abschließend ist jedoch anzumerken, dass Sicherheits- und Energiesparaspekte auf Kosten der Übersichtlichkeit gehen. In dieser Arbeit soll diese Entwicklung jedoch nicht weiter bewertet werden. Zumindest spricht dieser Trend derzeit für Parkassistenzsysteme, solange zumindest keine transparenten Säulen erhältlich sind. Im anschließenden Versuch wurde deshalb ein BMW E30 (BJ. 1982) und ein BMW E90 (BJ. 2005) verwendet. Hierbei ist die Heckscheibenfläche vom E90 um 48% kleiner als beim E30.

3.3.2 Versuchshypothesen

Bei der Formulierung der folgenden Hypothesen wurden insbesondere die Erkenntnisse und Ergebnisse der Intranetumfrage, sowie der Analyse der Übersichtlichkeit unterschiedlicher Fahrzeuggenerationen herangezogen. Daraus wurden folgende fünf Hypothesen formuliert und mithilfe eines Realversuchs verifiziert:

1. Der E30 ist übersichtlicher als der E90, was sich auf die Einparkleistung und Akzeptanz auswirkt.
2. Es gibt beim rückwärtigen Einparken in Anbetracht der Übersichtlichkeit unterschiedliche Blickstrategien beim E30 und E90.
3. Die Beanspruchung beim rückwärtigen Parkvorgang ist beim E30 geringer als beim E90.
4. Eine vordefinierte und optimierte Parkausgangsposition verbessert die Einparkleistung.
5. Geübte Fahrer haben weniger Probleme mit dem Einparken als Ungeübte.

3.3.3 Versuchskonzeption und -durchführung

An dieser Untersuchung nahmen alle Probanden des Versuchs zur Parkstandsuche teil. Für die Blickerfassung wurde ebenfalls Dikablis verwendet. Durch die Wireless Local Area Network (WLAN) Funktionalität des Systems konnten die Aufzeichnungscomputer im 5er Kombi installiert bleiben, während der Proband lediglich die Versuchsfahrzeuge wechseln musste. Weitere Umbauten waren nicht erforderlich. Die Parkuntersuchung fand immer im Anschluss an die Parkstandsuche statt.

Als Parkstand wurde eine Straße mit mittlerem Verkehrsaufkommen gewählt. Die Fahrbahn war jedoch breit genug, damit hinter dem Probanden heranfahrende Fahrzeuge überholen konnten. Das mittlere Verkehrsaufkommen versetzte den Fahrer in eine reale Verkehrssituation. Um den Übersichtlichkeitsunterschied von Fahrzeugen früherer und heutiger Generationen zu vergleichen, wurden zwei Fahrzeuge derselben Fahrzeugserie, jedoch unterschiedlichen Baujahres, verwendet (BMW E30 und BMW E90). Damit das Einparkverhalten zwischen den beiden Fahrzeugen verglichen werden konnte, wurde die Parklückengröße jeweils angepasst, da der BMW E90 länger ist als der BMW E30. Somit wurde die Parklücke beim BMW E90 Versuch genau um die Längendifferenz von BMW E90 zu BMW E30 vergrößert. Der Proband wurde angehalten, die StVO zu beachten.

Wie aus Abbildung 3.20 ersichtlich, wurde das Fahrzeug mit den Datenaufzeichnungsgeräten immer als hinteres Automobil der Parklücke abgestellt. Je nach Versuchsablauf wurde dann der BMW E90 als vorderes Fahrzeug des Parkstandes verwendet und der BMW E30 als parkendes Auto bzw. umgekehrt.

Jeder Proband musste mit jedem Fahrzeug (BMW E30/E90) viermal einparken (zweimal ohne Ausrichtung und zweimal mit), damit daraus ein Mittelwert der erfassten Größen gebildet werden konnte. Es kann nämlich passieren, dass der erste gewertete

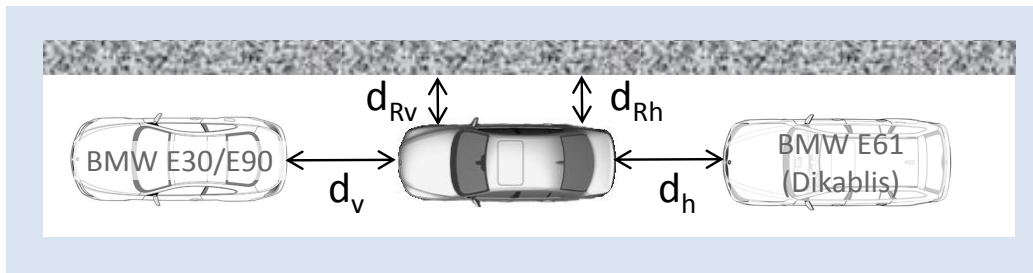


Abbildung 3.20 : Anordnung Versuchsfahrzeuge und gemessene Größen

Parkvorgang zu gut bzw. schlecht ausfällt. Durch die Mittelwertbildung erreicht man jedoch ein gutes Durchschnittsergebnis. Jeder Versuchsteilnehmer durfte sich natürlich zuerst an das jeweilige Fahrzeug gewöhnen, indem er ein paar Einparkvorgänge vor den Messfahrten durchführte.

Die Aufgabe der Probanden bestand jeweils darin, erst einmal weit vor dem Parkstand anzufahren (siehe Abbildung 3.21), um sich dann neben dem Fahrzeug, das

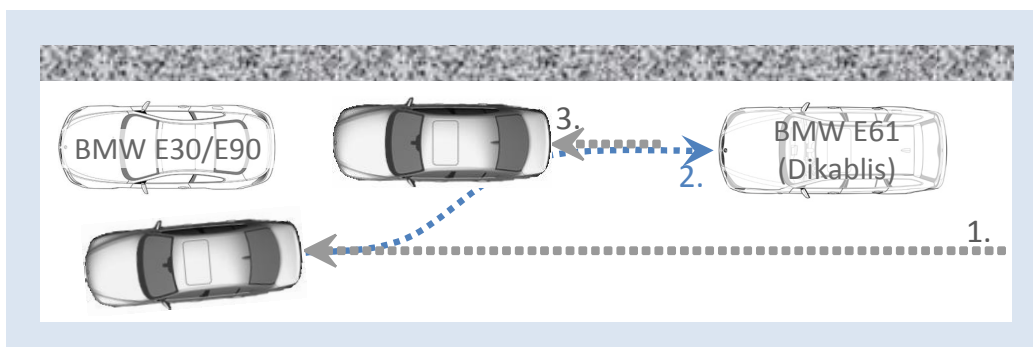


Abbildung 3.21 : Einparkvorgang

die Parklücke nach vorne begrenzt, zum Parken bereit zu machen und in die Lücke einzuparken. Das Einparken durfte dabei nur mit zwei Zügen durchgeführt werden, also einmal nach rückwärts stoßen und anschließend einmal nach vorne ziehen. Das Einparken durfte dabei in nur zwei Zügen erfolgen, also einmal nach rückwärts stoßen und anschließend einmal nach vorne ziehen. Diese Einschränkung wurde deshalb getroffen, damit der Einparkvorgang besser vergleichbar ist. So hatte jeder Versuchsteilnehmer ähnliche Voraussetzungen.

Allerdings erfolgte noch eine zweite Untersuchungsvariante. Hierbei wies der Versuchsleiter den Fahrer neben das Fahrzeug, das die Parklücke nach vorne begrenzt, ein. Damit wurde eine vordefinierte Parkausgangsposition eingenommen. Der seitliche Abstand zum vorderen Fahrzeug war auf $0,5m$ festgelegt. Dieser Abstand ergibt sich aufgrund der Breite der beiden Außenspiegel und eines kleinen Sicherheitsabstandes zwischen den Spiegeln. Die Außenspiegel sollten beim Positionieren des einparkenden Fahrzeugs nicht beschädigt werden. Die rückwärtigen Stoßfänger der beiden Autos waren außerdem auf gleiche Höhe auszurichten. Mithilfe dieser Kriterien wur-

de so jeder Proband in der zweiten Versuchsphase eingewiesen. Dies hat den Vorteil, dass man bei jedem Parkvorgang fast immer auf gleiche Art und Weise lenken kann. Anders hingegen, wenn der Fahrer selbstständig seine Parkausgangsposition wählt. Diese ist, je nachdem wie schnell und aufmerksam ein Fahrer die Ausgangsposition neben dem Fahrzeug, das die Parklücke nach vorne begrenzt, einnimmt, sehr unterschiedlich. Deshalb muss der Fahrer jedes Mal anders einlenken. Dies kann, so die aufgestellte Hypothese, zu einer schlechteren Einparkleistung führen.

Bei der Untersuchung wurden folgende Messwerte erfasst: Einparkzeit, Abstand von hinterem (d_{Rh}) und vorderem Reifen (d_{Rv}) zum Bordstein und zuletzt der Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen ($d_v; d_h$), wie in Abbildung 3.20 dargestellt. Zusätzlich wurden noch Blickdaten aufgezeichnet. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin,

- so schnell wie möglich einzuparken,
- so nah wie möglich am Bordstein zu parken,
- das Fahrzeug mittig innerhalb der Parklücke auszurichten
- und dabei jeglichen Kontakt mit anderen Fahrzeugen und dem Bordstein zu vermeiden.

Die Zeitmessung wurde gestartet, nachdem der Proband rückwärts losgefahren ist, um in den Parkstand einzuparken. Die Zeitmessung wurde angehalten, wenn der Fahrer nach dem zweiten Einparkzug den Automatikwahlhebel auf die Parkstellung geschoben hat. Jedem Versuchsteilnehmer wurde dies als Aufgabe gestellt. Die Aufgabenstellung beinhaltete somit alle Werte für die Qualitäts- und Leistungsbestimmung des Einparkens. Der Kontakt mit anderen Autos oder dem Bordstein wurde als Fehler gewertet und floss in die Beurteilung des Parkens mit ein. Der für diesen Versuch vom Kreisverwaltungsreferat extra reservierte Parkstand befindet sich auf der rechten Straßenseite auf Höhe Hausnummer 150 der Riesenfeldstraße in München, stadtauswärts. Aufgrund des großen Entwicklungsunterschiedes zwischen den beiden Fahrzeugen BMW E30/E90 wurde darauf geachtet, dass beide ähnliche technische Voraussetzungen erfüllten. Beide Automobile waren deshalb mit einer Servolenkung und Automatikgetriebe ausgestattet. Die Versuchsdauer betrug in etwa eine Stunde.

3.3.4 Untersuchungsergebnisse

Auf das Personenkollektiv soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da die gleichen Probanden wie in der Untersuchung zur Parkstandsuche teilgenommen haben (siehe 3.2.2). Während des Parkvorgangs wurde das Blickverhalten des Fahrers aufgezeichnet und alle relevanten Größen für die Einparkleistungsbestimmung gemessen. Außerdem sollte der Beanspruchungstest einen Unterschied zwischen den Fahrzeugvarianten aufzeigen.

Objektive Ergebnisse - Blickverhalten

Um das Blickverhalten zu analysieren, wurden wie bei der Parkstandsuche für das Einparken wichtige Fixationsbereiche definiert. Diese Bereiche ergaben sich aus der Interpretation der aufgezeichneten Videoströme und Beobachtung der Fixationsorte der Fahrer. Demnach sind folgende Area of Interests (AOI) für den Fahrzeugführer beim Parken relevant (siehe Abbildung 3.23): Der linke Außenspiegel (AOI 1 in Abb.3.23)

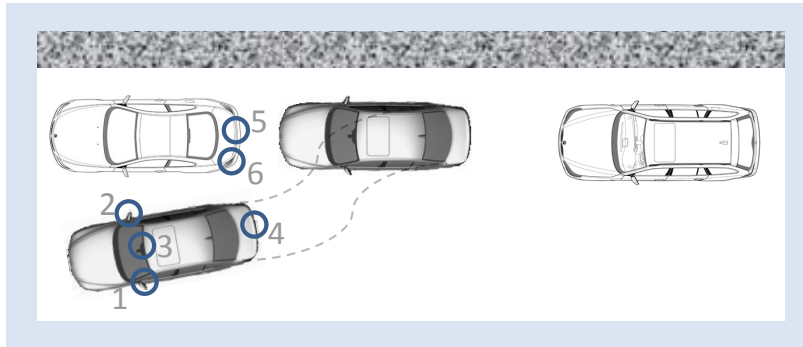


Abbildung 3.22 : Relevante AOIs beim rückwärtigen Parkvorgang

und Innenspiegel (AOI 3) wird hauptsächlich verwendet, um eventuellen Rückverkehr besser beobachten zu können. Außerdem dient der Innenspiegel zusätzlich zur Abstandseinschätzung zum Fahrzeug, das den hinteren Teil der Parklücke begrenzt. Der rechte Außenspiegel (AOI 2) wird zur Beobachtung des seitlichen Abstands zum vorderen Fahrzeug verwendet. Die Heckklappenkante des Eigenfahrzeugs (AOI 4) zeigt die Begrenzung des eigenen Autos und wird zur Einschätzung des hinteren Abstands (d_h) genutzt. Die Heckklappenkante des vorne parkenden Fahrzeugs dient zur Einschätzung des noch zur Verfügung stehenden vorderen Abstands (d_v), nachdem der Fahrer schon fast in der Parklücke steht. Die linke Heckklappenkante des vorne parkenden Fahrzeuges (AOI 6) ist für die Abstandseinschätzung sehr wichtig, damit der Fahrer beim Gegenlenken in die Parklücke noch am vorderen Fahrzeug vorbeikommt.

Um eine effektive und aussagekräftige Auswertung zu gewährleisten, wurden einige AOIs zusammengefasst und in dieser Form untersucht. So wurden die Spiegel zu einem AOI und der Blick auf die Heckkante mit dem Blick aus der Heckscheibe gleichgesetzt. Für die Interpretation der Blickstrategien soll dann ein Vergleich zwischen Spiegel- und Heckscheibenfixationen bei den beiden unterschiedlichen Fahrzeugen aufgeführt werden. Dadurch kann ein Verhältnis zwischen Verkehrsbeobachtung und Abstandseinschätzung angegeben werden. Für die statistische Auswertung wird bei dieser Untersuchung stets ein t-Test für abhängige Variablen herangezogen, da es nur zwei Faktorstufen gibt (Vergleich E30 und E90) und alle Versuchsteile von jedem Probanden vollständig evaluiert wurden. Im Boxplot 3.23 sind unterschiedliche zentrale Tendenzen der Messwerte aufgeführt. Die Grafik zeigt den prozentualen kumulierten Anteil der Fixationsdauer des jeweiligen AOI an der gesamten Einparkdauer. So liegt z.B. der kumulierte Fixationsdaueranteil eines Fahrers auf das AOI Heckscheibe beim

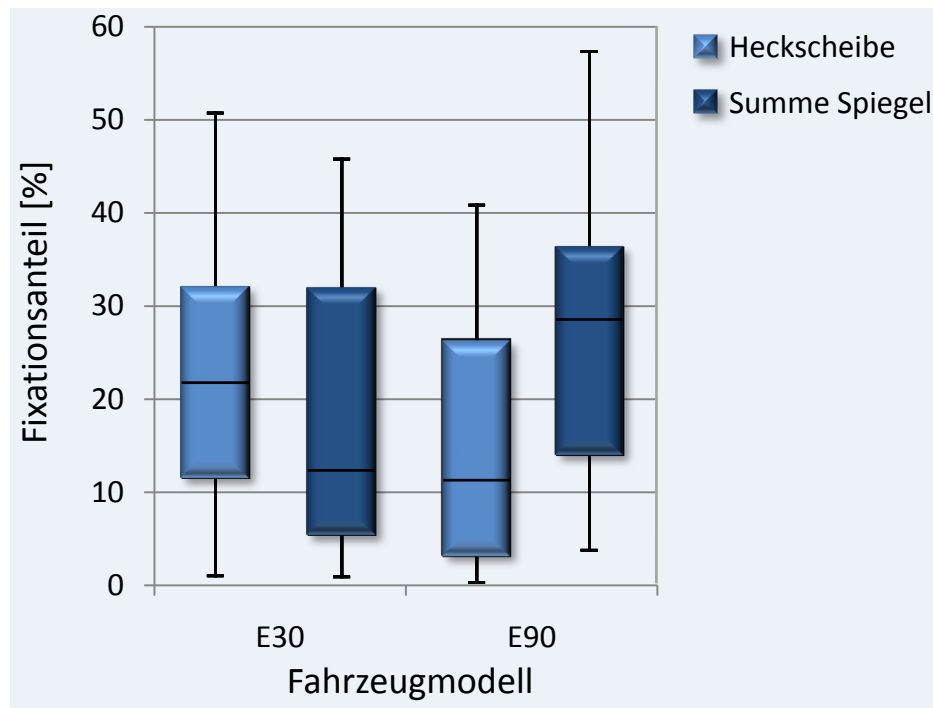


Abbildung 3.23 : Boxplot der kumulierten prozentualen Fixationsdauern

E30 im Mittel bei ungefähr 23% während des Einparkvorgangs. Es zeigt sich, dass der Fixationsdauerunterschied beim AOI Heckscheibe zwischen E30 und E90 signifikant ($T = 2,09$; $p < 0,00$) ist. Das Gleiche gilt für das AOI Spiegel ($T = -2,61$; $p < 0,00$). Somit konnte gezeigt werden, dass die Dauer der kumulierten Heckscheibenblicke beim E90 um etwa 50% abgenommen, während die Spiegelblicke im gleichen Verhältnis zugenommen haben. Daraus kann ganz klar eine Änderung der Blickstrategien abgeleitet werden. Fahrzeugführer sehen demnach bei neueren Fahrzeugen mehr in die Spiegel, als dass sie wichtige Informationen durch eine Kopfdrehung aufnehmen. Der Grund dafür liegt auf der Hand. Da die Heckscheibenfläche sehr klein ist und die Heckklappenkante durch die Designveränderungen nicht mehr ersichtlich ist, besteht keine Notwendigkeit, die Umweltinformationen durch die Heckscheibe aufzunehmen. Deshalb steigen die Fixationsanteile der AOIs Innen- und Außenspiegel an. Daraus kann klar eine Änderung der Strategie bezüglich der Aufnahme von Informationen abgeleitet werden, was auf die Designveränderungen zurückzuführen ist. Durch die Spiegel können Informationen nur beschränkt aufgenommen werden, da sie nicht das komplette Fahrzeugumfeld abdecken. Wenn beim rückwärtigen Parkvorgang Kopfdrehungen dazu führen, weitere Informationen aufzunehmen, die das Fahrzeugumfeld betreffen, kann dies nur als positiv bewertet werden. Die Designveränderungen von früheren und heutigen Fahrzeugen zeigen deshalb, dass sich die Aufnahme von wichtigen Informationen um das Fahrzeug herum verschlechtert, wodurch ein weiterer Bedarf an Parkassistenzsystemen gegeben ist. Somit kann Hypothese zwei bestätigt werden, dass durch die Designveränderungen der Fahrzeuge unterschiedliche Blickstrategien beim E30 im Vergleich zum E90 auftreten.

Objektive Ergebnisse - Bewertung aufgezeichnete Messwerte

Die objektiven Daten stellen in dieser Arbeit die aufgezeichneten Messwerte von Abständen innerhalb der Parklücke sowie die Einparkzeit dar. Im Folgenden sollen etwaige Unterschiede bezüglich E30 und E90 statistisch ausgewertet und interpretiert werden. Die Einparkleistung ermittelt sich hierbei aus den Abständen von vorderem und hinterem rechten Reifen zum Bordstein (d_{Vr} ; d_{Hr}), dem Versatz des Fahrzeugs (wie schräg das Fahrzeug zum Bordstein steht) und der Position innerhalb der Parklücke (wie mittig ist das Auto geparkt) dividiert durch die Einparkzeit. Für die Berechnung wird also erst die Einparkqualität für die einzelnen Abstände ermittelt. Die Einparkqualität dividiert durch die Einparkzeit ergibt schließlich die Einparkleistung. Für den seitlichen Abstand des Fahrzeugs zum Bordstein wird somit ein Mittelwert der Distanzen von vorderem und hinterem Reifen zum Bordstein gebildet. Da die Qualität aus Aufgabenerfüllung durch Aufgabenstellung nicht Null bzw. unendlich werden kann, wird beim Parken ein Toleranzbereich für die mittlere und seitliche Position, sowie den Versatz des Fahrzeugs innerhalb der Parklücke in die Berechnung aufgenommen. Der Toleranzbereich wird hier aus den qualitativ besten 10% der Parkendpositionen bestimmt. Es wird also angenommen, dass 10% der Probanden eine Einparkqualität von 100% erreichen. Wenn also 10% der Probanden einen mittleren seitlichen Abstand zum Bordstein von z.B. $0,05m$ einhalten, wird ein Abstand $d \leq 0,05m$ als 100% Aufgabenerfüllung gewertet. Beim Vergleich der Qualität zwischen E30 und E90 wird der kleinste gemeinsame Toleranzbereich verwendet, um identische Voraussetzungen für die Interpretation zu erhalten. Da die Aufgabenstellung beinhaltet, dass man so nah wie möglich an der Bordsteinkante parken soll, ohne diesen zu berühren, berechnet sich die Qualität indirekt proportional zur ergonomischen Formel, also:

$$\text{Parkqualität } Q = \frac{\text{Aufgabenstellung}}{\text{Aufgabenerfüllung}} \quad (3.33)$$

Die Gesamtqualität errechnet sich dann aus der Summe der indirekt proportionalen Einzelqualitäten (seitlicher Abstand, Versatz, mittlere Position):

$$Q_{Ges} = \frac{1}{\frac{1}{Q_{seitlich}} + \frac{1}{Q_{Versatz}} + \frac{1}{Q_{mittig}}} \quad (3.34)$$

Die Gleichung der Gesamtleistung P_{Ges} wird schließlich wie folgt aufgestellt:

$$P_{Ges} = \frac{Q_{Ges}}{t_{Park}} \quad (3.35)$$

Für die statistische Auswertung wurden t-Tests für abhängige Stichproben herangezogen. Hierbei wurden die Mittelwertunterschiede der Einparkleistung auf Signifikanz überprüft. Nach der aufgestellten Hypothese müsste die unterschiedliche Übersichtlichkeit der Fahrzeuge einen Einfluss auf die Einparkleistung haben. Abbildung 3.24 zeigt die Verteilung der Messwerte an. In diesem Diagramm (Boxplot) wird über den mittleren horizontalen Strich der Median dargestellt, die Box sagt aus, dass 50% der

Werte darin liegen. Außerdem werden durch die kleinen horizontalen Striche am Ende der vertikalen Striche das 5 und 95%-Perzentil angezeigt. Der t-Test ergibt, dass kein Unterschied in der Einparkleistung beim Vergleich von E30 und E90 besteht ($T = 0,78$; $p = 0,44$). Somit kann der Fahrer die Sichteinschränkung bei neueren Fahrzeugen kompensieren und deshalb die gleiche Leistung erzielen, wie mit dem übersichtlicheren Fahrzeug. Für das Einparken spielen die Designveränderungen objektiv betrachtet somit keine Rolle. Allerdings zeigt sich ein signifikanter Unter-

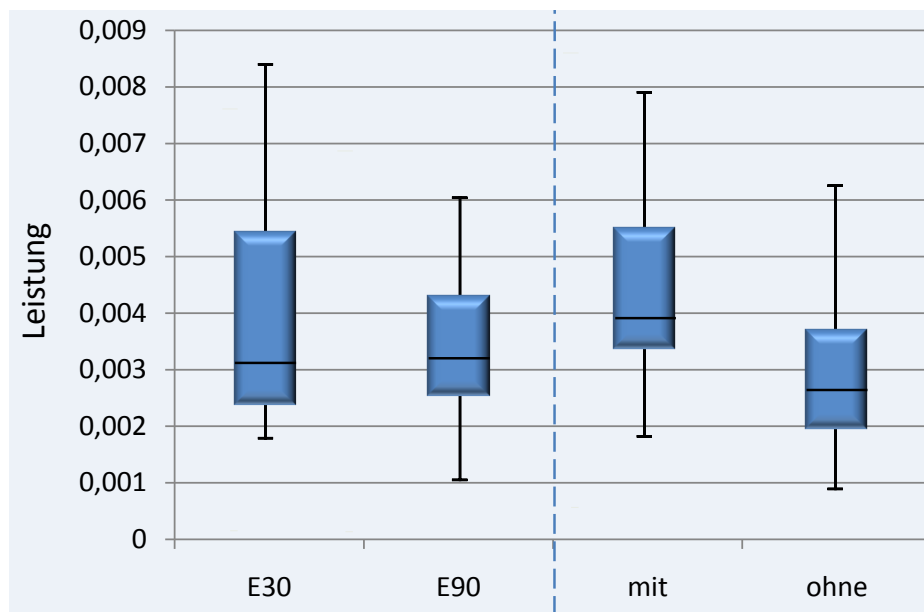


Abbildung 3.24 : Boxplot der Einparkleistung verschiedener Fahrzeuge mit und ohne Ausrichtung

schied in der Einparkleistung beim Vergleich mit und ohne Ausrichtung ($T = 2,77$; $p < 0,00$). Demnach erhöht sich die durchschnittliche Einparkleistung um bis zu 70%, wenn der Autofahrer eine vordefinierte Parkausgangsposition neben dem vorderen Fahrzeug einnimmt. Das zeigt deutlich, dass Autofahrer normalerweise ihre Ausgangsparkposition bei jedem Parkvorgang zu unterschiedlich wählen. Damit ergibt sich jedes Mal eine derart verschiedene Fahrzeugregelung, dass die Parkleistung dadurch beeinflusst wird. Bei einer vordefinierten Ausrichtung ist jedoch die Fahrzeugregelung beim Parken einfacher und reproduzierbarer, weshalb die Einparkleistung bei dieser Variante deutlich höher ist. Eine detailliertere Betrachtung der Messwerte zeigt, dass die Ausrichtung sowohl bei der Einparkqualität als auch bei der benötigten Zeit Vorteile erzielt. Dieses Ergebnis soll bei der Konzeption von Fahrerassistenzsystemen für das Parken berücksichtigt werden. Die Hypothese, dass die Ausgangsparkposition einen Einfluss auf die Leistung hat, kann deshalb bestätigt werden.

Im Folgenden wird analysiert, ob die Hypothese, dass die Einparkleistung abhängig vom Alter bzw. der Fahrerfahrung ist, angenommen oder abgelehnt werden muss. Hierzu wurde eine Korrelation berechnet. Da nicht exakt abgefragt werden konnte,

wie viel Parkvorgänge eine Person bisher in ihrem Leben durchgeführt hat, wurde die Angabe zur jährlichen Kilometerleistung mit der Angabe zur bisherigen Führerscheindauer multipliziert. Jedoch zeigt sich keine Abhängigkeit der Fahrerfahrung von der Parkleistung ($R = 0,21$; $R^2 = 0,05$). Somit kommt es wahrscheinlich nur darauf an, wie oft ein Fahrer einparkt. Die bisherige Kilometerleistung kann dafür jedenfalls nicht als Indiz verwendet werden, auch der Vergleich zwischen den Altersgruppen (über 30 J. und unter 25 J.) ergab keinen Unterschied. Deshalb muss die Hypothese zunächst abgelehnt werden.

Ein weiteres ergonomisches Merkmal zur Bewertung der Übersichtlichkeit unterschiedlicher Fahrzeuge ist die aufgezeichnete Fehlerrate. Demnach wurde jeglicher Kontakt mit Bordstein oder anderen Fahrzeugen notiert. Insgesamt waren die Probanden an 110 Parkvorgängen pro Fahrzeug beteiligt. Davon traten bei 23,6% aller Parkvorgänge beim E90 Kontaktfehler auf, während beim E30 weniger als die Hälfte an Fehlern vorkamen. Somit hat die Übersichtlichkeit der hier untersuchten Fahrzeuge zwar keinen Einfluss auf die Einparkleistung, jedoch auf die Fehlerrate. Deshalb kommt es durch die Sichteinschränkung beim E90 öfter zu Kollisionen als beim E30. Vor allem wenn Passanten vor oder hinter einem unübersichtlichen Fahrzeug vorbeigehen wollen, ist Vorsicht geboten.

Subjektive Ergebnisse - Beanspruchung

Die Grundlage für die subjektive Datenauswertung liefert zum einen der NASA-TLX Beanspruchungsfragebogen und zum anderen der Versuchsfragebogen mit detaillierten Fragen zum Parkvorgang. Beim NASA-TLX wurden von den Probanden verschiedene Beanspruchungsdimensionen abgefragt. Betrachtet man die Auswertung des t-Tests für den Vergleich der Gesamtbeanspruchung zwischen E30 und E90, kann kein Unterschied festgestellt werden ($T = -0,06$; $p = 0,48$). Auch beim Vergleich der einzelnen Beanspruchungsdimensionen „zeitliche Anforderung“, „Leistung“, „Anstrengung“ und „Frustration“ konnte kein Unterschied festgestellt werden. Allerdings wird die „geistige Anforderung“ beim E30 um ca. 15% niedriger eingeschätzt als beim E90 ($T = -1,85$; $p = 0,02$), während die körperliche Anforderung beim E30 um 40% höher als beim E90 beurteilt wird ($T = 2,27$; $p < 0,00$). Scheinbar sind sich die Probanden bei der Nutzung des E30 beim Einparken etwas sicherer, wobei wichtige Informationen berücksichtigt werden, während die höhere körperliche Beanspruchung beim E30 wohl der technischen Entwicklung zugeschrieben werden muss. Die Technik im E90, was Automatikgetriebe, Servolenkung und Komfort betrifft, hatte wohl doch einen Einfluss auf die Beurteilung der Beanspruchung. Außerdem drehen sich die Probanden beim Einparkvorgang mit dem E90 nicht mehr so oft um, was sich zusätzlich auf die Beurteilung der körperlichen Beanspruchung niederschlägt.

Insgesamt muss jedoch die Hypothese, dass die Beanspruchung beim Parken zwischen E30 und E90 unterschiedlich ist, verworfen werden.

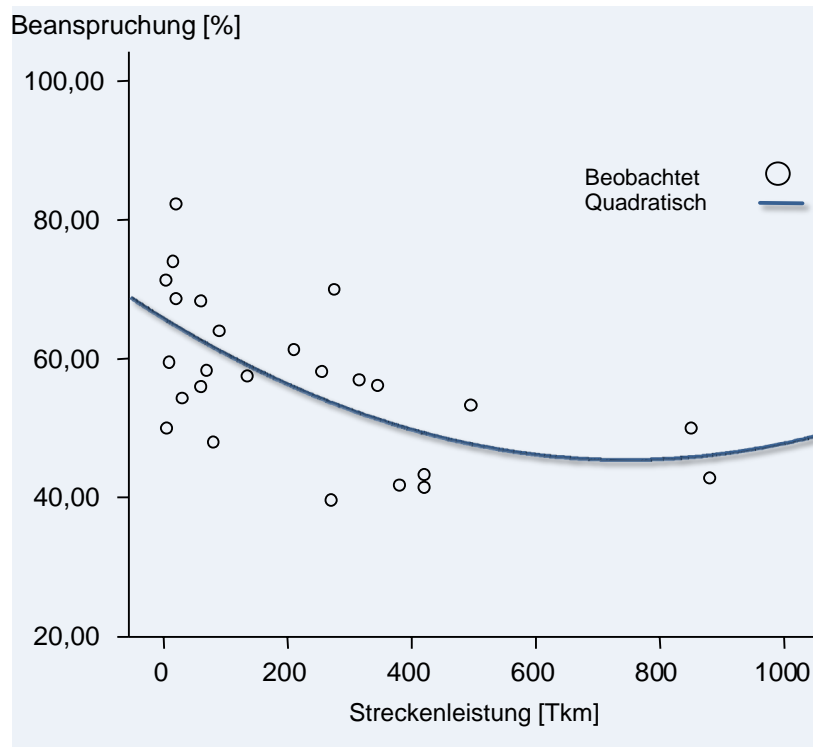


Abbildung 3.25 : Abhängigkeit Beanspruchung von bisheriger Kilometerleistung

Wie sieht jedoch die Beanspruchung abhängig von der Fahrleistung der Versuchsteilnehmer aus? Für die Darstellung dieses Zusammenhangs dient eine Regressionsgleichung. Im Vergleich lineare, quadratische und exponentielle Regression weist die Quadratische den höchsten Korrelationskoeffizienten auf. Außerdem stimmen Messwerte und Modell sehr gut überein und es besteht ein signifikanter Zusammenhang ($R = 0,61$; $R^2 = 0,37$; $F = 6,53$; $p < 0,00$). Aus der bisherigen Fahrleistung P_{km} und Beanspruchung B kann deshalb folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$B = 65,4 - 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot P_{km} + 3,65 \cdot 10^{-12} \cdot P_{km}^2 \quad (3.36)$$

Deutlich zeigt sich, dass die Beanspruchung bei Fahrern mit weniger Fahrpraxis höher ist, als bei routinierten Fahrern. Da jedoch nur sehr wenige ältere Fahrer an der Studie teilgenommen haben, ist der Kurvenverlauf aus Abbildung 3.25 kritisch zu sehen. Nach diesem Diagramm steigt die Beanspruchungskurve ab einer Gesamtfahrleistung von ca. 800.000km wieder ein wenig an. Das bedeutet, dass Fahranfänger und ältere Fahrer die Parkbeanspruchung höher bewerten als die Altersgruppe dazwischen. Aufgrund der kleinen Datenbasis bei älteren Fahrern soll dieses Ergebnis jedoch mit Vorsicht behandelt werden, auch wenn es logisch erscheint. Aus diesem Grunde wurden die beiden Werte der sehr erfahrenen Fahrer probenhalber bei der Kurvenanpassung ausgeschlossen, um zu sehen, ob diese Werte einen Einfluss auf die anderen Daten haben. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass dies nicht der Fall ist. Ob jedoch bei älteren Fahrern wieder ein Anstieg der subjektiv empfundenen Beanspruchung existiert,

| Fahrzeugspezifische Probleme beim Parken | E30 | E90 |
|---|------------|------------|
| Unübersichtlichkeit | 0,00% | 70,37% |
| Abstandseinschätzung (vorne, hinten, seitlich) | 7,41% | 14,81% |

Tabelle 3.8 : Bewertungsanteil fahrzeugspezifischer Probleme beim Parken

| Probleme beim Parken | Probandenanteil |
|---------------------------------|------------------------|
| Einschätzung Parkstandgröße | 29,6% |
| Einschätzung seitlicher Abstand | 29,6% |
| Einlenkzeitpunkt | 22,2% |
| Einschätzung Fahrzeuggröße | 11,1% |

Tabelle 3.9 : Probandenanteil, der Schwierigkeiten in speziellen Situationen hat

kann mit den in diesem Versuch erhobenen Daten nicht beurteilt werden. Trotzdem soll festgehalten werden, dass vor allem Fahranfänger und Fahrer ab ca. 60 Jahren einen höheren Bedarf an Parkassistenzsysteme haben als Fahrzeugführer im mittleren Alter, was die subjektiv wahrgenommene Beanspruchung dieser speziellen Verkehrssituation betrifft.

Subjektive Ergebnisse - Versuchsfragebogen

In diesem Teilabschnitt wird auf die wichtigsten Fragen zum Versuch eingegangen. Die Hauptfragestellungen waren hierbei die Einschätzung allgemeiner Probleme beim Parkvorgang und fahrzeugspezifische Probleme bezogen auf den E30 und E90 beim rückwärtigen Parkvorgang. Außerdem wurde noch die Notwendigkeit von Parkassistenzsystemen abgefragt. In Tabelle 3.9 werden die wichtigsten Aufzählungen dargestellt. Die Fragen nach fahrzeugspezifischen Problemen bzw. Probleme beim Parken wurden offen gestellt. Bei der Frage nach dem Wunsch nach Parkassistenzsystemen gaben 63% der Probanden an, dass beim E30 eine normale Abstandsmessung in Form einer Parkdistanzkontrolle ausreichend ist. Die restlichen Probanden benötigen für den E30 kein Assistenzsystem. Beim E90 lag der Wunsch nach Unterstützung bei 92%, also weitaus höher als beim E30. Es zeigt sich deutlich, dass der E90 von doppelt so vielen Versuchspersonen als unübersichtlich bewertet wird als beim E30. Außerdem befinden 70% der Probanden die Abstandseinschätzung um das Fahrzeug herum beim E90 als problematisch gegenüber 0% beim E30 (siehe Tabelle 3.8). Deshalb ist der Wunsch nach einem Assistenzsystem beim E90 viel größer. Dies unterstützt die Motivation für ergonomische Untersuchungen solcher Systeme. Aber nicht nur fahrzeugspezifische sondern auch allgemeine Probleme beim Parken motivieren zur Konzeption von Parkassistenten. So haben zum Beispiel fast 30% der teilgenommen Probanden Probleme bei der Einschätzung der Parkstandgröße und beim Einparken mit der Abschätzung des seitlichen Abstandes von Fahrzeug zu Bordstein (vgl. Tabelle

3.9). Aber auch die Einschätzung der Fahrzeuggröße sehen einige Probanden als Problem an, ebenso wie die Entscheidung, wann beim Einparken gegengelenkt werden muss.

Zusammenfassung Ist-Analyse Parken

Bei der Ist-Analyse des Parkvorgangs unter Berücksichtigung der historischen Entwicklung der Designveränderungen und Übersichtlichkeit früherer und heutiger Fahrzeuge wurden viele Aspekte des rückwärtigen Parkens untersucht. Im folgenden Teilabschnitt werden die wichtigsten Ergebnisse des Versuchs zum Einparken noch einmal zusammengefasst.

Der E90 wird zwar von dem meisten Probanden subjektiv als unübersichtlicher eingeschätzt, objektiv betrachtet haben die Designveränderungen keinen Einfluss auf die Einparkleistung. Allerdings traten beim E90 viel mehr Kontaktfehler auf als beim E30. Zudem verändert sich bei der Nutzung von übersichtlichen und unübersichtlichen Fahrzeugen die Blickstrategie. Somit nimmt die Anzahl an Spiegelblicken beim unübersichtlicheren E90 zu, während gleichzeitig der Anteil an Heckscheibenblicke abnimmt. Dies kann Auswirkungen auf das Unfallpotenzial haben, da nicht mehr die gleiche optische Informationsqualität zur Verfügung steht, als wenn der Fahrer auch den Kopf dreht. Das dies Auswirkungen auf die Beanspruchung hat, konnte jedoch nicht festgestellt werden. Es existiert somit kein Unterschied beim Vergleich des NASA-TLX Tests von E30 und E90.

Weiter hat sich gezeigt, dass eine vordefinierte und optimierte Parkausgangsposition signifikant die Einparkleistung verbessert. Wenn ein Fahrzeugführer immer die gleiche Markierung zur Verfügung hätte, wo er sich neben dem Fahrzeug positionieren soll, das die Parklücke nach vorne begrenzt, kann der Fahrer das Auto viel besser einparken. Dieses Ergebnis wird anschließend in die Konzeptionierung eines Parkassistentensystems mit aufgenommen.

Ferner konnte festgestellt werden, dass es keinen Unterschied in der Einparkleistung zwischen geübten und ungeübten Fahrern gibt. Allerdings sehen ungeübte Fahrer das Parken als beanspruchender an als Geübte.

Für die Untersuchung der Auswirkung der Übersichtlichkeit von Fahrzeugen auf die Einparkleistung wurden mit den beiden Fahrzeugen E30 und E90 beispielhaft zwei Fahrzeugmodelle verwendet, deren designtechnische Unterschiede typisch für die Entwicklung der Automobilindustrie der letzten 20 Jahre sind. Obwohl sich die Rundumsicht und Übersichtlichkeit der Fahrzeuge stark verändert hat, konnte kein Einfluss auf die Einparkleistung nachgewiesen werden. Festgestellt werden konnte jedoch ein Kompensationsverhalten der Probanden, wonach sich die Blickstrategien beim Einparken bei der Verwendung unterschiedlicher Fahrzeugmodelle verändern. Dadurch werden bei neueren Fahrzeugen seltener Kopfdrehungen für die Informationsaufnahme des rückwärtigen Fahrzeugumfelds beim Parken durchgeführt. Dies könnte Einfluss auf die aufgenommene Informationsqualität haben und eventuell das Unfallpotenzial erhöhen.

Sicherlich spiegelt die Verschlechterung der Rundumsicht einen negativen Entwicklungsschritt der Automobilindustrie wieder. Allerdings haben die Designveränderungen aber auch Vorteile, berücksichtigt man den verbesserten Widerstandsbeiwert von E30 ($c_w = 0,37$) zu E90 ($c_w = 0,30$) und die bessere passive Sicherheit durch die erhöhte Steifigkeit der Karosserie. Aus diesem Grund ist es wichtig, Parkassistenzsysteme voranzutreiben, um die Einparkleistung und den Diskomfort der Fahrzeugführer zu minimieren, sowie deren Beanspruchung beim Parken zu verringern. Dies soll im Kapitel durch die Konzeption von Fahrerassistenzsystemen mithilfe der Bedarfsanalyse geschehen. Zunächst wird aber eine Analyse des Parkens mittels der Flussdiagrammtechnik durchgeführt, um noch detaillierter auf Probleme beim Parken einzugehen und diese in die Konzeption von Parkassistenten mit aufzunehmen.

3.4 Parkanalyse mithilfe der Flussdiagrammtechnik

Wie aus der Gliederung der Arbeit ersichtlich, wird die Analyse des Parkens mit Hilfe von Flussdiagrammen im Anschluss an die ergonomische Ist-Analyse durchgeführt. Dieser Ablauf wurde deshalb gewählt, weil bisher das Parken noch nicht flussdiagrammtechnisch erfasst wurde. Deshalb diente die Ist-Analyse auch dazu, den Fahrzeugführer beim Parken zu beobachten. Das Ergebnis der Beobachtung, welche Tätigkeiten bzw. Arbeitsschritte beim Parken durchgeführt werden, fließt deshalb in das Flussdiagramm mit ein. So konnte die Blickanalyse zum Beispiel zeigen, wie weit ein Fahrer im Voraus nach einer potenziellen Parklücke sucht, obwohl er noch weit davon entfernt ist abzuschätzen, ob die Lücke auch ausreichend groß ist.

Außerdem wird in dieser Arbeit nach StVO konformen und widrigen Abläufen differenziert. Dies ist sehr wichtig auch für die spätere Akzeptanz bei unterschiedlichen Auslegungen von Parkassistenzkonzepten. Ein System sollte zum Beispiel dem Fahrer auch anzeigen, wenn eine Parklücke ausreichend groß ist, das abgestellt Fahrzeug sich dann aber im absoluten Halteverbot befinden würde. Dem Fahrer soll dann trotzdem die Entscheidung obliegen, diesen Parkstand auszuwählen oder nicht. Da diese Entscheidungen im Flussdiagramm berücksichtigt werden müssen, wird deshalb nach StVO konformen und widrigen Handlungen unterschieden.

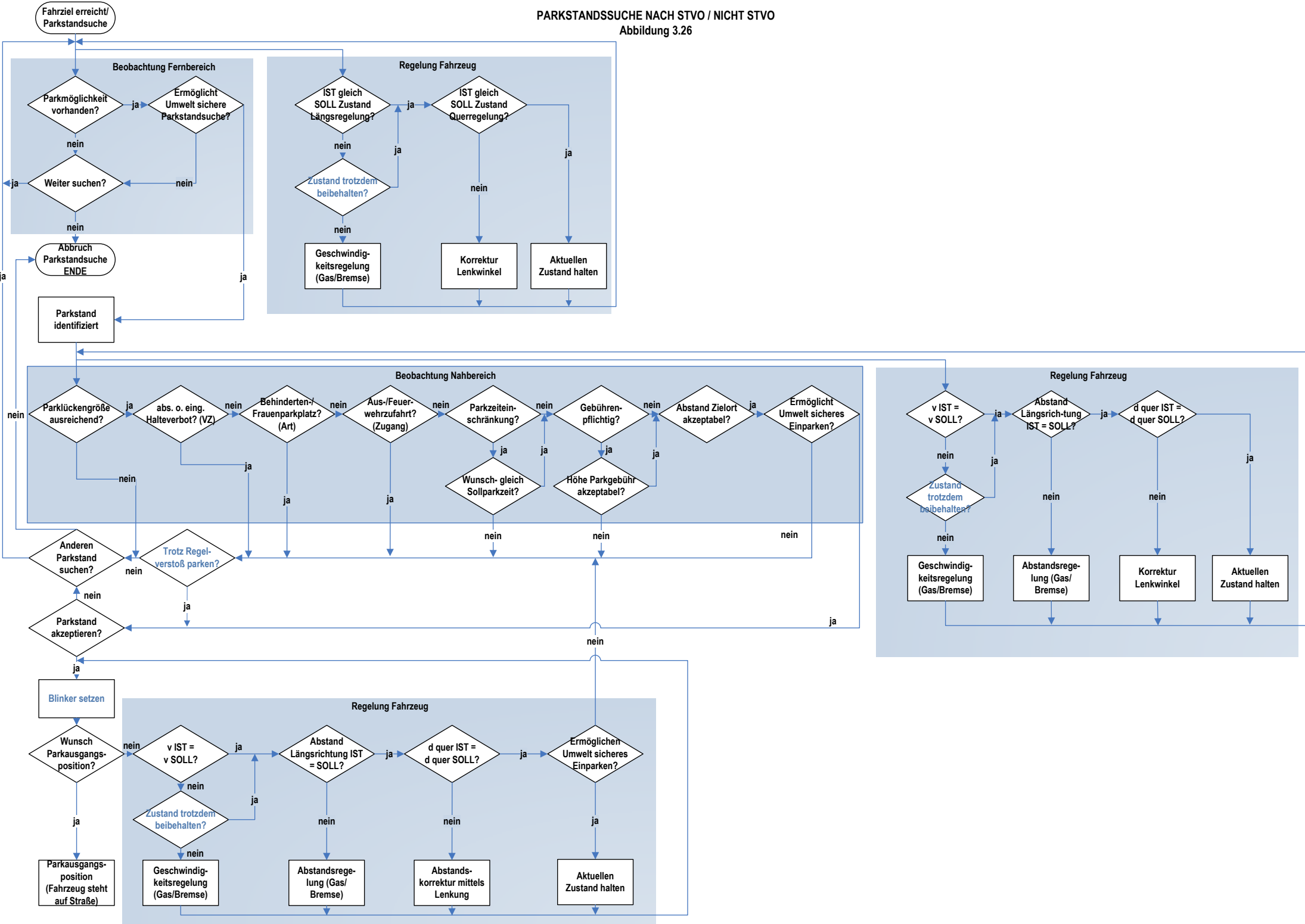
3.4.1 Analyse der Parkstandsuche

Im folgenden Flussdiagramm 3.26 wird deutlich, wie komplex und kompliziert die Parkstandsuche ist und welche Entscheidungen und Bedienschritte für deren Ausführung notwendig sind.

Nachdem sich der Fahrer entschieden hat, einen Parkstand zu suchen, beobachtet er den Fernbereich. Der Fernbereich wird hier definiert als der Bereich, der weiter vom Fahrzeug entfernt ist als $10m$. Ab diesem Abstand kann der Fahrzeugführer nicht mehr einschätzen, ob eine Parklücke ausreichend groß ist. Dies liegt an den physikalischen Beschränkungen des Auges bzw. an der Optik.

PARKSTANDSSUCHE NACH STVO / NICHT STVO

Abbildung 3.26



Ferner sichert sich der Fahrer noch ab, ob eine gefahrenfreie Suche möglich ist, also ob andere Verkehrsteilnehmer bzw. eine spezielle Verkehrssituation gerade die Suche nach einem Parkstand erlaubt. Währenddessen darf er jedoch nicht die Fahrzeugführung und -stabilisierung vernachlässigen. Dazu muss die Fahrzeugregelung berücksichtigt werden, also der Vergleich von Soll- mit Ist-Lenkwinkel, -Geschwindigkeit, -Abstand, etc. Diese Bedienschritte werden so lange ausgeführt, bis entweder eine potenzielle Parklücke entdeckt worden ist, oder der Fahrer die Suche abbricht, um ein anderes Fahrziel ins Auge zu fassen.

Wenn eine potenzielle Parklücke erfasst wurde und sich der Fahrer dem Nahbereich zum Parkstand hin bewegt ($d_{\text{Lücke-Fzg}} < 10m$) stehen außer der wie oben beschriebenen Bedienschritte der Fahrzeugregelung noch folgende Entscheidungen an: Ist die Parklücke ausreichend groß, besteht eingeschränktes oder absolutes Halteverbot, ist der Parkstand gebührenpflichtig, eine Feuerwehreinahrt bzw. bestehen andere Beschränkungen? Außerdem stellt sich noch die Frage, ob die derzeitige Verkehrslage ein Einparken ermöglicht. Ist dies nicht der Fall, kann die Suche nach einem anderen Parkplatz fortgesetzt oder abgebrochen werden. Dies kann vor allem dann eintreten, wenn der rückwärtige Verkehr den Parkstandsuchenden durch Hupen, Drängeln oder sonstige Aktivitäten bei der Parkstandsuche oder Einparken stark behindert oder beeinträchtigt. Hierbei wird deutlich, wie viele parallele Entscheidungen anstehen, um sich auf einen Parkstand festzulegen. Dadurch wird klar, dass das Parken eine der anspruchvollsten Verkehrssituationen darstellen muss.

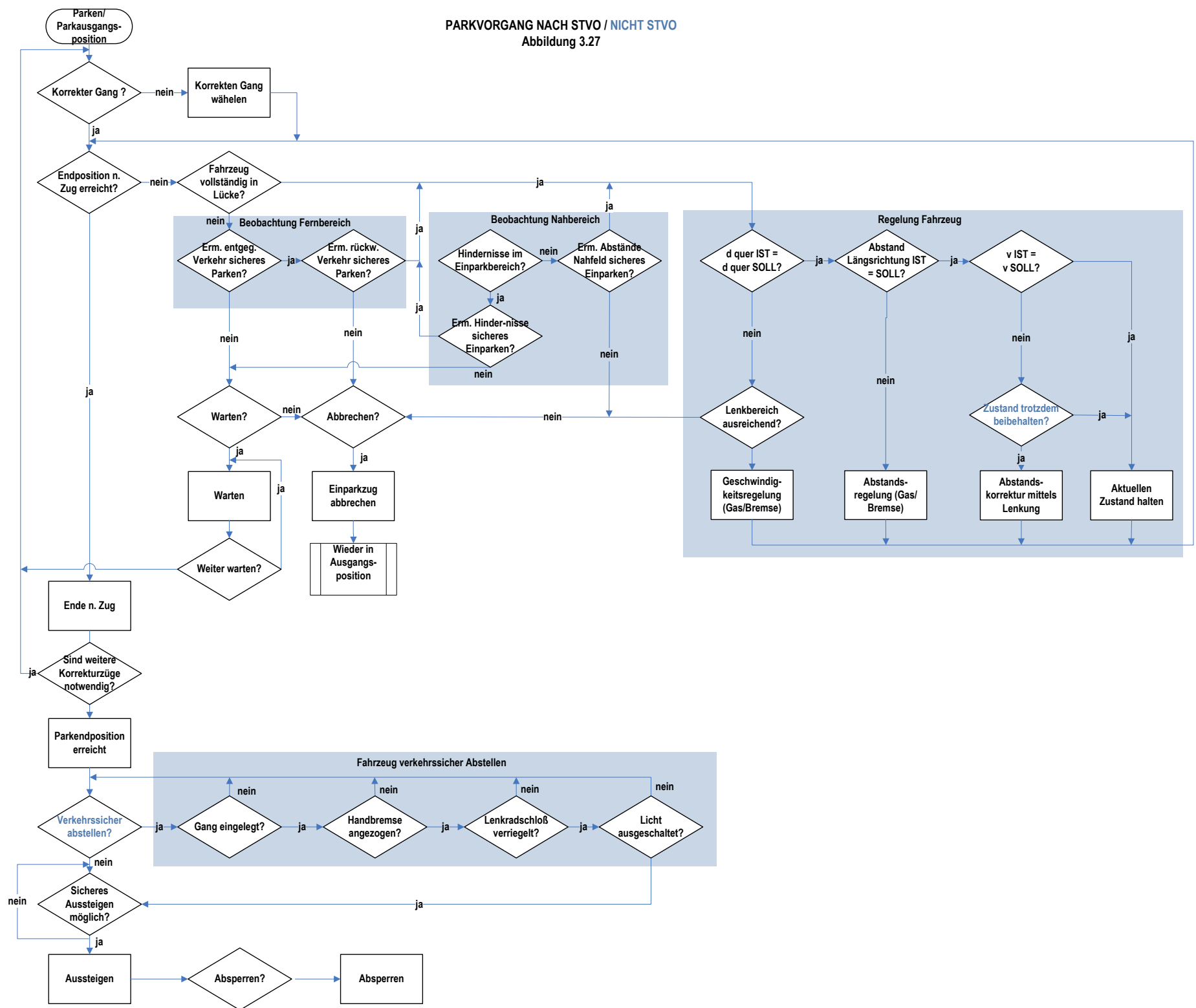
Im Flussdiagramm ist noch der Unterschied von StVO konformer zu widriger Entscheidung aufgeführt. Demnach stellt sich für den Fahrer im ersten Fall nicht die Entscheidungsmöglichkeit für oder wider einen Regelverstoß. Im zweiten Fall hat der Fahrer diese Alternative.

Entschließt sich der Fahrzeugführer nun für den Parkstand, weil alle Entscheidungsbedingungen positiv ausgefallen sind, kann - bzw. nach StVO muss - er noch den Blinker setzen, um den rückwärtigen Verkehr auf sein nun folgendes Manöver aufmerksam zu machen. Anschließend nimmt er die Ausgangsparkposition ein und macht sich zum Parken bereit. Dieser Vorgang wird im nächsten Teilabschnitt näher erläutert. Deutlich wird bei der Betrachtung der Flussdiagramme, dass durch die vielen parallel anstehenden Entscheidungen und Bedienschritte diese Fahrsituation sehr beanspruchend ist, was sich ebenfalls aus den Ergebnissen des Kapitels 3.2 ableiten lässt. Vor allem im Bereich der Umfelddetektion, Parkstandauswahl und Abschätzung der Parkstandgröße besteht ein großes Potenzial für Fahrerassistenzsysteme, um den Fahrzeugführer zu unterstützen. Die Konzeption solcher Systeme findet im anschließenden Kapitel statt.

3.4.2 Analyse des Einparkens

Nachdem die Ausgangsparkposition eingenommen wurde, muss der Fahrer nun abhängig von der Parkstandart und der aktuellen Position den geeigneten Gang einlegen (Vorwärts- bzw. Rückwärtsgang). Anschließend stehen wieder eine Reihe von Entscheidungen und Bedienschritte an, die parallel angeordnet sind, wie aus Abbildung 3.27 hervorgeht.

PARKVORGANG NACH STVO / NICHT STVO
Abbildung 3.27



Auch beim Einparken gilt es, den Nah- und Fernbereich zu beobachten. Eventuelle Vorkommnisse haben dann natürlich Einfluss auf die Fahrzeugregelung. So kann es z. B. vorkommen, dass beim rückwärtigen Parken in eine rechts angeordnete Parklücke plötzlich ein anderes Auto zu einem Überholvorgang ansetzt. Dadurch wird der Fahrer kurzzeitig gezwungen, den Parkvorgang anzuhalten. Wenn der Fahrzeugführer dies nicht tun würde, könnte durch das Ausscheren des einparkenden Autos nach links der Überholende berührt werden. Auch wenn rückwärtige Fahrzeuge auf den Einparkenden zu dicht auffahren, sodass dieser nicht in die Parklücke zurückstoßen kann, muss der Vorgang kurzzeitig unterbrochen werden, bis wieder genug Platz zur Verfügung steht.

Wenn nun das Fahrzeugumfeld das Einparken gestattet, beginnt der Autofahrer den ersten Parkzug. Die Anzahl der notwendigen Parkzüge ist davon abhängig, wie gut der Einparkende das Fahrzeug nach dem aktuellen Parkzug in der Parklücke positioniert hat. Dafür gibt es objektive und subjektive Kriterien. Objektiv sollte das Auto andere Verkehrsteilnehmer nicht behindern. Subjektiv betrachtet ist die aktuelle Parkposition dann zufriedenstellend, wenn der Fahrer dies so beurteilt. Die Parkzüge werden so lange ausgeführt (zurückstoßen, nach vorne fahren), bis eben die gerade erwähnten objektiven und / oder subjektiven Kriterien übereinstimmen. Dabei muss stets das Fahrzeugumfeld im Nah- u. Fernbereich beobachtet werden. Außerdem hat der Fahrer auch noch den Wendepunkt zu bestimmen, ab dem er in die andere Richtung lenken muss, um das Fahrzeug richtig einzuparken.

Daraus ergeben sich beim Einparken ebenfalls sehr viele parallel anstehende Entscheidungen und Bedienschritte, wodurch eine Aufmerksamkeit im Vergleich zum normalen Fahren erforderlich ist. Wenn das Auto schließlich die vom Fahrer akzeptierte Parkendposition erreicht hat, muss bzw. sollte der Fahrer sein Kraftfahrzeug verkehrssicher abstellen. Dazu gehört das Einlegen des ersten Ganges, das Anziehen der Handbremse, die Verriegelung des Lenkradschlösses und das Abschalten des Abblendlichts (bzw. Anschalten der Parkbeleuchtung bei Nacht). Schließlich verlässt der Fahrer sein Fahrzeug unter Berücksichtigung des Nah- u. Fernbereichs und sperrt das Fahrzeug ab.

Auch beim Parken zeigt sich, dass die Anforderung an den Fahrzeugführer, wie in Kapitel 3.3 ebenfalls durch einen Realversuch verifiziert, sehr hoch ist. Vor allem bei der Fahrzeugregelung treten Probleme auf, um in die Parklücke zu kommen. Hier besteht Assistenzpotenzial, um den Fahrer zu entlasten.

3.4.3 Analyse des Ausparkens

Das Ausparken geschieht dann umgekehrt zum Einparken. Nachdem der Fahrer sicher in das Fahrzeug eingestiegen ist, während er den Nah- u. Fernbereich um sein Auto herum beobachtet und dementsprechend gehandelt hat, gilt es den Parkstand mit n -Zügen zu verlassen. Wichtig hierbei ist noch das Eingliedern in den fließenden Verkehr unter Beachtung der StVO bzw. des Fahrzeugumfelds.

Unterstützungsbedarf liegt hauptsächlich im Bereich des Wiedereingliederns in den fließenden Verkehr vor. Genauer wird darauf im folgenden Kapitel eingegangen.

3.5 Zusammenfassung Bedarfsanalyse

Dieses Kapitel beschäftigte sich hauptsächlich mit der Analyse, ob ein Bedarf an Parkassistenzsystemen besteht. Um den Bedarf an Assistenz zu verifizieren wurden unterschiedliche Methoden angewendet.

Eine Umfrage zum Thema Parken war dabei die erste hier verwendete Methode. Diese Umfrage hatte das Ziel, den Stellenwert von unterschiedlichen Systemen, unter anderem auch der Parkassistenz, zu ermitteln. Es hat sich gezeigt, dass Parkassistenzsysteme einen hohen Stellenwert bei den Umfrageteilnehmern einnehmen, ähnlich wie Fahrdynamikregelsysteme (ABS, DSC, ESP, etc.). Außerdem wurde noch ermittelt, welche Kriterien für ein optimal eingeparktes Fahrzeug wichtig sind. Dieses Ergebnis wurde für nachfolgende Untersuchungen als Objektivierungsmaßstab verwendet.

Als nächste Methode trug ein Realversuch zum Thema Einparken und Parkstandssuchen dazu bei, den Bedarf an Fahrerassistenzsystemen für diesen Teil der primären Fahraufgabe zu untermauern. Mithilfe eines Blickerfassungssystems konnte dabei demonstriert werden, wie sich das Blickverhalten beim Parkstandssuchen und Einparken einordnen lässt. Es hat sich herausgestellt, dass die Parklückensuche für rückwärtige Fahrzeuge gefährlich werden kann und dass die Beanspruchung gegenüber einer Stadtfahrt viel höher ist. Zudem haben Designveränderungen von früheren zu heutigen Fahrzeugen einen Einfluss auf die Übersichtlichkeit und damit auf das Gefahrenpotenzial beim Parken. Außerdem verbessert sich die Einparkleistung bei einer vordefinierten Parkausgangsposition gegenüber einer frei Wählbaren.

Die Untersuchung des zeitlich-räumlichen Auftretens von Entscheidungen und Bediensritten mittels der Flussdiagrammtechnik festigt schließlich die Hypothese nach dem Bedarf an Parkassistenten und zeigt zudem Unterstützungsansätze auf. Somit haben sich alle hier verwendeten Methoden zur Bedarfsanalyse bewährt und sollten auch bei anderen Assistenzsystemen angewendet werden, um eine umfassende Grundlage zum Bedarf zu erhalten.

4 Konzepterstellung und Realisierung einer Parkassistentz

Bei der Konzeption von neuen Systemen sind viele unterschiedliche Punkte zu berücksichtigen, die hier kurz diskutiert werden sollen. Zum Beispiel sollte bei allen Neuentwicklungen von Systemen der Nutzen im Vordergrund stehen. So kann die Nutzenabschätzung bei einem System, das zwar Kaufanreize bietet, aber gleichzeitig eine unverhältnismäßige Ablenkung des Fahrers bewirkt, nur zuungunsten der Entwicklung und Einführung ausfallen. Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme können durchaus eine gewisse Ablenkung verursachen, gleichzeitig aber auch wichtige Zusatzinformationen liefern, die diese Ablenkung nicht nur rechtfertigen, sondern sogar die Sicherheit erhöhen. Dies gilt es bei den Evaluierungen zu berücksichtigen.

Außerdem hat der Einsatz von Assistenzsystemen auch rechtliche Konsequenzen. Deshalb wird das Thema Produkthaftung immer wichtiger, vor allem wenn sich der Assistenzgrad von Systemen so rasant steigert wie in den letzten Jahren. Bei eventuellen Unfällen stellt sich somit die Frage, zu welchem Teil das System aufgrund einer Fehlfunktion oder einer nicht dokumentierten Gefahrenquelle bei bestimmten Situationen zum Unfall beigetragen hat. Solche Fehler sollten natürlich im Vorfeld abgeschätzt und berücksichtigt werden. Dabei darf neben dem Personenschaden der entstandene Sachschaden sowie die Folgekosten für die Nachbesserung der Systeme durch den Hersteller nicht außer acht gelassen werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von neuen Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen ist die Akzeptanz des neuen Systems seitens des Kunden. So spielen persönliche Eindrücke und Emotionen eine wichtige Rolle bei der Kaufentscheidung. Doch nicht nur die Entscheidung zum Kauf, sondern auch die Häufigkeit der Nutzung und das Vertrauen in das neue System hängen essenziell von der Akzeptanz ab. Diese wird wiederum von den Faktoren Bedienbarkeit (engl. usability), Benutzerfreundlichkeit und positiven Benutzererlebnis (engl. joy of use genannt) stark beeinflusst. Der Aspekt einer guten und menschengerechten Bedienbarkeit ist hierbei eine der grundlegendsten Voraussetzungen für das positive Benutzererlebnis. Doch nicht nur die Bedienbarkeit und die Funktionalität sondern auch psychologisch motivationsbezogene Merkmale wie Neugier, Umgang mit Komplexität, die Freude an der Technik und sogar das Geschlecht haben einen nicht minderen Einfluss auf das Bedienerlebnis. So erfolgt aus einem positiven Bedienerlebnis im Zusammenhang mit einer effizienteren Erfüllung der Aufgabe - hier das Parken - eine positive Wahrnehmung des Systems, wodurch letztendlich eine erhebliche Erhöhung der Akzeptanz erzielt werden kann. Im Resümee, je positiver der Eindruck beim Fahrer bzgl. Bedienbarkeit, Benutzerfreundlichkeit, Funktionalität, Benutzererlebnis und

Sicherheitsgewinn ist, desto eher wird dieser bereit sein, das neue System zu nutzen. Dies ist bei der Gestaltung und Auslegung von Fahrerassistenzsystemen zu berücksichtigen und in Versuchen zu evaluieren. Erst durch häufige Nutzung der Systeme und Akzeptanz beim Menschen kann sich eine Neuentwicklung auf dem heutigen Markt etablieren.

Aber auch wirtschaftliche Überlegungen sind bei der Konzipierung von Assistenzsystemen entscheidend. Insbesondere bei Parkassistentzsystemen spielt neben den technischen und funktionalen Eigenschaften sowie dem Sicherheitsgewinn, das Einsparpotenzial im Hinblick auf Kosten von Fahrzeugschäden eine weitere tragende Rolle. Hilft ein Assistenzsystem bei einem häufigen Vorgang neben der Minimierung des Diskomforts beim Parken, die heutzutage meist teuren Felgen oder lackierten Stoßstangen vor Schaden zu bewahren, entsteht hierdurch für den Fahrer ein Kostenvorteil. Dieser Mehrwert eines Systems hängt auch davon ab, wie häufig es im Vergleich zu seinen Anschaffungskosten oder aber seinem Vermeidungspotenzial in Bezug auf Unfälle oder Schaden benutzt werden kann. Auch die usability eines Systems hat einen entscheidenden Einfluss auf den Mehrwert, der durch mangelnde Funktionalität zunichtegemacht werden kann. Auf der Herstellerseite ist primär die wirtschaftliche Konzipierung und Entwicklung zu beachten. Ein Beispiel zur Einsparung von Kosten bei der Neuentwicklung ist unter anderem die Nutzung der vorhandenen Sensorik im Fahrzeug für unterschiedliche Fahrerassistenzsysteme. Diese oben genannten Punkte sollen bei der Konzipierung einer neuer Parkassistentz berücksichtigt werden.

In diesem Kapitel werden zunächst auf Basis der Bedarfsanalyse verschiedene Konzepte zur Unterstützung des Fahrers beim Parken vorgestellt. Diese Konzepte setzen genau da an, wo der Fahrer Assistenz benötigt. Da es aus technischen Gründen nicht möglich war, alle diese Konzepte in nur einem Versuchsträger zu vereinen, werden diese dann im Realfahrzeug und mithilfe der Fahrsimulator evaluiert. Normalerweise werden Simulatoruntersuchungen verwendet, um vorab Informationen über die Entwicklung und Auslegung von Systemen zu erhalten und um entwicklungsbegleitend frühzeitiger Fachwissen aufzubauen (vgl. Heißing [30]). Abschließend werden üblicherweise die letzten Entwicklungsschritte im realen Fahrzeug mit der benötigten Trennschärfe ausgelegt. Hier jedoch war es technisch nicht möglich, einige Konzepte direkt im Versuchsträger zu integrieren und zu evaluieren. Im Fahrsimulator werden dann Konzepte untersucht, die derzeit entweder nur mit enormen Aufwand oder gar nicht erst realisiert werden können. Deshalb trägt der Realversuch dazu bei, Konzepte zu untersuchen, die heute bereits implementiert werden können, während im Simulator Konzepte evaluiert werden, die technisch derzeit in Versuchsträgern nicht umgesetzt werden konnten. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit zuerst der Realversuch behandelt und daran anschließend die Simulatorstudie. Auch die Konzeptentwicklung hält sich an diese Vorgehensweise.

4.1 Warnung des rückwärtigen Verkehrs

Ein sehr kritischer Vorgang beim Suchen einer Parklücke ist das Anhalten bei einem gefundenen Parkstand. In dieser Situation betätigt der Parkstandsuchende fast nie oder nicht rechtzeitig den Fahrtrichtungsanzeiger, wie aus Kapitel 3.2 hervorgeht. Für den rückwärtigen Verkehr besteht dann die Gefahr einer Kollision, oder dieser fährt so dicht auf das parkende Fahrzeug auf, dass der Einparkvorgang kurzzeitig abgebrochen werden muss, bis ein Überholen der hinteren Autos möglich wird. Aber selbst wenn rechtzeitig geblinkt wird, können die anderen Fahrzeugführer sehr schlecht einschätzen, was der Vordere beabsichtigt. Der Blinker wird nämlich für unterschiedliche Absichten verwendet. So kann der Fahrtrichtungsanzeiger ein Abbiegen, genauso wie ein Anhalten in zweiter Reihe zum Ein- u. Aussteigen oder einen Spurwechsel bzw. ein Überholen signalisieren. Zwar sollte ein Blinksignal den Autofahrern Vorsicht suggerieren, jedoch kommt es beim Parken darauf an, dass der Hintere nicht zu dicht auffährt, da sonst der Parkende nicht in die Lücke zurückstoßen kann, was zu einer längeren Aufstauung des Verkehrs führt (vgl. Riel [69]). Der Fahrtrichtungsanzeiger kann jedoch unterschiedlich interpretiert werden. Es existiert keine einheitliche Signalisierung für: „Achtung, Fahrzeugführer will Parken; bitte wenn möglich sofort überholen, oder rechtzeitig abbremsern, um die Parklücke nicht zu verstellen.“ Aus diesem Grund wird ein Konzept entwickelt, das genau diese Absicht anzeigen soll. Da der rückwärtige Verkehr hauptsächlich über die Parkabsicht informiert werden muss, hat das Auswirkungen auf den Anzeigeort, nämlich irgendwo am Heck des parkenden Fahrzeugs. Aufgrund der komplexen Absichtsbeschreibung können keine Signalleuchten verwendet werden, weil damit nur ein geringer Informationsgehalt übertragen werden kann. Deshalb muss eine Symbolik entwickelt werden, die eine Parkabsicht klar, eindeutig und intuitiv erfassbar wiedergibt. Die zu verwendende Symbolgröße kann nach ergonomischen Gesichtspunkten berechnet werden. Nach EKIDES (Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System) - eine Datenbank ergonomischer Regeln und Empfehlungen des Lehrstuhls für Ergonomie der Technischen Universität München - ist eine ergonomische Symbolmindestgröße von $0,006 \cdot \text{Entfernungsabstand}$ zu empfehlen. Der Abstand muss nun nur noch abgeschätzt werden. Bei einer angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit beim Parkstandsuchen von $\bar{v}_{\text{Park}} \approx 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 8,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und einem „halben Tacho“ Sollabstand ergibt sich eine Symbolgröße von $b_{\text{Symbol}} = 0,006 \cdot 15\text{m} = 0,09\text{m}$. Bei der Entwicklung eines geeigneten Symbols sollten folgende Metaphern verwendet werden, damit ein schnelles und intuitives Erfassen der Information möglich ist: „Achtung“ oder „Vorsicht Gefahr“ wird hauptsächlich farbkodiert (rot) dargestellt oder im Verkehr durch ein rotes Dreieck. Parksymboliken beinhalten in Europa den Buchstaben P (in weiß auf blauem Hintergrund). Für das Suchen kommt z.B. eine Lupe in Frage, die teilweise schon in der EDV verwendet wird. Wichtig beim Symboldesign ist, dass auf bereits bekannte Symbolteile oder einfache Metaphern zurückgegriffen wird. Bereits kleine Veränderungen im Symbol kann die Erkennungsrate beim Fahrer deutlich verringern oder erhöhen. Dies konnte unter anderem in einer amerikanischen Studie nachgewiesen werden (siehe Dewar [13]). Demzufolge wurde nach der Bedeutung

unterschiedlicher Verkehrssymbole gefragt. Das Ergebnis dieser Studie war ziemlich ernüchternd. Erkennungsraten von unter 50% bei durchaus sehr wichtigen Verkehrszeichen (z.B. Pfeile die anzeigen, dass man nur geradeaus fahren und nach rechts abbiegen darf; Bushaltestelle; etc.) waren nicht die Seltenheit. Kleine Veränderungen wie z.B. Kontrastverbesserung von Vorder- und Hintergrund, Zurückgreifen auf bekannte Symbole und eine einfache Symbolgestaltung konnten die Erkennungsraten deutlich steigern (um bis zu 56%). Somit deuten Erkennungsraten über 90% darauf hin, dass das Symbol sehr gut den gewünschten Informationsgehalt weitergeben kann. Diese Erkennungsrate wird deshalb in dieser Arbeit als Grenzrate für die anstehende Untersuchung der Erfassbarkeit des Parkstandsuchsymbols verwendet. Raten unter 90% werden deshalb als unzureichend deklariert und damit nicht verwendet. In dieser Arbeit werden unterschiedliche Parksuchsymboliken entworfen, um diese auf intuitive Erfassbarkeit miteinander zu vergleichen. Aufgrund der oben angeführten Metaphern wurden unterschiedliche Symboliken zum Vergleich entwickelt (siehe Abbildung 4.1). Diese Symbole wurden mithilfe einer Intranetumfrage



Abbildung 4.1 : Vorschläge Parksuchsymbole

- realisiert durch eine Access-Datenbank - bewertet. Ziel der Umfrage war es, die mögliche Bedeutung der Symbolik zu erfragen und die eingeschätzte Fahrerreaktion darauf. Dies wurde folgendermaßen umgesetzt: Für jedes einzelne Parksuchsymbol aus Abbildung 4.1 wurde eine eigene Datenbank programmiert. Jeder dieser Datenbanken umfasste ein Parksuchsymbol und vier andere KFZ-Symbole aus dem ISO-Symbolkatalog (siehe Abbildung 4.2). Durch Klicken auf die Reiter „Symbol 1 - 4“ kam immer das Eingabefenster für die Bedeutung der Symbolik und Reaktion darauf. Diese ISO-Symbole hatten mit dem Thema Parken überhaupt nichts zu tun. In

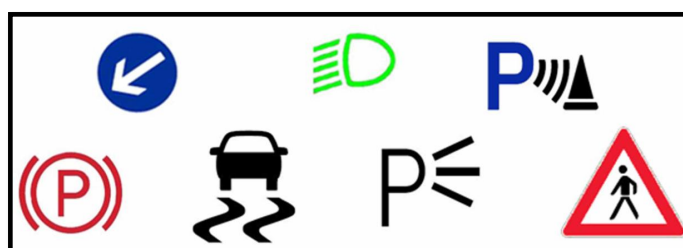


Abbildung 4.2 : Auswahl an ISO-Symbole

der Einführungsbeschreibung zu der Umfrage in jeder Access-Datenbank wurde nie

darauf hingewiesen, dass es um das Thema Parken ging. Dies sollte zur Verwirrung beitragen, sodass nicht jeder sofort realisieren konnte, dass es um Symbole für die Parkstandsuche ging. Somit wurde einfach nach der möglichen Bedeutung und Reaktion auf unterschiedliche Symbole gefragt. Ausgewertet wurde allerdings nur die vom Befragten empfundene Bedeutung der Parksuchsymbole. Nachdem jede Datenbank nacheinander ins Intranet der BMW Group eingestellt wurde, konnten Interessenten an der Umfrage teilnehmen. Als letzte Umfrage wurde die Datenbank



Abbildung 4.3 : Datenbank zur intuitiven Erfassbarkeit und Reaktion auf Symboliken

zur vergleichenden Analyse der unterschiedlichen Parksuchsymbolvorschläge verwendet. Hier wurde genau auf die Parkstandsuchsituation eingegangen und der Befragte darüber informiert. Die Umfrageteilnehmer sollten nun abstimmen, welche der Symbolvorschläge am ehesten der Parksuchsituation entspricht (siehe Abbildung 4.4). Dabei hatten sie die Möglichkeit, die Symbole auf einer Schulnotenskala zu bewerten. Eine Eins bedeutete dabei, dass das Symbol nach Empfinden des Befragten exakt der Parkstandsuchsituation entspricht, während eine Sechs der Situation in keinem Fall entspricht.

Mithilfe der Aufteilung der Datenbanken auf unterschiedliche Fragestellungen, wurde die intuitive Erfassbarkeit und Fahrerreaktionen auf die fünf Symbolvorschläge abgefragt, sowie eine vergleichende Abstimmung zu den Symbolvorschlägen der Parksuchsituation durchgeführt.

An der Umfrage nahmen insgesamt mehr als 1200 Mitarbeiter teil. Das entspricht in etwa 200 Umfrageteilnehmer pro Datenbank (fünf Symboldatenbanken und eine Da-

Microsoft Access - [SymbolUmfrage]

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Datengätze Extras Fenster ? Frage hier eingeben

Bitte machen Sie zunächst ein paar persönliche Angaben:

Alter:

Geschlecht:

Fahren Sie privat einen BMW? ja

Begrüßung Situation/Bewertung

Die Situation:

Sie fahren im dichten Stadtverkehr. Ein Fahrzeug vor Ihnen befindet sich auf Parkplatzzuche und möchte es auch Ihnen auf der Heckscheibe anzeigen, damit Sie entsprechend reagieren können.

Bitte bewerten Sie die Symbole, die Sie am besten finden:
[nach Schulnotensystem (1=sehr gut; 6=nicht gut)]

Symbol1:

Symbol2:

Symbol3:

Symbol4:

Symbol5:

Platz für Kommentar:

Abbildung 4.4 : Datenbank zur Auswahl verschiedener Parksuchsymbolvorschläge

tenbank für die Gegenüberstellung aller fünf Symbole gleichzeitig). Jede dieser Datenbanken wurde nacheinander in das BMW Intranet gestellt, sodass auf jeden Symbolvorschlag die gleiche Anzahl an Teilnehmern kam. Der Aufruf zur Umfrageteilnahme erfolgte über Artikel in den BMW Newsgroups. Nachdem bei einer Datenbank in etwa 200 Mitarbeiter ihre Meinung abgegeben hatten, wurde diese wieder aus dem Intranet entfernt und die nächste Datenbank platziert. Somit konnte nicht ausgeschlossen werden, dass Mitarbeiter mehrere Symbolvorschläge bewerteten. Da aber erst in der letzten Datenbank die symbolvergleichende Befragung stattfand, in der auch erläutert wurde, um welche Verkehrssituation es geht, wurde kein negativer Effekt auf das Ergebnis erwartet. Insgesamt dauerte die Befragung mit allen Access Datenbanken ungefähr eine Woche. Deutlich wird hierbei, wie schnell und mit wie vielen Personen man über das Intranet eine Befragung durchführen kann. Durch die Datenbankprogrammierung ist eine Auswertung sehr schnell durchgeführt und statistisch analysiert.

Ergebnisse Umfrage

Bei der Frage nach der Bedeutung der Parksymbolvorschläge wurden alle Aussagen als richtig gewertet, die unter folgenden Kontext gefallen sind: "Der Fahrer ist auf Parkplatzzuche", „Einparkvorgang“ oder „Achtung Parkvorgang wird eingeleitet“.

Für die einzuleitende Reaktion auf dieses Symbol wurde alles als richtig gewertet, was dem Kontext „Erhöhte Aufmerksamkeit bzw. besondere Vorsicht/Rücksicht“, „Bremsbereitschaft“, „Reduzierung der Eigengeschwindigkeit“ oder „Vergrößerung des Sicherheitsabstands, ggf. Überholen“ entsprach. Dies sind genau die Reaktionen, die das Symbol beim rückwärtigen Verkehr erzeugen soll, damit die Parklücke nicht verdeckt bzw. die Auffahrtfahrt reduziert wird. In Abbildung 4.5 sind die korrekten

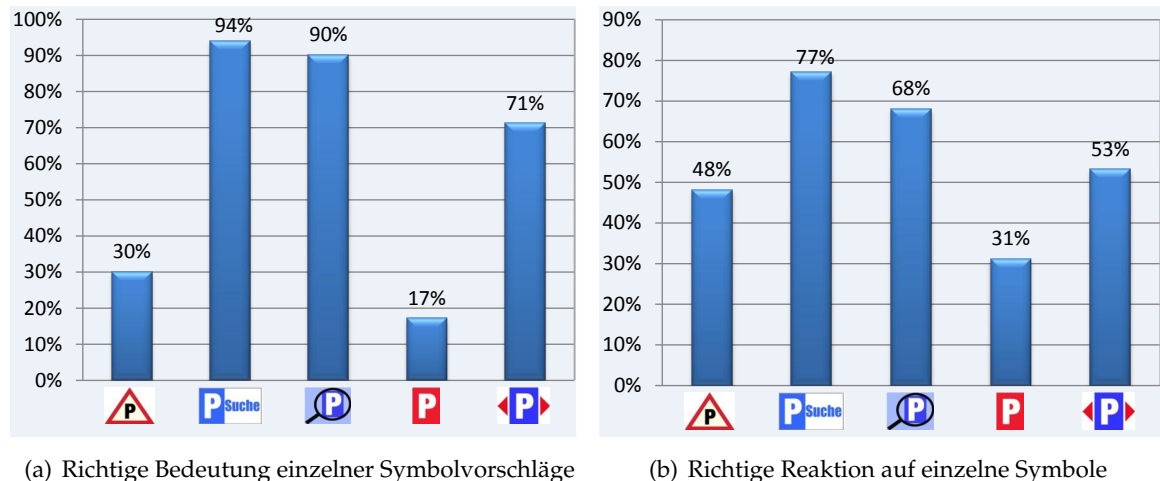


Abbildung 4.5 : Ergebnisse Befragung Parkstandsuchsymbolik

Antworten auf Symbolbedeutung und Reaktion dargestellt. Wie weiter oben schon beschrieben, können über 90% richtig erkannte Symbolbedeutungen als gut erfassbare Symbole gewertet werden. Zwei Symbolvorschläge für das Parkstandsuchen erzielten sogar über 90%: Das Symbol P-Suche und das P-Symbol mit Lupe. Alle anderen Symbole erkannten weit weniger als 90% der Befragten korrekt. Deshalb ist eine intuitive Erfassbarkeit der anderen Symbole nicht gegeben. Die Reaktion auf Symbolik zwei und drei war ebenfalls mit etwa 70% sehr hoch. Somit würden die meisten Fahrer korrekt auf diese beiden Symbolvorschläge reagieren.

Das Ergebnis der letzten Umfrage, welche Symbolik am besten der Situation der Parkstandsuche entspricht, ist ebenfalls recht eindeutig. Symbolik 1 aus Abbildung 4.1 erzielte dabei auf der Schulnotenskala im Mittel 3,93, das zweite Symbol einen Notendurchschnitt von 2,64. Die anderen Symbole folgen mit 2,91 bzw. 4,77 und 3,78. Dabei schnitten alle anderen Symbole signifikant schlechter ab, als Symbol zwei und drei. Alle Notendurchschnittswerte der einzelnen Symbole werden mit einer ANOVA ($F = 98,66; p < 0,00$) getestet und mit einem anschließenden Post-hoc Vergleich mit Bonferroni-Korrektur analysiert. Hierbei treten keine Unterschiede in der Bewertung von Symbolik zwei und drei auf ($p = 0,27$). Somit kann keine eindeutige Aussage mit statistischen Mitteln getroffen werden, ob nun Symbolik zwei oder drei zu bevorzugen ist.

Konzeptionell wird in dieser Arbeit jedoch das P-Symbol mit Lupe (Symbolik 3) weiterverwendet, da Symbolik 2 (P-Suche) Text beinhaltet, wodurch für jedes Land eine eigene Übersetzung notwendig wäre. Zwar können Text-Hinweise in der Regel

langsamer aufgefasst werden, jedoch wird die Bedeutung nicht so oft missverstanden als bei einer Symbolik. Allerdings ist die intuitive Erfassbarkeit der P-Suchsymbolik mit Lupe ebenfalls sehr gut. Aus diesem Grund wird Symbolik drei in dieser Arbeit weiterverfolgt.

Jetzt fehlt nur noch eine Bestätigung, dass sich die dritte Symbolik auch in der Realität bewährt. Deshalb wird im nächsten Teilabschnitt ein Realversuch durchgeführt, der diese Bestätigung liefern soll.

Vorher werden aber noch ein paar Realisierungsmöglichkeiten dieses Assistenzsystems aufgezeigt. Eine solche Symbolik könnte beispielsweise mit halbtransparenten organischen Licht emittierenden Dioden (OLED), realisiert werden. Diese OLEDs haben eine hohe Leuchtstärke, auch wenn sie derzeit noch nicht ausreichend ist für einen automotiven Einsatz unter den im Freien üblichen Lichtverhältnissen und die Displays derzeit noch sehr teuer sind. Ferner lassen sich die Displays auch biegen, weshalb sie sehr gut an die Heckscheibe eines Fahrzeugs angebracht werden können. Wie weiß jedoch das System, dass ein Parkstand gesucht wird? Einfach zu realisieren wäre eine Aktivierung der Anzeige über ein Bedienelement (z.B. Taster). Oder aber beim Erreichen eines vorher im Navigationssystem eingegebenen Fahrziels wird dem Fahrer eine Auswahlmöglichkeit angeboten, ob er einen geeigneten Parkstand suchen will. Wenn der Fahrer dies bestätigt, wird das Parksuchsymbol auf dem Display in der Heckscheibe angezeigt.

Realversuch zum ausgewählten Symbolvorschlag

In dem nun folgenden Realversuch wird der Parkstandsuchsymbolvorschlag objektiv und subjektiv bewertet. Eine wichtige Fragestellung ist außerdem noch, ob sich die Beanspruchung beim Parkstandsuchen mit Symbol im Vergleich zu keiner Assistenz verändert. Um die Beanspruchung noch besser einzuschätzen, wird zudem der TLX-Test auch auf andere Verkehrssituationen wie Autobahn, Landstraße und Stadtring angewendet. Damit kann die Beanspruchung während der Parkstandsuche mit und ohne Suchsymbolik sowie die normale Stadtfahrt mit den anderen Situationen verglichen und zusätzlich der Bedarf an Assistenz weiter ausgeführt werden.

Für die Untersuchung wurde ebenfalls wie bei der Studie zur Parkstandsuche im Kapitel 3.2 ein BMW E61 verwendet, um die Versuchsbedingungen so konstant wie möglich zu halten. Es wurden wieder die gleichen Versuchspersonen eingeladen, damit das Fahrverhalten während der Suche ebenfalls einigermaßen konstant bleibt. Leider standen nicht mehr alle Personen für die Untersuchung der Parksuchsymbolik zur Verfügung. Aus diesem Grund wurde in der Auswertung auch eine Varianzanalyse mit unabhängigen Stichproben herangezogen.

Im BMW E61 wurde ein vorher auf Papier gedrucktes Parksuchschild, das wiederum auf einen stabilen Karton geklebt wurde, montiert. Das Symbol wurde nach der vorher schon ermittelten ergonomischen Mindestgröße realisiert und an der Heckscheibe des BMW angebracht. Am unteren Ende des Schildes wurde ein Scharnier befestigt, damit das Symbol hochgeklappt werden konnte. Damit das Parksuchschild beim Hochklap-

pen nicht herunterfallen konnte, wurden am oberen Ende Magnete zur Verbindung von Schild und Heckscheibe angeklebt. Ferner diente ein am Schild angebrachter Stock dazu, dass der Versuchsleiter von der Beifahrerposition aus das Schild damit hoch- und runterklappen konnte. Der Stock diente somit als Verlängerung und war auf Höhe der rechten Schulter des Beifahrers positioniert, damit die Klappbewegung vom Fahrer nicht direkt gesehen werden konnte. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand wiederum darin, nach Aufforderung des Versuchsleiters einen geeigneten Parkstand zu finden (unter Berücksichtigung der StVO) und einzuparken (s. Kapitel 3.2). Hierbei wurde die gleiche Versuchsstrecke verwendet, wie beim Versuch der Ist-Analyse zur Parkstandsuche, damit die Versuchsbedingungen konstant und vergleichbar sind. Zusätzlich musste der Proband im Anschluss an die Parkstandsuche für die Ermittlung der Beanspruchung unterschiedlicher Verkehrssituationen noch jeweils ca. 10km auf der Autobahn, Landstraße und Stadtring innerhalb und außerhalb Münchens fahren. Den Versuchspersonen wurde nicht erklärt, dass es bei der Studie um die Untersuchung einer Parksuchsymbolik ging. Dies lag darin begründet, dass die Probanden ihren Fahrstil nicht wegen dieser Information verändern, sondern sich ganz natürlich und wie gewohnt verhalten sollten. Nachdem der Versuchsleiter die Probanden aufgefordert hatte einen Parkstand zu suchen und einzuparken, klappte der Versuchsleiter jedes Mal das Parkschild hoch. Während der Versuchsfahrten haben nur zwei von insgesamt 30 Versuchspersonen diese Aktion bemerkt. Allein diese Tatsache zeigt, wie sehr ein Fahrer mit der Parkplatzsuche beschäftigt ist. Somit kann angenommen werden, dass das Hoch- und Runterklappen keinen Einfluss auf das Fahrverhalten der Fahrzeugführer hatte.

Der Versuchsträger wurde wie bei der Ist-Analyse mit verschiedenen Kameras ausgestattet. Eine Blickerfassung wurde allerdings nicht mehr durchgeführt, da es aufgrund der Fragestellung keine Verwendung dafür gab. Die rückwärtige Kamera wurde ebenfalls kalibriert und vorher die Pixelkoordinaten verschiedener Entfernungen vom Heck des BMW E61 zu eventuellen Objekten metergenau notiert. Diese Informationen sind für die Auswertung deshalb wichtig, damit die nun auftretende Gefährlichkeit (berechnet nach Kopf [42]) der Parkstandsuche mit Hinweissymbol ermittelt werden konnte. Anschließend wurden die minimal aufgetretenen Zeitreserven mit und ohne Hinweissymbol statistisch analysiert. Für die Auswertung wurden nur die Szenen bei jedem Probanden verwendet, in denen auch ein rückwärtiges Fahrzeug vorkam.

Der Versuch dauerte ca. zwei Wochen und fand im Juni 2006 statt.

Ergebnisse Realversuch

Zuerst wird wieder auf die Ergebnisse der objektiven Daten eingegangen und diese interpretiert. Da die Ist-Analyse der Parkstandsuche gezeigt hatte, dass die Fahrer nicht rechtzeitig bei einem gefundenen Parkstand blinken und dies in einigen Fällen zu kritischen Situationen führte, soll zuerst auf die Kritikalität der Parkstandsuche mit der Parkstandsuchwarnung für den rückwärtigen Verkehr eingegangen werden. Beim Vergleich der Gefährlichkeit der Parkstandsuche mit und ohne Assistenzsystem zeigt

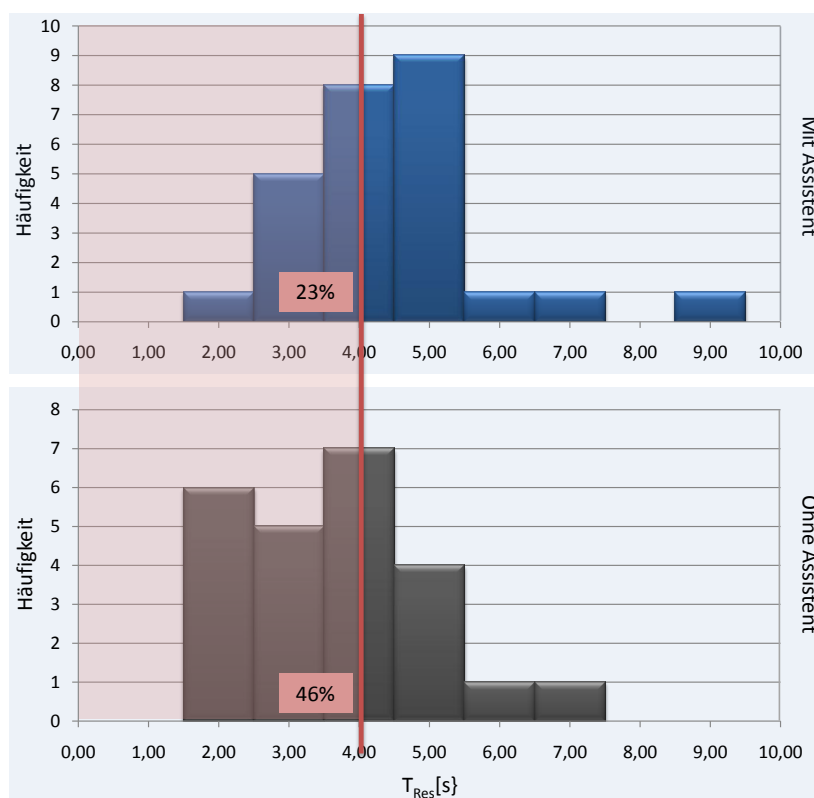


Abbildung 4.6 : Gefährlichkeit der Parkstandsuche mit und ohne Hinweis für rückwärtigen Verkehr

sich mithilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben (bei den beiden Untersuchungen haben ja nicht immer die gleichen Versuchspersonen teilgenommen) der Zeitreserven ein signifikanter Unterschied ($T = 1,70$; $p = 0,04$). Demnach ist die Gefährlichkeit der Parkstandsuche für den rückwärtigen Verkehr mit Assistenzsystem im Mittel um 10% zurückgegangen und das schon im Erstkontakt, obwohl die rückwärtigen Fahrzeugführer noch nie zuvor das Warnsymbol gesehen hatten. Wichtig ist hierbei auch, dass mit dem Assistenzsystem nur noch 23% gegenüber 46% ohne Assistenzsystem eine Vorwarnung bekommen hätten, wenn die rückwärtigen Fahrzeuge mit einer Kollisionswarnung ausgestattet wären. Natürlich unter der Annahme der Parametrierung für solch eine Warnung nach Doisl [14], nachdem eine Vorwarnung bei einer Unterschreitung der Zeitreserve von $T_{Res} < 4,0s$ ausgegeben werden sollte. Grafisch verdeutlicht dies Abbildung 4.6. Somit ist die Gefährlichkeit durch die Nutzung des Parksuchhinweisschildes für den nachfolgenden Verkehr zurückgegangen, was für die Warnung spricht.

Als Nächstes wird der Abstand zwischen dem Parkstandsuchenden und dem rückwärtigen Fahrzeug nach dem Stillstand der beiden Autos untersucht. Die Auswertung dieser Größe erfolgte ähnlich wie bei der Bestimmung der Zeitreserve über die Kameras im Versuchsfahrzeug. Der Abstand ist deshalb wichtig für den Parkenden weil, wie sich in der Ist-Analyse gezeigt hat, der rückwärtige Verkehr normalerweise so dicht auf den Parkenden auffährt, dass dieser nicht mehr in der

Lage ist, in die Parklücke zurückzusetzen, bis der nachfolgende Verkehr an ihm vorbeifahren kann. Da fast alle Parkstandsuchenden erst kurz nach dem vorderen

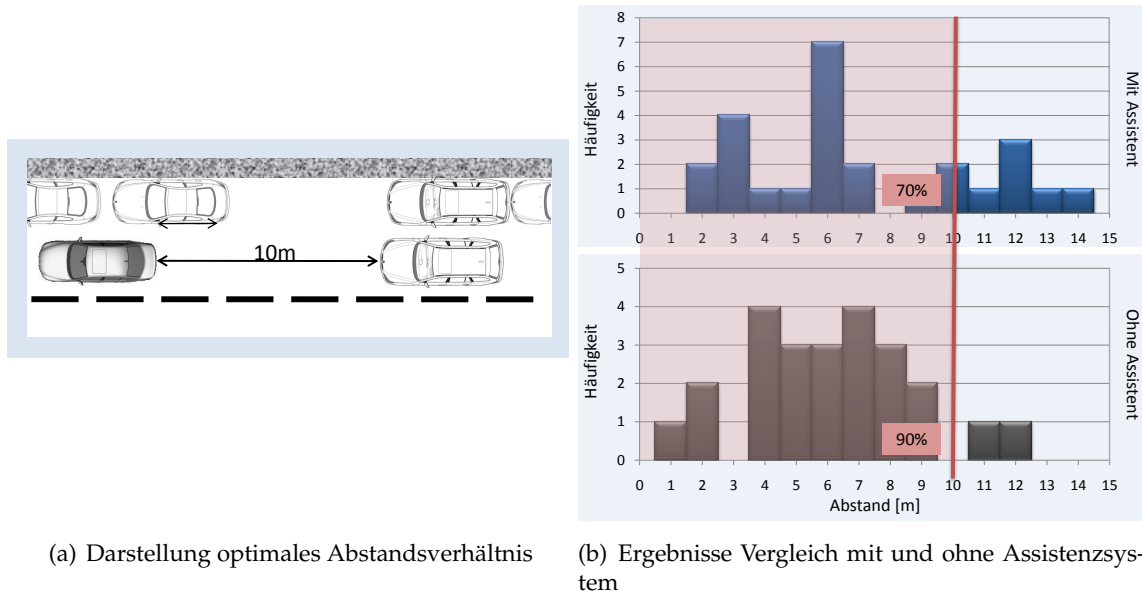


Abbildung 4.7 : Ergebnisse Stillstandsabstand von Parkstandsuchendem und Folgendem

Fahrzeug der Parklücke zum Stehen kommen, sollte der Nachfolgende nicht über das hintere parklückenbegrenzende Fahrzeug hinausfahren. So wäre dann gewährleistet, dass der Parkende problemlos in die Lücke kommt. In Abbildung 4.7 ist noch mal genau diese Situation dargestellt, ebenso wie die Ergebnisse mit und ohne dem Warnsystem für die Parkstandsuche. Deutlich wird, dass mit dem Assistenzsystem der komfortable Abstand für den Parkenden 20% häufiger eingehalten wird also ohne das System. Dadurch kann die Länge einer Aufstauung des Verkehrs hinter einem Einparkenden reduziert werden, weil dieser schneller in die Parklücke hineinfahren und der rückwärtige Verkehr besser den Parkenden überholen kann.

Ein weiterer wichtiger Punkt wäre aber noch die Reduzierung der Beanspruchung des Fahrers beim Parkstandsuchen. Bei der ergonomischen Ist-Analyse der Parkstandsuche hat sich gezeigt, dass das Suchen nach einer Parklücke sehr schwierig ist, vor allem der Zeitdruck spielt dabei eine entscheidende Rolle. Um die Parkstandsuche mit und ohne Fahrerassistenzsystem mit anderen Verkehrssituationen besser vergleichen zu können, wurde deshalb die Beanspruchung auch bei Fahrten auf der Landstraße, Autobahn und Stadtring bei mittlerem Verkehrsaufkommen abgefragt. Das Ergebnis ist in Abbildung 4.8 dargestellt. Da die Untersuchung der Parkstandsuche ohne Assistenzsystem zu einem früheren Zeitpunkt mit einem etwas anderen Versuchspersonenkollektiv erfolgte, war es notwendig, eine gemischte statistische Auswertung durchzuführen. Deshalb wird für die Parkstandsuche ohne Assistenz zum Vergleich mit den anderen Situationen eine Varianzanalyse bei unabhängigen Stichproben durchgeführt. Alle anderen Situationen werden mit einer Varianzanalyse bei abhängigen Stichproben auf Signifikanz überprüft. In der Grafik werden alle Situationen,

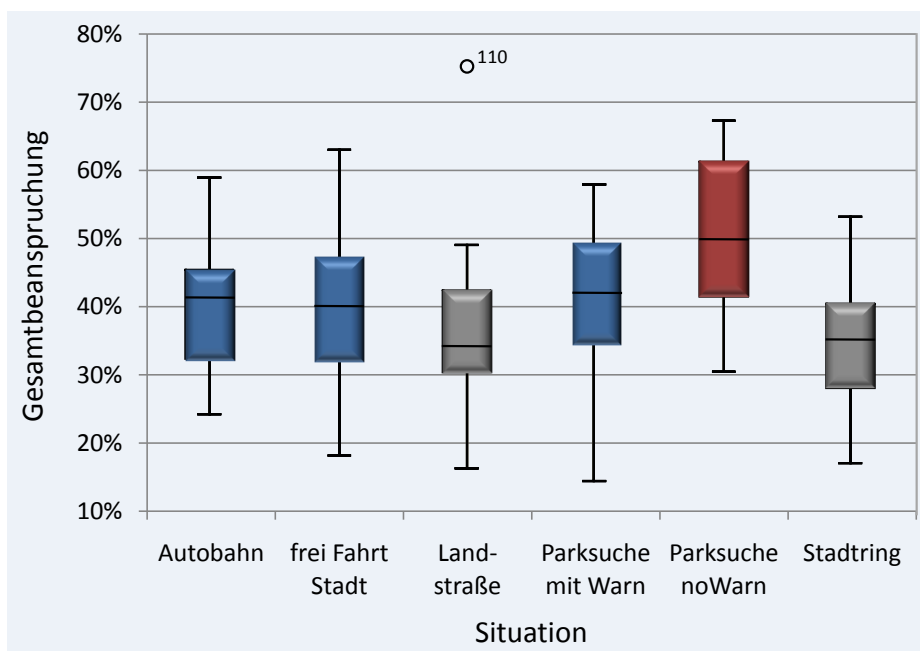


Abbildung 4.8 : Beanspruchung des Fahrers in unterschiedlichen Verkehrsszenarien

bei denen kein signifikanter Unterschied auftritt, farblich zusammengefasst. Alle Situationen mit unterschiedlichen Farben unterscheiden sich signifikant. Somit ergibt sich folgender Zusammenhang für die Gesamtbeanspruchung B der einzelnen Situationen: $(B_{Land} = B_{Stadtring}) < (B_{Autobahn} = B_{Stadt} = B_{P-SucheWarn}) < B_{P-SucheNoWarn}$. Demzufolge treten die geringsten Beanspruchungen bei der Fahrt auf der Landstraße und auf dem mittleren Ring in München auf. Fahrten auf der Autobahn und innerhalb der Stadt sind dann schon um ca. 15% beanspruchender, während sich die Parkstandsuche in der Stadt um nochmal 25% am beanspruchendsten darstellt. Allerdings hat sich auch gezeigt, dass durch das Parkstandsuchwarnsystem die Beanspruchung auf das Niveau der normalen Stadtfahrt gesenkt wird. Das liegt darin begründet, dass der Zeitdruck für die Parkenden reduziert wird, weil der rückwärtige Verkehr entweder mehr Platz lässt oder in vielen Situationen einen Überholvorgang viel früher einleiten kann, wenn kein Gegenverkehr auftritt.

Zusammengefasst ist das Warnsystem für den rückwärtigen Verkehr auf Parkstandsuchende bzw. Einparkende ein hilfreiches Assistenzsystem, um die Beanspruchung des Fahrers während der Parklückensuche zu verringern, den Diskomfort zu minimieren, den Verkehrsfluss zu erhöhen und schließlich die Gefährlichkeit dieser Situation zu vermindern. Aus diesem Grund wird dieses System in die Konzeption für ein ganzheitliches Parkassistenzsystem mit aufgenommen.

4.2 Sichterweiterungsassistent

In diesem Abschnitt werden Assistenzsysteme auf Basis von gewonnenen Umfelddaten über Videokameras vorgestellt. Diese Systeme werden mittlerweile schon eingesetzt und sollen in dieser Arbeit ergonomisch verbessert werden. Beispiele für heutige videobasierte Parkassistenzsysteme, die die Sicht des Fahrers erweitern sollen, sind die Rückfahrkamera oder Rundumsicht. Im nächsten Konzeptabschnitt wird dann auf mögliche zukünftige Systeme eingegangen und diese im Gegensatz zu den bildgebenden Assistenten nicht im Realfahrzeug sondern in einem Fahrsimulator implementiert. Zunächst werden wichtige Aspekte aufgezeigt, die bei der Konzeption von Fahrerassistenzsystemen eine fundamentale Bedeutung haben, um anschließend auf die Entwicklung neuer Konzepte für Parkassistenzsysteme einzugehen. So sollte ein ergonomisch gestaltetes Fahrerassistenzsystem primär dem inneren Modell des Menschen entsprechen. Der Mensch nutzt bei der Führung eines Fahrzeuges unterschiedlichste Modelle als abstrahierte und vereinfachte Abbilder von komplexen Zusammenhängen aus der Realität. Nach Stachowiak [79] wird hierbei jedes Modell im Hinblick auf einen Verwendungszweck - in diesem Fall die Fahrzeugführung - geschaffen. Beispielsweise ist es zur Führung des Fahrzeugs nicht relevant, dass der Fahrer weiß, wie ein Getriebe funktioniert. Es reicht aus, wenn er ein Modell von der Wirkungsweise der Gangschaltung hat, worauf er schließen kann, dass verschiedene Gänge unterschiedliche Endgeschwindigkeiten und Kraftübersetzungen zwischen Motor und Antriebsrädern zur Folge haben. Die Vereinfachung mithilfe eines Modells schafft also Effizienz. Damit der Mensch eine Anzeige intuitiv erfassen kann, ist es wichtig zu ermitteln, was für Modelle der Mensch bzw. in diesem Fall der Fahrer von seinem Fahrzeug in verschiedenen Verkehrssituationen und von der Funktionsweise eines Assistenzsystems, das ihn unterstützen soll, hat. Bei Einparkvorgängen kennt der Fahrer in der Regel nicht seinen exakten Lenkradwinkel und die genauen Abstände zu Parkflächenbegrenzungen, sondern er orientiert sich an seinem inneren Modell, das auf seine Erfahrungen in der jeweiligen Situation beruht. Sein Modell sagt ihm, wann er das Lenkrad in welche Stellung bringen muss und welches Hilfsmittel er sich bedienen kann, um sein Fahrzeug nach seiner Erfahrung und zu seiner Zufriedenheit einzuparken. Mögliche Hilfsmittel und Orientierungspunkte sind hierbei das Heck des vorderen Fahrzeugs, Spiegel oder die Bordsteinkante. Daraus wird ersichtlich, dass ein Modell einerseits von der Erfahrung des Fahrers im Umgang mit seinem Fahrzeug abhängt, andererseits aber auch durch die Ansprüche des Fahrers an seine eigenen Fahrleistungen beeinflusst wird. Damit ein Fahrer höhere Fahrleistungen erzielt, muss er praktisch nach der Parkleistungsformel schneller und qualitativ besser einparken. Je genauer und besser ein inneres Modell ist, desto höhere Fahrleistungen können erreicht werden. Als Beispiel dient das innere Modell eines Rennfahrers, das sich von einem Gelegenheitsfahrer stark unterscheidet. Der Rennfahrer ist so trainiert, dass er sein Fahrzeug ständig im physikalischen Grenzbereich bewegen kann. Ein normaler Fahrer wäre dazu nicht in der Lage. Somit kann gefolgert werden, dass je eher die Funktionsweise eines Assistenzsystems den vorhandenen inneren Modellen des Menschen entspricht, desto schneller kommt ein Fahrer mit einem neuen System zu Recht, und desto besser

unterstützt ihn das System in kritischen Situationen, in denen der Fahrer intuitiv reagieren muss. Auch im Erstkontakt mit einem neuen Fahrerassistenzsystem muss der Fahrzeugführer seine inneren Modelle darauf adaptieren. Wenn er sich sehr schnell an ein neues System anpassen kann und es für ihn verständlich ist, wird es für ihn auch akzeptabel sein.

Ein weiterer und essenziell zu beachtender Punkt bei der Konzeption von Assistenzsystemen ist die intuitive Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. So muss mitunter auch die Informationsanzeige dem inneren Modell des Menschen entsprechen. Dabei sollte auf bekannte Metaphern bei der Informationsgestaltung zurückgegriffen werden, denn diese müssen nicht erst neu erlernt werden. Außerdem spielt die Anzeigenorientierung eine wesentliche Rolle. Empfehlenswert ist eine Ausrichtung, die mit dem inneren Modell des Menschen übereinstimmt. Als ein Beispiel kann das System Rundumsicht dienen. Dieses zeigt kamerabasiert das unmittelbare Umfeld des Fahrzeuges als Draufsicht an (siehe Abbildung 4.9). Dies geschieht mithilfe von vier

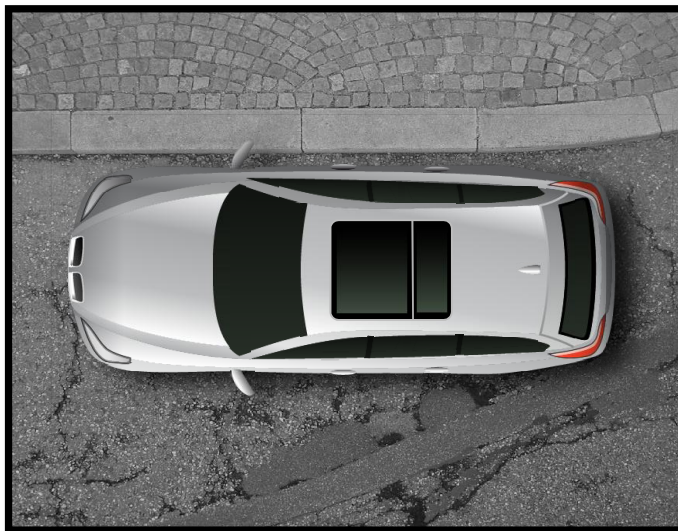


Abbildung 4.9 : Parkassistentenz Rundumsicht (kamerabasiert)

Weitwinkelkameras, die an der Fahrzeugfront, -heck und den beiden Außenspiegeln angebracht sind. Ein Algorithmus rechnet die vier Videoströme in einen Einzigen um und zeigt diesen als Draufsicht momentan in einem Informationsdisplay in der Mittelkonsole des Fahrzeugs an. In den meisten heutigen Fahrzeugen ist jedoch das Informationsdisplay bauraumbedingt im Querformat verbaut. Dieses entspricht aber nicht dem inneren Modell des Fahrers über die Fahrtrichtung und Orientierung, womit eine Kompensation durch den Fahrer erfolgen muss. Diese These konnte durch einen Versuch anhand der Parkdistanzkontrolle verifiziert werden. Dieser Versuch wird nun kurz erläutert:

Der Versuch fand in einem abgetrennten und gleichmäßig ausgeleuchteten Büroraum an einem PC statt. Der Bildschirmarbeitsplatz war für jeden Versuchsteilnehmer identisch aufgebaut und zu benutzen. Beim Aufbau des Bildschirmarbeitsplatzes waren folgende Bedingungen für jede Versuchsperson möglichst gleichmäßig zu gestalten,

damit für alle die gleichen Voraussetzungen galten: Die Helligkeit der Umgebung, die Bildschirmeinstellungen (Helligkeit, Kontrast, Farbe), die Bildschirmeigenschaften (Größe, Auflösung), Umwelteinflüsse wie z.B. die Geräuschkulisse, Eigenschaften der Eingabegeräte sowie schließlich die Sitz- und Geräteposition. Für den Versuch wurde ein 14" LCD-Bildschirm mit einer Auflösung von 1024 x 768 Bildpunkten sowie einer Standardtastatur mit 101 Tasten zur Bedienung des Systems und ein Ziffernblock mit 10 Zifferntasten als Bedienelement der Probanden, bei dem die Ziffern von 1 bis 9 in Dreiergruppen übereinander angeordnet sind, verwendet. Die Versuchspersonen sollten sich bei der Untersuchung mental darauf einstellen, dass sie sich in einem Fahrzeug befinden, das einzuparken ist. Dazu stand der Versuchsperson das System Parkdistanzkontrolle (PDC), angezeigt auf dem Bildschirm, zur Verfügung. Die Anzeige der Parkdistanzkontrolle (PDC) wurde dabei detailgetreu nachempfunden. Allerdings gab es eine wichtige Einschränkung. Die Displaygröße des Hoch- bzw. Querformats blieb gleich. Damit sollte nicht nur die Orientierung sondern auch der Einfluss der Größe des Symbolkomplexes auf Reaktionszeit, Fehlerrate und Akzeptanz untersucht werden, denn das Fahrzeugsymbol mit den PDC-Bereichen ist dadurch im Querformat größer als im Hochformat und zwar um den Faktor 1,8. Mithilfe der Versuchssoftware wurden insgesamt 96 Bilder, die bei der Parkdistanzkontrolle im Falle eines erfassten Hindernisses farblich markiert wurden, in acht möglichen Varianten zufallsbasiert angezeigt (siehe Abb. 4.10). Hierbei wurde sowohl die Orientierung (Hoch- oder Querformat) des symbolisierten Fahrzeugs als auch alle vier verschiedenen Markierungsmöglichkeiten der PDC-Flächen gleichzeitig variiert. Es wurde analog zur aktuellen

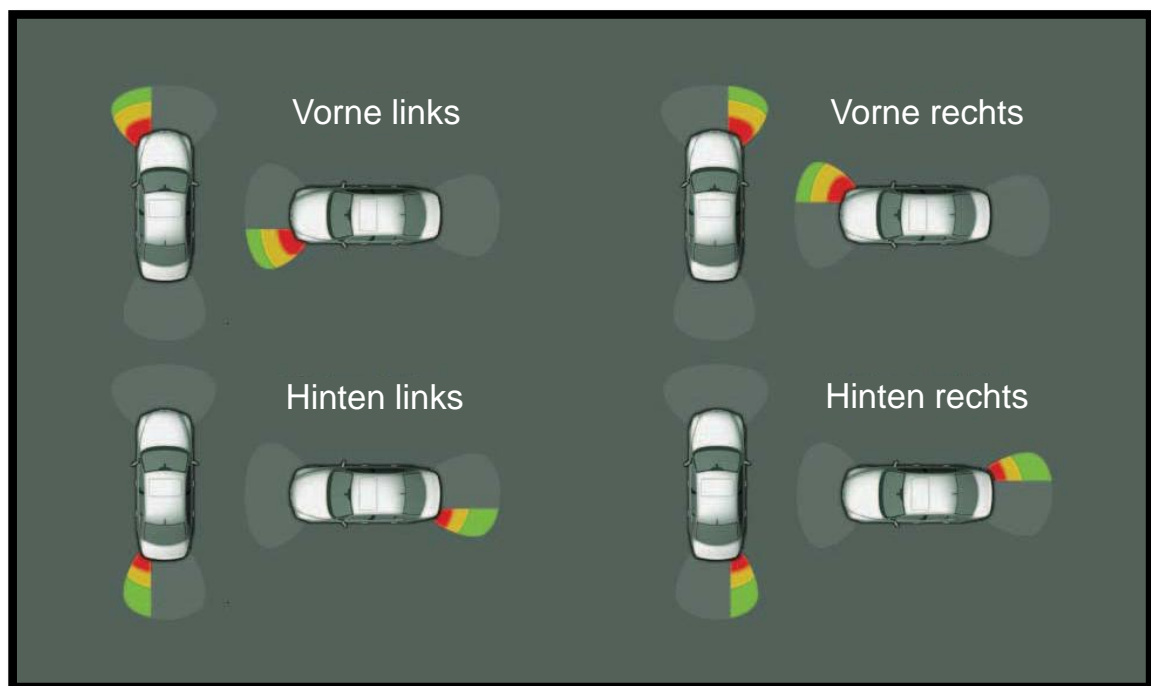


Abbildung 4.10 : Anzeigevarianten PDC-Versuch zur Orientierung von Anzeigen im KFZ

Implementierung der Parkdistanzkontrolle (PDC) immer nur ein Fahrzeug in einer der acht möglichen Varianten auf dem Bildschirm angezeigt. Der Eindeutigkeit halber wurden die vier farblichen Markierungen auf die Ecken des PDC-Erfassungsbereichs beschränkt. Die Versuchsperson sollte auf die in Orientierung und farblicher Markierung des Erfassungsbereichs wechselnde Anzeige reagieren, indem sie, abhängig von der Position der jeweiligen farblichen Markierung, auf einer Blocktastatur eine entsprechende Taste drückt. Die Lage der Blocktastatur war für alle acht Varianten fest vorgegeben und entsprach in Orientierung und Tastenlayout den PDC-Flächen bzw. Fahrzeugecken in Hochkantformat, analog der Fahrtrichtung des Fahrzeuges und damit der Sichtweise des Fahrers, unabhängig von der Orientierung der Anzeige am Bildschirm (siehe Abb. 4.11). Im realen Fahrzeug ist das Bedienelement (Lenkrad) auch

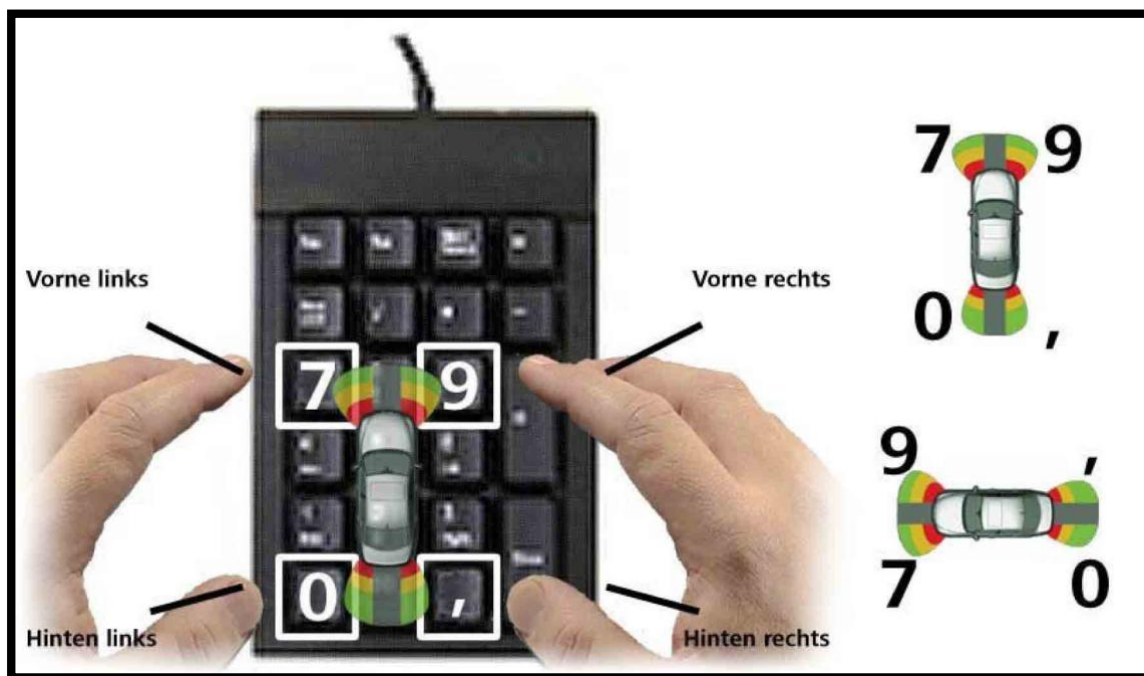


Abbildung 4.11 : Bedienung der Blocktastatur

immer gleich angebracht, das Lenken nach links lässt die Räder immer nach links einschlagen, gleichgültig wie eine Anzeige im Auto orientiert ist. Es war den Versuchspersonen nicht erlaubt, die Tastatur entsprechend der Anzeige ins Quer- oder Hochformat zu drehen. Wechselte in der Anzeige die Orientierung beispielsweise ins Querformat, so musste die Versuchsperson dies bei ihrer Eingabe berücksichtigen und die Darstellung mental ins Hochformat - analog zur Tastatur - umsetzen. Aufgezeichnet wurde die bei jedem angezeigten Bild benötigte Reaktionszeit und Richtigkeit der Eingabe. Die Probanden wurden angehalten, so schnell wie möglich auf die Bildschirmanzeige richtig zu reagieren. Bei der Studie nahmen insgesamt 30 Versuchspersonen teil, der Frauenanteil lag bei 27%, das Durchschnittsalter lag bei 36,6 Jahren.

Bei der Auswertung hat sich mithilfe des t-Tests für abhängige Stichproben ein signi-

fikanter Unterschied ($T = 9,34; p < 0,00$) in den Reaktionszeiten zwischen der Darstellung hochkant und quer gezeigt. Die mittleren Reaktionszeiten lagen demnach bei $t_{Reak,quer} = 907ms$ und $t_{Reak,hoch} = 643ms$. Damit benötigten die Probanden beinahe 30% mehr Zeit, bis sie das Querformat entsprechend umgerechnet hatten. Auch bei der Fehlerquote gab es einen bedeutenden Unterschied, sie ist im Durchschnitt beim Querformat um 29-mal höher als beim Hochformat. Dies unterstützt die These, dass Anzeigen, die nicht dem inneren Modell des Fahrers entsprechen, eine höhere kognitive Verarbeitungszeit erfordern und zu mehr Fehlern führen. In der Realität kann es dann geschehen, dass wichtige Informationen nicht rechtzeitig oder nicht richtig verarbeitet werden, was schließlich zu einem höheren Kollisionsrisiko führt. Beim subjektiven Vergleich, also bei der Frage, welche Variante (Hoch- oder Querformat) die Probanden bevorzugen würden, stimmten 84,6% für das Hochformat. Außerdem können noch folgende Kernaussagen in Form von Bemerkungen zum Hoch- und Querformat festgehalten werden.

- **Hochformat:**

1. Gute Analogie zur Realität gegenüber der Darstellung im Querformat (Fahrer sitzt nicht quer im Fahrzeug).
2. Höhere Intuitivität bei Hochformat.

- **Querformat:**

1. Die formatfüllende Darstellung vermittelt durch ihre Größe mehr Sicherheit, Details lassen sich besser erkennen.
2. Für Brillenträger ist die größere Darstellung leichter abzulesen.

Anschließend wurden die beiden Varianten noch in einem Realversuch überprüft. Hierbei wurde statt der Parkdistanzkontrolle das Parkassistenzsystem Rundumsicht (siehe Abbildung 4.9) verwendet, die einen noch höheren Informationsgehalt aufweist. Folglich wurden verschiedene Parkvorgänge mit der Rundumsichtanzeige im Hoch- und Querformat durchgeführt. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die Querformatanzeige von fast der Hälfte der Probanden bevorzugt wurde (im Vergleich zum Präsentationsversuch nur 15,4%). Die Hochformatanzeige ist demnach zwar ergonomisch sinnvoller, jedoch spielt die Anzeigengröße eine ebenso wichtige Rolle, vor allem wenn der Detaillierungsgrad der Information wie bei der Rundumsicht sehr hoch ist. Infolgedessen können zwei wichtige ergonomische Empfehlungen für Anzeigekomplexe im PKW aufgestellt werden:

1. Symbolkomplexe sollten immer am inneren Modell des Menschen ausgerichtet werden.
2. Symbolkomplexe sollten im Fahrzeug eine Mindestdiagonale von $d \geq 0,1 \cdot Leseentfernung$ aufweisen.

Somit konnte gezeigt werden, mit welchen einfachen Mitteln und Methoden unterschiedliche Anzeigarten im Fahrzeug mittels eines Präsentationsversuches und eines ergebnisverifizierenden Realversuchs evaluiert werden können.

Aufgrund der Ergebnisse wird für alle weiteren Parkassistentenzkonzeptionen, deren Anzeige das Fahrzeug bzw. die Fahrzeugumgebung darstellt, das Hochformat mit der Mindestdiagonale verwendet. Dies stimmt mit dem inneren Modell des Menschen überein, wobei die Fahrtrichtung des Fahrzeugs der angezeigten Richtung im Display und einer akzeptablen Größe entspricht. Durch diese Analogie sind auch die visuell angezeigten Informationen vom Fahrer intuitiver erfassbar. Neben der Beachtung der Darstellungsart gibt es noch etliche Aspekte, die bei der komplexen Konzipierung von Fahrerassistenzsystemen zu beachten sind. Im Rahmen dieser Arbeit können leider nicht alle eingehend behandelt werden, sodass nur auf die Aspekte, die für die Konzeption in dieser Arbeit wichtig scheinen, eingegangen wird.

Nun aber zu den derzeit verfügbaren sichterweiternden Parkassistentenzsystemen Parkdistanzkontrolle und Rundumsicht. Diese Systeme weisen trotz der vielen Vorteile auch einige Schwächen auf (siehe 2.4). Eine Schwachstelle bei der Parkdistanzkontrolle ist, dass zwar das System Gefahrenzonen selbstständig interpretiert, aber der Fahrer sich durch Umschauen vergewissern muss, inwieweit das angezeigte Objekt sicherheitsrelevant ist oder nicht. Dieses Defizit kann das System Rundumsicht in einem sehr erfolgreichen Maß durch die kamerabasierte Darstellung der Umgebung von oben ausgleichen, sodass der Fahrer immer ein gesamtes Bild des Fahrzeugumfelds zur Verfügung stehen hat. Obgleich dies einen großen Vorteil der Rundumsicht darstellt, hat das System seine Schwäche in der Abstandseinschätzung seitens des Fahrers. So ist es recht mühsam nur anhand der reinen, meist leicht verzerrten Kameradarstellung relevante und beim Parkvorgang notwendige Abstände einzuschätzen. Die Neukonzipierungen in dieser Arbeit greifen einige dieser Schwächen und Stärken beider Systeme der Parkdistanzkontrolle und der Rundumsicht auf, mit der fundamentalen Zielsetzung, die Beanspruchung des Fahrers während des Parkvorgangs und den Diskomfort zu minimieren. Als Basissystem wird hierbei die Rundumsicht herangezogen, auf die primär alle Konzepte der sichterweiterten Parkassistentenzsysteme aufbauen. Grundsätzlich wurden alle vorgestellten Konzepte als Hochkantdarstellung in einem gesonderten 12" Display angezeigt, das im Fahrzeug vor das übliche Informationsdisplay in der Mittelkonsole montiert wurde. Dies hat zum einen den Vorteil einer möglichst großen und detailreichen Darstellung, auf der anderen Seite entspricht diese Hochkantdarstellung dem inneren Modell des Menschen.

Durch die kamerabasierte Darstellung der unmittelbaren Umgebung des Fahrzeugs als reales Bild in der Draufsicht, hat die Rundumsicht einen Vorteil gegenüber der Parkdistanzkontrolle. So können Objekte und Hindernisse leicht vom Fahrer identifiziert und nach Priorität kategorisiert werden. Ein großer Vorteil der Parkdistanzkontrolle gegenüber der Rundumsicht liegt aber in der einfacheren farblichen

visuellen Anzeige der Abstände. Außerdem bewertet die Parkdistanzkontrolle die Situation und signalisiert dem Fahrer, wann er anhalten muss. So stellt die angezeigte grüne Zone keinen kritischen Bereich dar, sondern dient lediglich der Information, dass sich ein Hindernis im Sensorbereich befindet. Im gelben Bereich ist eine erhöhte Vorsicht seitens des Fahrers geboten, wohingegen der rote Bereich eine kritische Situation signalisiert, in dem die Kollision mit dem Hindernis unmittelbar bevorsteht. Bei der Rundumsicht ist die Abstandseinschätzung durch die vom Kameraobjektiv bedingte Verzerrung meist beeinträchtigt und der kritische Abstandsbereich vom Fahrer schwer einzuschätzen. Somit soll das Konzept der verbesserten Rundumsicht (siehe Abbildung 4.12) jeweils beide Vorteile der Systeme Parkdistanzkontrolle (PDC) und Rundumsicht vereinen, indem die PDC-Grafik über die Rundumsichtanzeige transparent überlagert wird. Technisch wird das neue Konzept durch ein grafisches

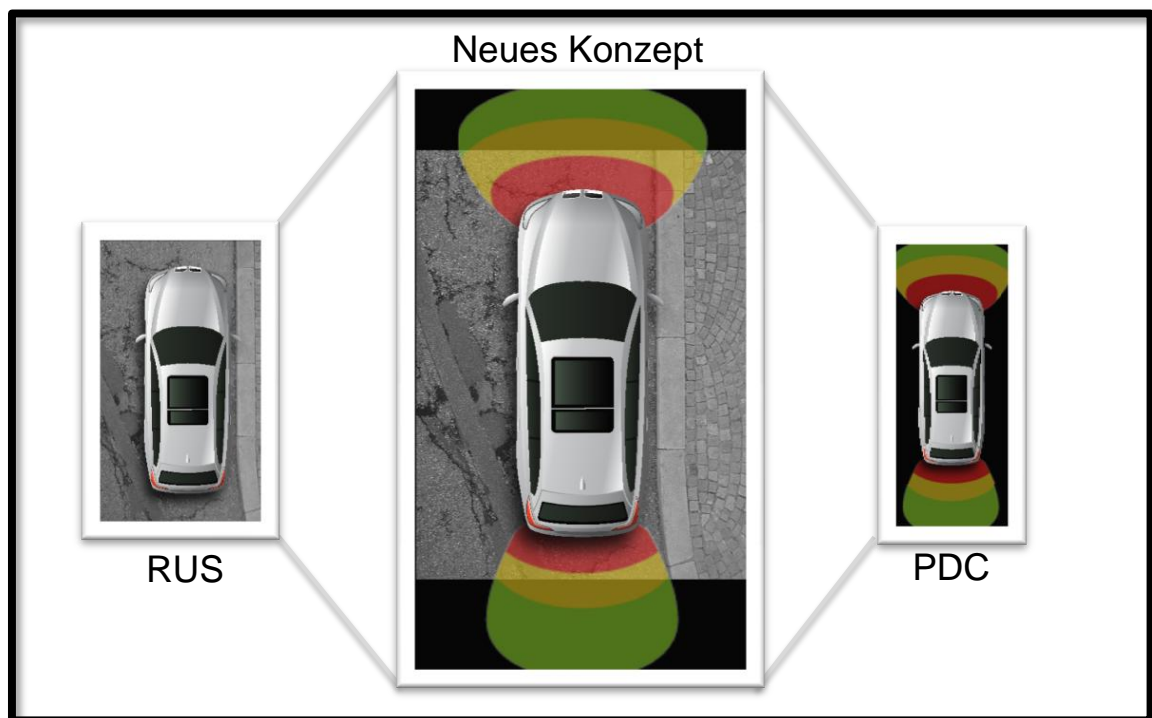


Abbildung 4.12 : Konzeption Vereinigung PDC und RUS

Overlay realisiert, wobei das Kamerabild der Rundumsicht, halbttransparent vom Bild der Parkdistanzkontrolle (PDC) überlagert wird. Der große Vorteil dieses Konzeptes liegt hierbei in der Vereinigung der positiven Eigenschaften beider Einzelsysteme. Zum einen kann der Fahrer mittels des Rundumsichtbildes das angezeigte Hindernis direkt erkennen und dadurch nach Sicherheitsrelevanz kategorisieren und zum andern bewertet das System durch die halbttransparente PDC-Darstellung die Situation. Das neue Konzept bietet dem Fahrer neben der eindeutigen Hinderniserkennung auch eine wirksame Unterstützung in der Abstandseinschätzung.

Beim Parken gibt es neben dem Abstand noch weitere Faktoren, die vom Fahrer schwer eingeschätzt werden können. Ferner ist es, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, für viele Fahrzeugführer sehr schwer einzuschätzen, in welche Richtung das Lenkrad gedreht werden muss. Das resultiert aus der inkompatiblen Zuordnung von Bedienelementbetätigung und Funktionseffekt (vgl. Bubb in Schmidtke [72]) beim Rückwärtsfahren. Dies bedeutet, dass der Fahrer einen Umkodieraufwand hinnehmen muss, um die Zuordnung von Lenkradbewegung und Umweltbewegung gegenüber dem Vorwärtsfahren zu bewerkstelligen. Beim geradeaus Fahren erzielt der Fahrzeugführer durch einen nach links gerichteten Lenkeinschlag, dass sich die Umwelt optisch nach rechts bewegt, indirekt proportional verhält es sich beim Rückwärtsfahren. Deshalb soll das Konzept durch eine in Echtzeit eingeblendete lenkwinkelbezogene Reifenposition (vgl. Abbildung 4.13) dem Fahrer das Umkodieren erleichtern. Je nachdem, welchen Lenkwinkel der Fahrer einstellt, wird ihm direkt die aktuelle Reifenstellung angezeigt. Unterstützt wird die Reduzierung des Umkodieraufwands zusätzlich durch die Anzeige des Fahrzeugs aus der Vogelperspektive (Rundumsicht). Die technische Realisierung erfolgt identisch der oben genannten grafischen Overlay-Technik mit einem halbtransparenten Bild der animierten Reifen über das Rundumsicht-Parkdistanzkontrollbild. Folglich bietet das neue Konzept ne-

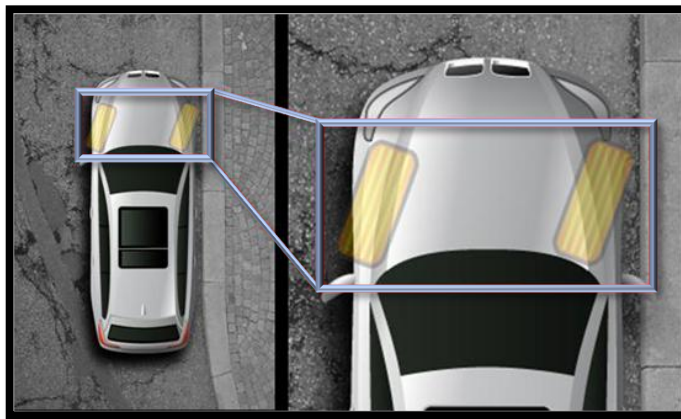


Abbildung 4.13 : Animierte Reifen zur Orientierung Lenkeinschlag

ben der Rundumsicht Zusatzinformationen bezüglich Abstandseinschätzung mittels halbtransparenter Parkdistanzkontrolldarstellung, und den aktuellen Lenkwinkel anhand in Echtzeit animierter Reifen. Das Hauptziel hierbei ist es, dem Fahrer die für den Parkvorgang relevanten und grundlegenden Informationen kompakt und übersichtlich darzustellen und ihn somit bei seiner Fahraufgabe durch ein Assistenzsystem optimal zu unterstützen und zu entlasten.

Ein weiteres sinnvolles Konzept, die sogenannte Kommandoanzeige, wurde in dieser Arbeit entwickelt. Dies stellt auch das hier letzte Teilsystem der sichterweiternden Konzepte dar. Somit wird der Informationsgrad vom einfachen Rundumsichtssystem über das kombinierte Rundumsicht-Parkdistanzkontrollsystem hin zur Kommandoanzeige stetig gesteigert. Die Kommandoanzeige geht somit einen Schritt weiter und

bietet neben den sicherheitsrelevanten Informationen Parkkommandos für den Fahrzeugführer an. Diese beziehen sich hierbei explizit auf Handlungsschritte und einzelne Lenkbewegungen, die der Fahrer während des rückwärtigen Parallelparkens durchzuführen hat. Leider erweist sich die Bereitstellung solcher Informationen nicht als trivial und so muss hier für den rückwärtigen Parkvorgang ein mathematisches Modell herangezogen werden. Ziel ist es hierbei, ohne weitere Sensorik auszukommen.

Dafür wird das einfache mathematische Modell nach Herrmann [32] aus Kapitel 3.3 verwendet. Anhand dieses mathematischen Modells und den dazugehörigen Gleichungen ist es nun möglich, die grundlegenden Daten und Informationen zur Konzipierung des Assistenzsystems der Kommandoanzeige zu berechnen. Da in vielen Fahrschulen vorgeschlagen wird, dass man zum rückwärtigen Parken einen Achtelkreisbogen (mit $\alpha = 45^\circ$; $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2}$), abfahren soll, werden für die Berechnung der Mindestparkstandgröße benötigten Formeln nach Herrmann [32] nun aufgeführt:

$$p = 2r \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\sqrt{2}\right) - w = r(2 - \sqrt{2}) - w \quad (4.1)$$

$$r = \frac{p + w}{2 - \sqrt{2}} \quad (4.2)$$

$$g \geq 2r \cdot \frac{1}{2}\sqrt{2} + b = \sqrt{2} \cdot r + b \quad (4.3)$$

Hierbei ergibt sich für den in dieser Arbeit verwendeten Versuchsträger - einem BMW 5er Touring - mit den unten angegebenen fahrzeugspezifischen Daten und einem seitlichen Abstand $p = 500\text{mm}$ (optimaler seitlicher Abstand aus Kapitel 3.3), eine Mindestparkplatzgröße von $g = 6466\text{mm}$.

- $w = 1846\text{mm}$
- Länge des Fahrzeugs $l = 4841\text{mm}$
- $D = 11400\text{mm}$; $R = 5700\text{mm}$
- $r = 3382\text{mm}$
- $b = 1105\text{mm}$
- $\alpha = 45^\circ$
- $g = 6466\text{mm}$

Wie funktioniert nun das Konzept der Kommandoanzeige? Nachdem ausführlich auf die theoretischen Grundlagen des Assistenzsystems zur Berechnung des Parkvorgangs eingegangen wurde, soll nun die technische Funktionsweise im Detail näher erläutert werden. Das System soll primär den Fahrer beim Parkvorgang durch Anweisungen und Kommandos unterstützen, und ihn sozusagen in die Parklücke einweisen, ohne dass ein komplizierter regelungstechnischer Prozess ausgeführt werden muss. Da im Versuch zur Kommandoanzeige links einzuparken ist, wird das Konzept nun

auch für den Linksparkstand dargestellt. Das Konzept funktioniert ebenfalls für eine Rechtsparklücke. Der Parkvorgang an sich beginnt mit dem Ausrichten des eigenen Fahrzeugs parallel neben dem vorderen Fahrzeug der Parklücke. Hierbei wird seitens des Systems Kommandoanzeige dem Fahrer eine Unterstützung mittels der Rundumsicht angeboten. Um eine genaue Ausgangspositionierung des eigenen Fahrzeugs zu gewährleisten, werden zusätzlich zu dem Kamerabild der Rundumsicht, Markierungen der optimalen Ausgangsposition wie in Abbildung 4.14 ins Display eingeblendet. Die vertikalen Linien geben hierbei den optimalen parallelen seitlichen Abstand - in

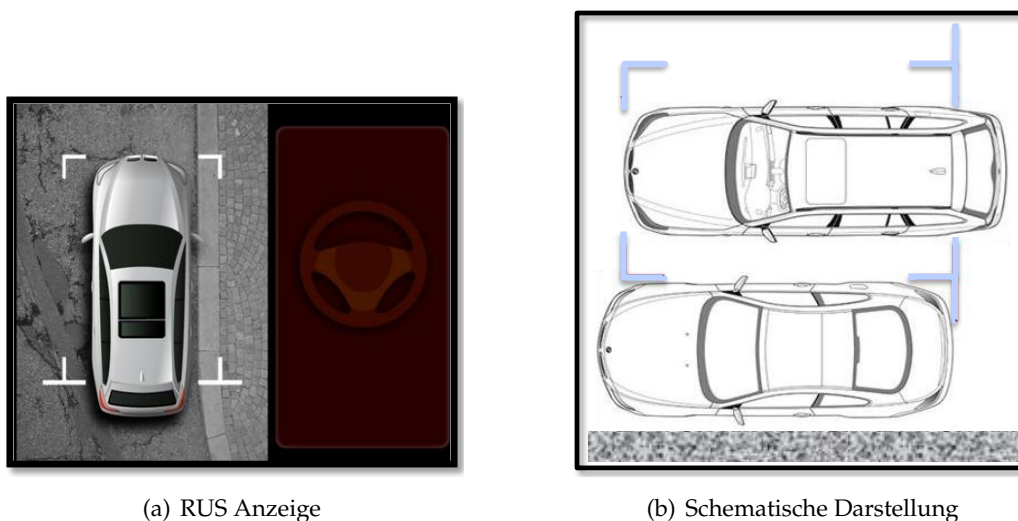


Abbildung 4.14 : Ausrichten des Fahrzeugs am seitlichen Fahrzeug

dieser Arbeit $p = 50\text{cm}$ - wieder, wobei die horizontalen Linien am Fahrzeugheck den Abschluss zum seitlich, die Parklücke nach vorne begrenzenden Fahrzeug bilden. So muss der Fahrer schon beim Anfahren anhand des Rundumsichtbildes und den Markierungen sein eigenes Fahrzeug so ausrichten, dass der seitliche Abstand den vertikalen Markierungen entspricht und die horizontale Linie mit dem Heck des seitlich stehenden Fahrzeugs übereinstimmt. Hat der Fahrer wie in Abbildung 4.14b dargestellt, die optimale Ausgangsposition erreicht, wird das Assistenzsystem der Kommandoanzeige mit dem Einlegen des Rückwärtsganges aktiviert. Dem Fahrer wird nun auf der rechten Seite des Displays neben dem aktuellen Rundumsichtbild (vgl. Abbildung 4.15) ein Pfeil dargestellt, der angibt, in welche Richtung der Fahrer zu lenken hat. Bei einer Lenkbewegung in die vom System geforderte Richtung, füllt sich der Pfeil, sodass immer die Information vorliegt, wie weit noch gelenkt werden muss. Bei diesem Konzept wird ein Volleinschlag verlangt. Beim maximalen Lenkradeinschlag erhält der Fahrer dann, wie in Abbildung 4.15, das Startzeichen zum Rückwärtsfahren in Form eines grünen Zeichens. Beim Zurücklegen des ersten Kreissegments bis zum Wendepunkt gibt der unter dem „GO“ Zeichen eingeblendete, sich langsam füllende Pfeil dabei Auskunft, welche Strecke noch zurückzulegen ist. Hat der Fahrer die benötigte Strecke zurückgelegt, wird kurz vor dem Erreichen des Wendepunktes, unter Berücksichtigung der menschlichen Reaktionsgeschwindigkeit

mit einem Offset von ca. $t = 0,4s$, ein „STOP“-Zeichen angezeigt (wie in Abbildung 4.15 dargestellt). Dieses fordert den Fahrer dazu auf, unverzüglich am Wendepunkt zu halten. Steht das Fahrzeug daraufhin am Wendepunkt, erfolgt analog der Anzeige nach Abbildung 4.15 durch einen Pfeil die Aufforderung zum Gegenlenken. Diesmal zeigt der Pfeil natürlich in die entgegengesetzte Richtung. Nachdem der Ist-Lenkeinschlag gleich der geforderten Solllenkradposition ist, bekommt der Fahrer erneut die Aufforderung mittels des in Abbildung 4.15 dargestellten „GO“-Symbols das zweite Kreissegment abzufahren. Ein Unterschied besteht aber hierbei darin, dass keine Abstandsmessung mehr vom System erfolgt, sondern der Fahrer alleine durch die ihm zur Verfügung gestellten Mittel, wie Rundumsicht und Parkdistanzkontrolle entscheiden muss, wie weit er zurückfährt (siehe Abb. 4.15). Lediglich der zusätzliche Hinweis, dass keine aktive Unterstützung mehr seitens des Systems erfolgt, wird im Display in Form von „PDC beachten“ eingeblendet.

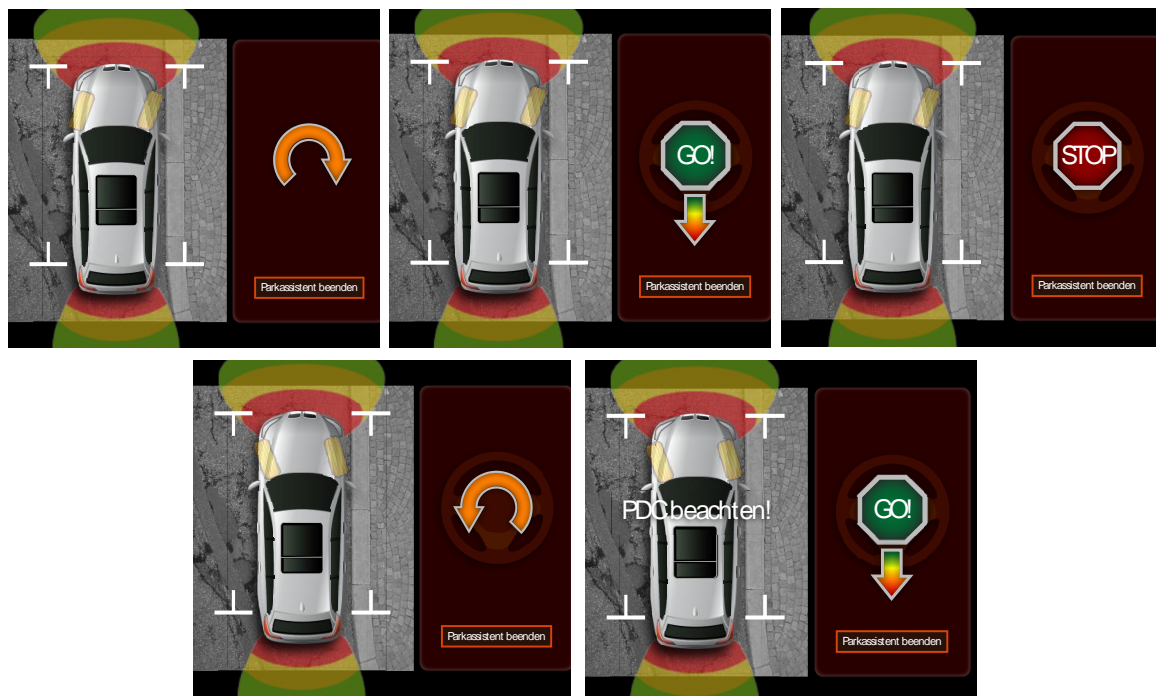


Abbildung 4.15 : Bedienschritte Parkassistent Rundumsicht mit Kommandoanzeige. (Bedienreihenfolge von Bild links oben bis rechts unten.)

Zusammenfassend weist das System Kommandoanzeige somit durch wenige Schritte den Fahrer nach der selbstständigen Ausrichtung in eine optimale Parkendposition ein, und soll somit den Fahrer bei der Aufgabe des Parkens entlasten. Nach der ausführlichen Erläuterung der Funktionsweise soll nun auch kurz auf die technische Umsetzung des Systems eingegangen werden. Eine feste, vorher für das Fahrzeug - in diesem Fall ein BMW 5er Touring (E61) - spezifisch ausgelegte und berechnete Einparkkurve schafft hierbei die Basis. Diese besteht im Gesamten aus zwei entge-

gengesetzten Kreissegmenten, die mit einem vollen Lenkeinschlag gefahren werden. Die dafür notwendigen Daten, wie die gefahrene Strecke und der aktuelle Lenkeinschlag können hierbei aus den CAN-Signalen des Fahrzeugs entnommen werden. So erfolgen alle Animationen, zum Beispiel die Anzeige des nötigen Lenkeinschlags, aber auch die Anzeige der verbleibenden Strecke bis zum Wendepunkt in Echtzeit mit den CAN-Daten synchron. Im Resümee kann die technische Umsetzung des Konzepts der Kommandoanzeige recht einfach gestaltet werden, da lediglich die schon vorhandenen Daten des CAN-Busses genutzt werden. So bietet das System trotz einer relativ einfachen technischen Umsetzung eine gute Möglichkeit den Einparkvorgang für den Fahrer zu erleichtern.

4.3 Führungsassistentz

In diesem Kapitelabschnitt steht die Konzeptionierung von Parkassistentzsystemen im Vordergrund, die bis dato noch nicht technisch realisiert werden können. Ziel ist es, mit einem ganzheitlichen Konzept das Parken so zu unterstützen, dass die Selektion der wichtigen Informationen für den Fahrzeugführer so einfach wie möglich ist. Dieses Konzept wird dann in einem Simulatorversuch evaluiert. Das Konzept beinhaltet die Unterstützung bei der richtigen Parkstandwahl, die rechtzeitige Signalisierung des rückwärtigen Verkehrs und eine Assistentz beim Parkvorgang bis hin zum Abstellen des Fahrzeugs. Genauso hilft das Konzept beim Verlassen der Parklücke und bei der Wiedereingliederung in den fließenden Verkehr. Um eine optimale Lösung zu erhalten, werden deshalb anzeigeseitig unterschiedliche Lösungsansätze beleuchtet, die durch den Simulatorversuch bewertet werden können. Für eine geringere Informationsdichte gegenüber den oben aufgeführten videobasierten Konzepten sollen z.B. Kameras nur als Sensoren verwendet werden. Mithilfe einer Bildverarbeitung und Objektdetektion können so relevante Gegenstände angezeigt werden. Diese Gegenstände sollen dann mithilfe von Symbolen in einem Display erscheinen. Die komplette Umgebung des Fahrzeugs wird damit virtuell angezeigt. Mittels Kameras als Sensoren zum Beispiel können Parklückengrößen und Abstände zu anderen Objekten berechnet werden. Die technische Umsetzbarkeit wird allerdings in dieser Arbeit nicht weiter vertieft. Um weitere Informationen über Parkstände zu erhalten, kommt eine Kamera, mit der auch Parkschilder erkannt werden können, zum Einsatz. Damit stehen Informationen über ein eventuelles Halteverbot, Parkgebühren und Benutzungsdauer zur Verfügung. Außerdem kann das System durch die Kameras ebenfalls zwischen Parkstand und Ausfahrt unterscheiden. Dies ist natürlich sehr wichtig für die Akzeptanz des Systems und erhöht zusätzlich die Verkehrssicherheit, weil Fahrer nicht so sehr von irrelevanten Informationen abgelenkt werden. Eine weitere Unterstützung bietet die Berechnung einer Einparktrajektorie. Damit kann der Fahrer optimal in eine Parklücke hineinfahren. Konzeptionell gesehen funktioniert diese Trajektorienberechnung und Parklückenvermessung mithilfe der Kameras bei allen Parkstandarten. Am Beispiel folgenden Szenarios sollen die Lösungsvorschläge aus Abbildung 4.16 erläutert werden: Ein Fahrzeugführer hat das ins Navigationssystem eingegebene Fahrtziel

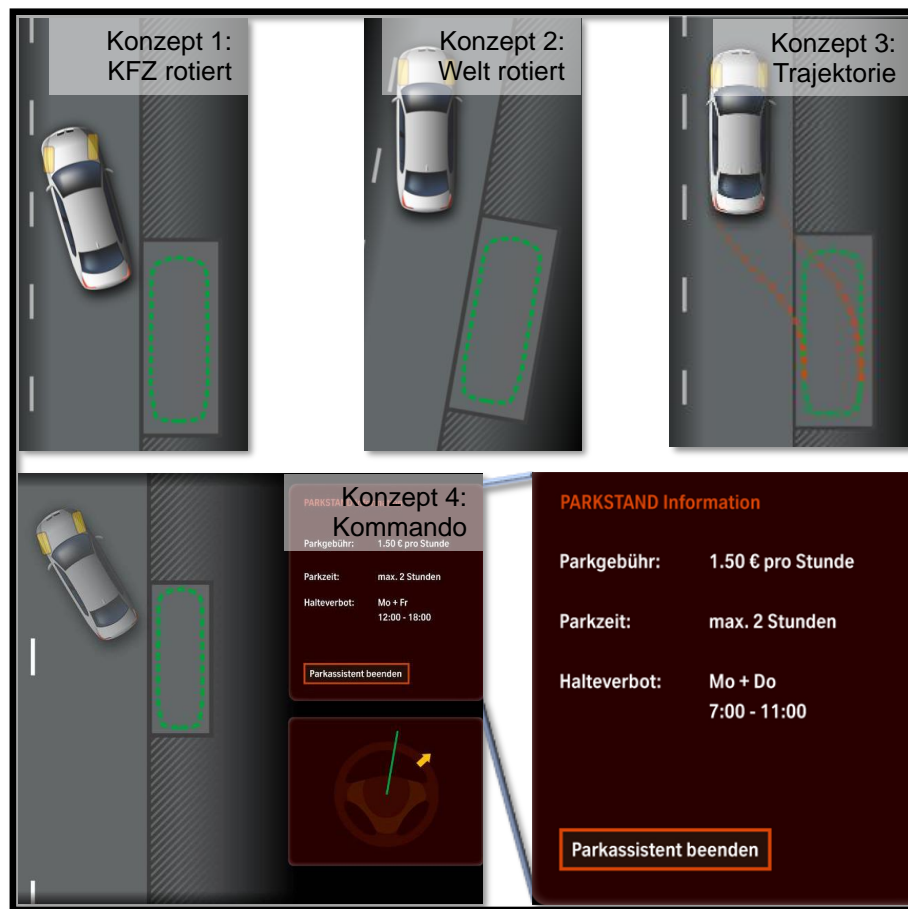


Abbildung 4.16 : Lösungsvorschläge virtuelles Parkassistentensystem

erreicht und wird gefragt, ob er einen geeigneten Parkstand suchen will, was er über ein Bedienelement bejaht. Automatisch wird das Warnsystem für den rückwärtigen Verkehr aktiviert. Wenn ein Parkstand gefunden wurde (Konzept „Trajektorie“ oder „Kommando“) wird ihm eine Parkstandinformation eingeblendet (maximal mögliche Parkdauer, Kosten für den Parkplatz, Halteverbot ja/nein) und entweder ein passender Einparkkorridor angezeigt (Konzept „Trajektorie“), oder ein Kommando angegeben (Konzept „Kommando“), wie er nach dem Anhalten lenken muss, um in die Parklücke einzufahren. Welches dieser Konzepte zu bevorzugen ist, soll die Untersuchung enthüllen. Die Anzeige der Trajektorie stellt folglich eine Soll-Ist-Anzeige der kompletten Parkaufgabe dar. Der Einparkkorridor bezieht sich hierbei auf das Fahrzeugheck und muss zum Einparken abgefahren werden. Die Kommandoanzeige liefert hingegen nur die aktuelle Soll-Ist-Abweichung. Der grüne Pfeil stellt den derzeitigen Lenkwinkel dar, der gelbe Strich die Sollposition des Lenkrads. Somit muss der Pfeil immer über den Strich geführt werden, um die Regelabweichung zu annullieren. Nach dem Aussteigen wird das Fahrzeug automatisch verkehrssicher abgestellt. Ebenso kann man sich vorstellen, dass beim Ausparken im Display eine Ausparktrajektorie angezeigt wird und eine Kollisionswarnung symbolisch vor Fahrzeugen warnt, wenn

sich der Fahrer in den fließenden Verkehr wieder einordnen will. Die anderen Konzepte in Abbildung 4.16 sollen das innere Modell des Menschen erschließen. Somit wird untersucht, ob eine Folgeaufgabe (Konzept „KFZ rotiert“, die Fahrzeugumwelt wird fixiert, das Fahrzeug kann sich in diesem Bereich frei bewegen) oder eine Kompensationsaufgabe (Konzept „Welt rotiert“, das Fahrzeug bleibt an einem fixen Punkt, die Umwelt bewegt sich hingegen je nach Lenkeinschlag und Geschwindigkeit) besser für die Darstellung des Parkvorgangs geeignet ist. Die Videoanzeige der Rundumsicht stellt nämlich eine Kompensationsaufgabe dar. Deshalb ist es für das Konzept wichtig, welche dieser Aufgaben eher dem inneren Modell des Menschen entsprechen. Bei einer Folgeaufgabe muss der Mensch selbst die Differenz zwischen Aufgabenstellung und Aufgabenerfüllung berechnen (ein Beispiel dafür ist die Führung des Mauszeigers am Bildschirm). Bei der Kompensationsaufgabe stellt das System dem Nutzer diese Differenz dar, wie z.B. bei einer analogen Waage. Für viele Aufgaben wird deshalb eine Kompensationsanzeige empfohlen, weil der Mensch die Differenz nicht selbst bestimmen muss (vgl. Bubb in Schmidtke [72]).

Alle dargestellten Konzepte sind aktive Aufgaben, das heißt, der Fahrer muss immer noch selbst um die Fahraufgabe kümmern. Allerdings können die Konzepte ebenso bei einem vollautomatischen Parkassistentensystem zur Überwachung des Systems eingesetzt werden. Dies würde dann der monitiven Aufgabenart entsprechen.

Zusammengefasst bieten die Konzepte „KFZ rotiert“ und „Welt rotiert“ unterschiedliche Aufgabenarten, nämlich eine Kompensations- und Folgeanzeige an. Kommandoanzeige und Einparktrajektorie weisen unterschiedliche Führungsarten auf. Die Einteilung der unterschiedlichen Konzepte auf verschiedene ergonomische Gestaltungsmöglichkeiten ist deshalb sinnvoll, damit eine optimale Lösung durch die Analyse der Evaluierungsergebnisse empfohlen werden kann. Daraus können schließlich ergonomische Empfehlungen und Regeln für das Parken und eventuell auch allgemeine Maximen aufgestellt werden. Denn nur ein optimales Konzept kann die Leistung der Aufgabenerfüllung maximieren.

Konzeptrealisierung

Die Lösungsvorschläge (alle Konzepte und Parkinformation) wurden mithilfe einer eigens dafür entwickelten und programmierten Fahrsimulation umgesetzt. Die Einkanal-Sichtsimulation, vgl. Abb. 4.17, umfasst hierbei eine mehrere Kilometer lange gerade Versuchsstrecke in einem Vorort. Am Straßenrand wurden mehrere Parkbuchten generiert, in welche verschiedene Fahrzeuge aufgesetzt wurden. Die Fahrzeuge waren so platziert, dass auf der Länge der Versuchsstrecke ungefähr vier Parklücken ausreichend groß waren, in die ein Proband einparken konnte. Als Anzeige für die Geschwindigkeit und Gangwahl wurde ein Head-up Display (HUD) in die Szene mit hinein programmiert. Als Bedienelemente für das Fahrzeug diente ein haptisches Lenkrad und Pedalerie von Logitech, die üblicherweise für Autorennspiele verwendet werden. Durch die neueste Generation dieser Bedienelemente wurde ein realistisches Gefühl der Fahrzeugbedienung realisiert.

Die Fahrszene wurde mit einem handelsüblichen Beamer an eine Wand in einer



Abbildung 4.17 : Szenenausschnitt der Fahrsimulation

dunklen Kammer projiziert, wobei darauf geachtet wurde, dass der Horizont der Szene auf Augenhöhe eingestellt wurde, um einen möglichst realistischen Effekt zu erhalten. In einem vorher vermessen Abstand von Fahrer zur projizierten Szene an der Wand wurde das Lenkrad an einem Tisch montiert und die Pedalerie auf den Boden gestellt. Die Sichtsimulation wurde von einem eigenen Rechner durchgeführt, während die Displaysimulation aus Leistungsgründen auf einem anderen Rechner erfolgte. Die beiden Rechner kommunizierten über ein LAN mithilfe einer Socket-Verbindung, wodurch die berechneten Daten von einem PC auf den anderen in dessen Speicher direkt geschrieben wurden, was eine erhebliche Leistungssteigerung und damit ein ruckelfreies Szenen- und Displaybild zur Folge hatte. In dem simulierten Informationsdisplay waren alle Konzepte dargestellt (s. Abb. 4.16). Mit der Parklückenvermessung wurde dem Probanden angezeigt, ob eine Lücke ausreichend groß ist, und mithilfe der Einparkunterstützung war auch das Parken ohne weitere Sichtkanäle um den Fahrer herum möglich. Bei dieser Untersuchung sollte nämlich nur evaluiert werden, ob ein Fahrer allein mit den Konzepten einparken kann.

Für die Fahrzeugdynamik diente ein einfaches Einspurmodell nach Ackermann. Dieses Modell war vollkommen ausreichend für den in diesem Versuch üblichen Geschwindigkeitsbereich von $0 \frac{km}{h} < v < 50 \frac{km}{h}$ bei - bis auf das Einparken - Geradeausfahrt. Die Berechnung der Trajektorie erfolgte nach einem mathematischen Modell

nach Kochem [41]. Wenn also ein Fahrer einen Parkstand gefunden und das Auto zum Stillstand gebracht hatte, wurde beim Einlegen des Rückwärtsganges abhängig von der lateralen Position und der Entfernung zum Parkstand die Bahnkurve berechnet. Diese Bahnkurve wurde nach dem Trajektorienkonzept als gestrichelte Linien angezeigt, die der Proband abfahren musste, um in den Parkstand zu kommen. Einfachheitshalber wurde die Parklückengröße so festgelegt, dass der Fahrer das Fahrzeug in nur einem Zug einparken kann. Somit wurden auch nur Bahnkurven für diesen Fall berechnet. Man kann sich aber genauso gut vorstellen, Algorithmen für die Berechnung von Bahnkurven mit mehreren Zügen (siehe Kochem [41]) zu implementieren. Damit könnten dann auch engere Parklücken genutzt werden. Für den Versuch zur Ermittlung eines ergonomisch sinnvollen Konzeptes eines Parkassistentensystems war die Berechnung der Bahnkurve für einen Parkzug jedoch ausreichend. Die Trajektorie kann hierbei mit unterschiedlichen Modellen berechnet werden:

- Kreisbögen
- Klothoide
- Polynom basierte Bahnplanung
- G^2 -Splines 5. Ordnung

Nach Kochem [41] ist die Polynom basierte Bahnplanung (siehe Gleichung (4.4)) auf Grund schnellerer und genauerer Berechnung mit heutigen automotiven Microcontrollern der Klothoiden basierten vorzuziehen und wird deshalb auch in dieser Arbeit verwendet:

$$y_d(x_c) = a_5x_c^5 + a_4x_c^4 + a_3x_c^3 + a_2x_c^2 + a_1x_c + a_0 \quad (4.4)$$

Ziel der Bahnplanung ist die Erzeugung einer geschlossenen Beschreibung der Bahn

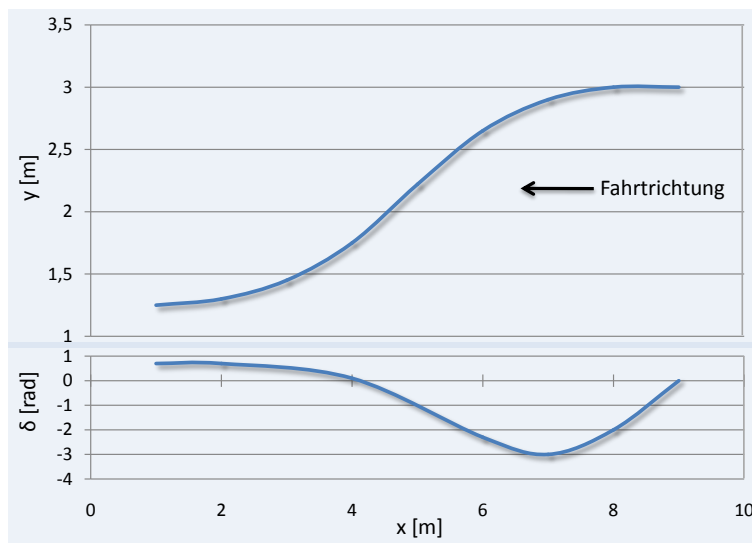


Abbildung 4.18 : Polynom basierte Bahnplanung

in der Form $y = f(x)$, bei der die Sollposition in y-Richtung des Weltkoordinatensystems nur von der aktuellen X-Position des Fahrzeugs abhängt. Dies garantiert die Unabhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit. Hierbei ist das Tupel $(x_c|y_d)$ die Sollposition des Fahrzeugkoordinatensystemursprungs innerhalb des Weltkoordinatensystems. Dieses Polynom stellt eine Sonderform des G^2 -Splines dar, da es nicht in parametrischer Form, sondern explizit gegeben ist. Die Polynomkoeffizienten a_{i_r} $i \in [0, \dots, 5]$ werden in Abhängigkeit von Start- bzw. Zielkoordinaten, Start- u. Zielorientierung des Fahrzeugs, Krümmung der Bahn im Startpunkt entsprechend dem aktuellen mittleren Lenkwinkel und der maximalen Krümmung (hier maximaler Lenkeinschlag) der Bahn im Zielpunkt berechnet. Durch diese Randbedingungen sind alle Koeffizienten eindeutig bestimmt und die Form der Bahn zwischen den Endpunkten festgelegt. Im unteren Teil der Abbildung 4.18 ist der notwendige Lenkwinkel zur Bahnbeschreitung aufgetragen. Dadurch, dass sich die maximal auftretenden Lenkwinkel zur Bahnbeschreitung nur kurzzeitig zu Beginn und zum Ende des Parkvorgangs einstellen, wird verhindert, dass die Fahrzeugfront zu Beginn des Parkens auf die Gegenfahrbahn gerät. Dies hat einen enormen Vorteil gegenüber dem Konzept aus 4.2, also dem einfachen mathematischen Modell nach Herrmann [32]. Bei dem einfachen Modell liegt folglich für die Beschreitung des ersten Kreissegments immer der maximale Lenkwinkel an, wodurch die Fahrzeugfront auf die andere Fahrbahn gelangt.

Für Konzept „Kommando“ ist allerdings noch die Bestimmung der Regelabweichung δ_d notwendig:

$$\delta_d = K_y \cdot e_y + K_\psi \cdot e_\psi + w_\delta \quad (4.5)$$

Mit dieser Gleichung wird die Regelabweichung ermittelt, also die Differenz δ_d zwischen der aktuellen Soll- von der Ist-Position auf der vorher berechneten Bahnkurve. Die Positionierung des Fahrzeugs ist abhängig von dem Gierwinkel (K_ψ), dem Lenkwinkel (w_δ) und der lateralen Ist-Position zur Sollkurve (K_y). Die Regeldifferenz wird dann aus dem jeweiligen Fehler e bestimmt. Damit kann schließlich berechnet werden, wie der Fahrer im nächsten Schritt lenken muss. Dies wird ihm im Konzept „Kommando“ über die grüne Linie (Solleinstellung Lenkrad) und dem gelben Pfeil (Isteinstellung Lenkrad) angezeigt. Durch die Überlagerung von Pfeil und Linie kann die Regeldifferenz ausgeglichen werden und das Fahrzeug bewegt sich auf der richtigen Bahnkurve.

Da in der Simulation die Koordinaten des Fahrzeugs und der ausreichend großen Parkstände bekannt sind, stellt die Berechnung der Einparktrajektorie und die Parklückenvermessung kein Problem dar.

5 Versuchskonfiguration zur Konzeptevaluierung der Sichtenerweiterung

Nach der Konzipierung der neuen Assistenzsysteme im vorangegangenen Kapitel werden nun die neu gestalteten Systeme der erweiterten Rundumsicht und die Kommandoanzeige nach Gebrauchstauglichkeit und weiteren sicherheitstechnischen Aspekten mithilfe eines Realversuchs bewertet werden.

Den Ausgangspunkt für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit bildet hierbei der international geltende Standard DIN EN ISO 9241. Dieser spezifiziert in 17 Teilen Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Der Teil 11 beschreibt dabei Kriterien für die Gebrauchstauglichkeit, die ihrerseits definiert wird als „... das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um Ziele in einem bestimmten Arbeitssystem effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ (ISO Norm, 1998 S. 4). Diese Norm wird für die Parkassistenten deshalb verwendet, weil aufgrund der Konzepte sehr viele visuelle Informationen mittels Displays angezeigt werden und deshalb eine Ähnlichkeit zur Gebrauchstauglichkeit von Softwareprodukten besteht. Überträgt man nun diese Norm auf Assistenzsysteme in einem Fahrzeug, können zwar über die Messung der Unterpunkte Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung keine konkreten Angaben gemacht werden, doch werden Anforderungen aufgestellt, die die entsprechenden Messgrößen erfüllen sollten:

- „... Effektivitätsmaße sollen den Grad der Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der der Nutzer Ziele erreicht...“, erfassen (ISO Norm, 1998 S. 6).
- „... Effizienzmaße setzen den erreichten Grad der Effektivität ins Verhältnis zum Aufwand an Ressourcen... Dieser Aufwand kann psychische oder physische Beanspruchung, Zeit, Material oder monetäre Kosten enthalten ...“ (ISO Norm, 1998 S. 7).
- „... Zufriedenstellungsmaße beziehen sich auf das Ausmaß, in dem Benutzer von Beeinträchtigungen frei sind, und ihre Einstellungen zur Nutzung des Produktes...“ (ISO Norm, 1998 S. 7).

Bezüglich der Auswahl von Messgrößen spezifiziert die Norm weiterhin nur, dass jedem dieser Unterpunkte mindestens ein Maß zugeordnet werden soll, stellt jedoch keine allgemeinen Regeln für die Auswahl entsprechender Messverfahren auf.

Neben der Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Systemen spielt auch der Sicherheitsaspekt bei der Evaluierung von neuen Konzepten eine wichtige Rolle. Damit stellen die Blickstrategien und die Fixationsdauer einen wichtigen Faktor dar, an denen

man die Ablenkungswirkung neuer Assistenzsysteme messen kann (siehe Schweigert [73], Rassel [65]). So sollte ein Assistenzsystem vor allem eine unterstützende Funktion aufweisen, hierbei aber den Fahrer nicht zu stark von seiner primären Fahraufgabe ablenken. Dies kann sonst ein Sicherheitsrisiko darstellen.

5.1 Versuchsdesign

Unter Berücksichtigung der Gebrauchstauglichkeit und dem Aspekt der Sicherheit wird somit ein Versuchsdesign erstellt, das neben der objektiven Bewertung der neu entwickelten Konzepte auch Aufschluss darüber geben soll, inwiefern sich der steigende Grad an Unterstützung und Informationsdichte auf das Blickverhalten des Fahrers auswirkt. Für die Evaluierung mittels eines Realversuchs wird hierzu die Situation des links rückwärtigen Paralleleinparkens zwischen zwei Fahrzeugen herangezogen. Die Besonderheit des Linkseinparkens liegt darin, dass diese Situation für den Fahrer nicht alltäglich ist, wie eine Umfrage in Kapitel 3.1) ergeben hat. Somit ist auch für viele Fahrer das innere Modell für diesen Vorgang recht schwach ausgeprägt, und es bestehen infolgedessen für alle Varianten des Parkens und der Unterstützung durch Assistenzsysteme, annähernd gleiche Bedingungen.

Das vollfaktorielle Versuchsdesign bestand hierbei aus den folgenden vier unterschiedlichen Einparkvarianten:

- Variante 1 - Einparken ohne jegliche Assistenzsysteme (Basismessfahrt)
- Variante 2 - Einparken unter Zuhilfenahme des Systems Rundumsicht
- Variante 3 - Einparken unter Zuhilfenahme des Systems der erweiterten Rundumsicht
- Variante 4 - Einparken mit dem System Kommandoanzeige

Bei der Variante 1 musste der Proband mit dem Fahrzeug ohne jegliche Assistenz einparken. Die beobachtete und aufgezeichnete Blickstrategie bei diesem Einparkvorgang diente hierbei als Referenz für die darauf folgende Nutzung der einzelnen Assistenzsysteme. Die Variante 2 bot als Assistenz das reine Rundumsichtbild hochkant in einem Display dargestellt an, mit dessen Hilfe der Fahrer wieder den Parallelparkvorgang absolvieren musste. In Variante 3 wurde der Informationsgrad und die Unterstützung noch einmal angehoben, indem der Versuchsperson beim Einparkvorgang die erweiterte Rundumsicht mit animierten Reifen und dem halbtransparenten PDC zur Verfügung gestellt wurde. Den höchsten Grad an Unterstützung mit dem höchsten Informationsgrad stellte die Variante 4 dar. Hierbei parkte der Proband unter Zuhilfenahme der Kommandoanzeige ein. Zusammenfassend bot das erstellte Realversuchsdesign neben der Möglichkeit die einzelnen neuen Konzepte zu bewerten auch den Vorteil zu analysieren, ob der ansteigende Informations- und Assistenzgrad Auswirkungen auf die Blickstrategie des Fahrers und somit auf die Sicherheit beim Parkvorgang hat.

Bei dem Realversuch wurden die Einflüsse der Veränderung von bestimmten Faktoren bei gleich bleibendem Versuchsaufbau auf die den Versuch durchlaufenden Versuchspersonen gemessen. Hierbei bestimmte der untersuchte Gegenstand, welche Einflussgrößen in welchem Maß variiert und auf ihre Auswirkung hin untersucht werden sollten. Ziel des Versuches war es, das Maß und die Richtung der Abhängigkeit dieser Variablen von den unabhängigen Variablen zu erhalten. Bei dem in dieser Arbeit erstellten Realversuchsdesign zur Evaluierung der neuen konzeptionellen Assistenzsysteme zur Unterstützung des Parkvorgangs stellte die Art der Unterstützung (Variable 1-4) die unabhängige Variable dar, wo hingegen die Einparkqualität, die Einparkleistung, das Blickverhalten und die Bewertung der Gesamtbeanspruchung die abhängigen Variablen definierten.

5.2 Messgrößen u. -methoden

Neben dem Versuchsdesign stellte die Auswahl der Messgrößen einen weiteren wichtigen Aspekt bei der Versuchsplanung dar. In Anbetracht der zu bewertenden Systeme sollte die Auswahl so getroffen werden, dass durch die ermittelten Daten die Möglichkeit der Evaluierung bezogen auf die Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit der neuen Konzepte erfolgen konnte, jedoch die Menge an Informationen und Daten überschaubar blieb. Eine Untergliederung der in diesem Versuch erhobenen Daten kann prinzipiell in objektive und subjektive Daten vorgenommen werden.

Die objektiven Messwerte in diesem Versuch waren vor allem die quantitativ erfassbaren Daten, wie Abstände, die Einparkzeit und die Fehlerrate. Die Erfassung des jeweiligen Blickverhaltens wurde mitunter auch zu den objektiven Daten gezählt. Die zu ermittelnden Abstände bezogen sich auf die vom Probanden mit dem Versuchsträger erreichte Parkendposition. Hierzu wurden nach dem Parkvorgang jeweils der vordere und hintere Abstand der Achsmittelpunkte zum Bordstein und die Abstände zum vorderen und hinteren Fahrzeug gemessen (siehe Kapitel 3.2). Als Messmethode diente hierbei die manuelle Vermessung mithilfe eines Maßbandes, wobei die Messgenauigkeit bei geschätzten $\pm 1,00\text{cm}$ lag. Die Zeiterfassung des Parkvorgangs erfolgte mittels einer Stoppuhr mit einer geschätzten Genauigkeit von $\pm 0,4\text{s}$ (Reaktionszeit des Versuchsassistenten). Die Messung wurde vom Versuchsleiter nach der Ausgangspositionierung des Probanden und dem Beginn des Zurücksetzens gestartet, und nach dem endgültigen Erreichen der Parkendposition gestoppt. Die Fehlerrate bei diesem Realversuch wurde beim Einparken durch jeglichen Kontakt des Versuchsträgers mit dem Bordstein bzw. dem Vorder- oder Hinterfahrzeug definiert. Um Beschädigungen an den Versuchsträgern zu vermeiden, wurden außerdem auch Fehler gewertet, die im Ermessen des Versuchsleiters zu einer Kollision geführt hätten. Die Blickerfassung spielte auch in diesem Versuch eine wichtige Rolle. Hierbei wurde wieder das Blickerfassungssystem Dikablis eingesetzt, dessen Funktionsweise bereits näher unter 3.2.2 erläutert wurde.

Neben den oben aufgeführten objektiven Daten wurden zur Evaluierung der entwickelten Konzepte subjektive Daten herangezogen. Die subjektiven Daten sollten Ge-

fühle, Stimmungen, Gefallen und einschlägige Erfahrungen der Probanden mit den Konzepten erfassen. Sie beinhalteten deshalb Aussagen über innere Prozesse. Der für diesen Versuch konzipierte Fragebogen enthielt sowohl offene als auch geschlossene Fragen. Bei den offenen Fragen wurden von den Probanden sowohl persönliche Einschätzungen bezogen auf die Konzepte und das Einparken, als auch Aufzählungen und Ausformulierungen kritischer Eckpunkte verlangt. Bei den geschlossenen Fragen wurde eine endliche Skala oder Auswahlmöglichkeiten vorgegeben, aus denen der Proband auswählen konnte. Insbesondere der NASA-TLX Test zur Beanspruchungseinschätzung der Aufgabe und der PSSUQ-Fragebogen fanden bei diesem Versuch Verwendung. Der PSSUQ (Post Study System Usability Questionnaire)-Fragebogen von James R. Lewis [49] ist ein wissenschaftlich überprüfter, lizenzfreier Fragebogen zur Evaluierung der Usability eines Systems. Obwohl dieser eher auf die Nutzung von Computersystemen ausgelegt ist, kann man ihn aber auch leicht auf die Evaluierung von Fahrerassistenzsystemen im Fahrzeug anpassen. Lewis stellt in seinem Fragebogen den Probanden insgesamt 19 Fragen, die in 4 Teilgruppen (Bewertungsgruppen) unterteilt sind. Die Zusammenfassung der einzelnen Fragen im PSSUQ von Lewis [49] erfolgt hierbei in folgenden Untergruppen bzw. Bewertungsgruppen:

- Frage 1-19 OVERALL (Gesamteindruck)
- Frage 1-8 SYSUSE (Systemgebrauchstauglichkeit)
- Frage 9-15 INFOQUAL (Informationsqualität)
- Frage 16-19 INTERQUAL (Interaktion bzw. Schnittstellenqualität)

Wertet man alle 19 Fragen des PSSUQ Fragebogens zusammengefasst aus, erhält man einen Gesamteindruck über das zu analysierende System. Ist die Bewertung einer speziellen Eigenschaft des Systems gefordert, so kann nach der Untergliederung von Lewis [49] die Gebrauchstauglichkeit, die Informationsqualität und die Interaktionsqualität des Systems unterschieden und getrennt ausgewertet werden. Die hier in der Arbeit konzipierten und entwickelten Systeme bieten aber nur ein geringes Maß an Interaktion zwischen Fahrer und System, womit zwei Fragen des PSSUQ nicht für die Evaluierung der neuen Konzepte genutzt werden konnten. Somit ergab sich für den in dieser Arbeit erstellten Fragebogen eine unterschiedliche Gruppierung. Deswegen wurde folgende Anpassung des Fragebogens zur Evaluierung der neuen Konzepte vorgenommen:

- Frage 1-17 OVERALL (Gesamteindruck)
- Frage 1-8 SYSUSE (Systemgebrauchstauglichkeit)
- Frage 9-13 INFOQUAL (Informationsqualität)
- Frage 14-17 INTERQUAL (Interaktion bzw. Schnittstellenqualität)

Der Wertebereich der einzelnen Fragen lag hierbei zwischen 1 (volle Zustimmung) bis 7 (volle Ablehnung). Der genaue Aufbau des Fragebogens kann dem Anhang entnommen werden. Zur Auswertung des PSSUQ Fragebogens müssen zentrale Tendenzen berechnet werden.

5.3 Versuchsplanung

Die Versuchsplanung beinhaltete neben der Organisation der Versuchspersonen auch die Auswahl eines geeigneten Versuchsortes. Das erstellte Versuchsdesign dieser Untersuchung gab eine links Parallelparksituation vor. Solch eine Parksituation ist aber meist nur in einer Einbahnstraße gegeben, womit der Realversuch nach einer ausführlichen Recherche in der Rathenastraße, München durchgeführt wurde. Die Rathenastraße vereinigt hierbei alle gesuchten Anforderungen des Versuchsdesigns. Die Straße weist in der Regel ein mittleres Verkehrsaufkommen auf, wodurch der Parkdruck sehr realitätsnah ist. Außerdem befindet sich die Straße in der Nähe des BMW Geländes, wodurch die Anfahrtszeit für die Probanden nur sehr gering ist. Zusätzlich stellt die Straße eine ausreichende Anzahl an Parkmöglichkeiten zur Verfügung, wodurch gewährleistet war, dass jeder Proband auch einen Parkstand finden konnte.

Die Zusammenstellung des Versuchspersonenkollektivs war neben der Auswahl des Versuchsortes ein weiterer wichtiger Punkt bei der Realversuchsplanung. Die Auswahl der Versuchspersonen für diese Studie erfolgte hierbei selektiv. Hierzu wurden ausschließlich BMW Mitarbeiter aus einer eigens erstellten Versuchspersonendatenbank mit über 135 interessierten Probanden kontaktiert. Aus rechtlichen Gründen durften nur BMW Mitarbeiter diese Versuchsträger bewegen. Ein weiteres Kriterium, das bei der Auswahl berücksichtigt wurde, war das Alter, sodass ausschließlich Personen über 25 Jahre zum Versuch eingeladen wurden. Somit war die Voraussetzung für eine gewisse Fahrerfahrung bzw. Erfahrung im Einparken erfüllt. Das letzte Ausschlusskriterium war die Nutzung einer Sehhilfe. So konnten, technisch durch die Nutzung des Blickerfassungssystems Dikablis bedingt, keine Versuchspersonen mit Brille eingeladen werden. Personen mit Kontaktlinsen hingegen konnten am Realversuch teilnehmen. Insgesamt wurden 32 Versuchspersonen eingeladen, wobei letztendlich termin- oder krankheitsbedingt nur 25 Versuchspersonen tatsächlich erschienen. Das Versuchspersonenkollektiv bestand aus 16% Frauen und 84% Männer. Dies stellt zwar keine homogene Gruppe dar, aber dafür eine BMW typische Geschlechterverteilung der Mitarbeiter. Das Altersspektrum der Probanden reichte hierbei von 26 bis 55 Jahre und betrug im Mittel 36,4 Jahre.

5.4 Versuchsdurchführung

Der Versuch fand, wie im vorherigen Verlauf dieser Arbeit schon erwähnt, in der Rathenastraße, einer Einbahnstraße in München statt. Die Parklücke für die Versuchspersonen wurde aus sicherheits- und versicherungstechnischen Gründen durch zwei weitere BMW eigene Fahrzeuge begrenzt. Die Ausrichtung der Fahrzeuge erfolgte hierbei mittels eines Maßbandes, sodass für jede Versuchsperson eine gleichgroße Parklücke mit einer Länge von $l = 6,40m$ gewährleistet werden konnte. Die optimale Zeiteinteilung und Dauer des Versuchs wurde bei der Versuchsplanung unter Berücksichtigung der Anzahl der Einparkversuche durch mehrere Vorversuche ermittelt und betrug $T = 1,5h$ pro Versuchsperson. Ferner war der zum Versuch vorliegende



(a) Parklücke

(b) Eingeparktes Fahrzeug

Abbildung 5.1 : Versuchsszenario

Versuchsfragebogen (siehe Anhang Versuchsfragebogen) so aufgebaut, dass er einen Leitfaden durch den gesamten Versuchsablauf und die einzelnen Versuchsaufgaben bildete. Die Versuchsperson wurde mit dem Versuchsträger an einem vorher definierten Treffpunkt abgeholt, und durfte zur Eingewöhnung an das Fahrzeug selbstständig zum Versuchsort fahren. Um hierbei einen möglichst zeitoptimierten Ablauf zu gewährleisten, wurde schon während der Fahrt zum Versuchsort der Proband seitens des Versuchsleiters zu persönlichen Daten wie jährliche Fahrleistung, Alter, etc. interviewt. Nebenbei bekamen die Versuchsteilnehmer noch eine kurze Einführung in die Zielsetzung der Evaluierung und nähere Informationen über den Ablauf vom Versuchsleiter. Nach dem Erreichen des Versuchsortes bekam der Proband dann den Fragebogen ausgehändigt, der außer detaillierten Informationen der Untersuchungsabfolge, zusätzliche Informationen zum Blickerfassungssystem Dikablis und eine Vertraulichkeitserklärung, die von den Versuchspersonen unterzeichnet werden musste, enthielt. Nach dem Aufsetzen des Dikablis Kopfsystems wurde die Kopffreiheit des Probanden überprüft und gegebenenfalls die abgehende Leitung des kopfbasierten Systems so verlegt, dass die Einschränkungen minimal waren. Danach erfolgte die Justierung des Blickerfassungssystems. Zur Kalibrierung von Dikablis benötigt man hierfür feste Punkte, die auf einer Ebene liegen müssen. Nach der Auswahl dieser Kalibrierungspunkte durch den Versuchsleiter musste die Versuchsperson ohne ihren Kopf zu bewegen, diese Punkte mit ihren Augen fokussieren. Anhand des dem Versuchsleiter zur Verfügung stehenden Videobildes, konnte dieser das Blickerfassungssystem einstellen. Zusätzlich wurde die vorgenommene Justierung nochmals mithilfe der für den Versuch ausschlaggebenden Area-of-Interests (AOI), wie zum Beispiel dem Blick in die Spiegel oder auch durch den Blick in das Systemdisplay, überprüft. Die Hauptaufgabe der Probanden im Realversuch bestand darin, den Versuchsträger unter folgenden Bedingungen mit bzw. ohne Assistenzsystem rückwärts längs einzuparken:

- Einparken in zwei Zügen (d.h. nur einmal rückwärts und einmal vorwärts fahren),

- den Abstand zum Bordstein ohne jeglichen Kontakt zu minimieren,
- das Fahrzeug möglichst mittig zwischen den zwei parkstandbegrenzenden PKWs platzieren,
- die Einparkzeit minimieren (wobei trotz des Zeitdrucks sicheres Einparken vorausgesetzt wurde),
- und den Versatz des Fahrzeuges zu minimieren (Parallelität zum Bordstein gewährleisten).

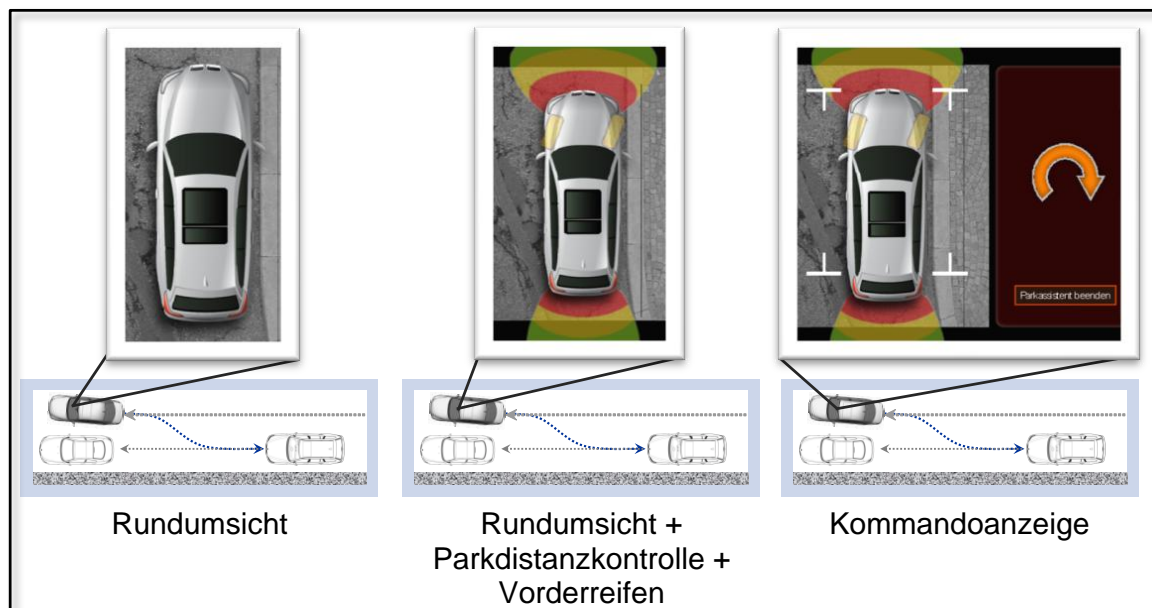


Abbildung 5.2 : Versuchsserienfolge von links nach rechts (Variante 2-4)

Der Versuch begann mit der Variante 1. Hierbei musste die Versuchsperson ohne Assistenzsysteme (auch ohne optische/ akustische Parkdistanzkontrolle) zwischen den zwei Fahrzeugen, wie in Abbildung 5.1 gezeigt, einparken. Um der Versuchsperson die Möglichkeit zu geben, sich an das Fahrzeug und an die Einparksituation zu gewöhnen, wurden je zwei Übungsversuche gestattet. Die daran anschließenden beiden Parkvorgänge wurden als Messversuch gewertet. Die erreichten Abstände und die Einparkzeit der jeweiligen Versuchsperson wurden im Fragebogen dokumentiert. Der zweite Messversuch diente hierbei zur späteren Mittelwertbildung, um die Auswirkungen des Zufalls zu minimieren und somit die wissenschaftliche Richtigkeit der Datenerhebung zu gewährleisten. Analog zu der Einparkvariante 1 wurden auch die Varianten 2-4 wie in Abbildung 5.2 jeweils durchgeführt. Die Versuchsserienfolge wurde für jeden Probanden gleich festgelegt und zwar immer vom Einparken ohne Assistenzsystem bis hin zur Kommandoanzeige. Dies wurde deshalb so geplant, damit die Fahrer zuerst Systeme mit geringem bis hin zu hohem Informationsgrad nutzen mussten, um sich an die neuen Systeme besser während des Versuchs gewöhnen zu können. So

konnte sich die Versuchsperson mit zwei Übungsversuchen an das jeweilige Assistenzsystem gewöhnen, während die zwei daran anschließenden Versuche gewertet wurden. Insgesamt parkte der Proband folglich im ganzen Versuch 16-mal zwischen den zwei Fahrzeugen wie in Abbildung 5.2 beschrieben, ein. Zwischen den Parkmanövern der einzelnen Varianten mussten die Versuchspersonen jeweils den Fragebogen PS-SUQ und NASA-TLX beantworten. Um auch hier eine Zeitoptimierung zu erreichen, wurden die Fragen wieder seitens des Versuchsleiters vorgelesen, und die gegebenen Antworten dokumentiert. Auch die Justierung des Blickerfassungssystems wurde wiederholt vom Versuchsleiter überprüft. Nach Abschluss des letzten Parkmanövers und Ausfüllen des letzten Fragebogenteils wurde die Versuchsperson zum Treffpunkt zurückgefahren und der nächste Proband abgeholt. Also wurden unter Berücksichtigung der Zeitplanung pro Versuchstag fünf Untersuchungen mit unterschiedlichen Probanden durchgeführt. Der Versuchstag begann jeweils um 08.30 Uhr mit der ersten Versuchsperson und endete um 17.00 Uhr, wobei 1h Stunde als Pause für den Versuchsleiter vorgesehen war.

6 Untersuchungsergebnisse Sichterweiterung

Die Auswertung und Interpretation der im Realversuch erhobenen Daten ist Gegenstand dieses Kapitels. Für die Bewertung der Konzepte wurde eine statistische Analyse der erfassten Messdaten im Versuch durchgeführt. Vorher bestand aber die Notwendigkeit, die während des Realversuchs ermittelten Rohmessdaten einer Datenaufbereitung zu unterziehen, die nachfolgend detailliert erläutert wird.

6.1 Datenaufbereitung und -analyse

Die Datenaufbereitung beinhaltet neben der Zusammenfassung und Kategorisierung der Daten auch eine Filterung von nicht gültigen Messwerten. Sie beginnt mit dem Übertragen der schriftlichen Papierfragebögen in eine elektronisch auswertbare Form, wie zum Beispiel eine Microsoft Excel Tabelle. Liegen die Rohdaten elektronisch vor, kann die Zusammenfassung, Kategorisierung und Filterung von nicht gültigen Werten erfolgen. Die Datenaufbereitung der während des Realversuchs erhobenen Blickdaten gestaltete sich hierbei etwas arbeitsintensiver. So mussten zuerst die aufgezeichneten Blickfilme gesichtet, teilweise zugeordnet aber auch in seltenen Fällen in Bezug auf die Pupillenerkennung manuell nachbearbeitet werden, um sie dann der Dikablis eigenen Auswertesoftware zuzuführen. Mit diesem Auswertewerkzeug erfolgte dann letztendlich das Triggern der wichtigen Areas-of-Interest (AOI). Nach Abschluss dieser Prozedur lagen alle ermittelten Blickdaten aus den Videoaufzeichnungen zusammengefasst, kategorisiert und gefiltert als Microsoft Excel Tabelle vor. Anschließend an die Aufbereitung aller ermittelten Versuchsdaten konnte die Datenanalyse bzw. statistische Auswertung durchgeführt werden. Die Auswertung der Versuchsdaten wurde bei dem Realversuch mit Methoden der Inferenzstatistik, in diesem Falle mit der ANOVA (Analysis of Variance) durchgeführt.

In Diagramm 6.1 ist die Altersverteilung des Versuchspersonenkollektivs dargestellt.

6.2 Auswertung objektive Daten

Mithilfe der statistischen Auswertung der Leistungsdaten sollte ermittelt werden, ob die Nutzung der drei Assistenzsysteme Rundumsicht (RUS), erweiterte Rundumsicht mit Parkdistanzkontrolle und Vorderreifen (RUS+) und der Kommandoanzeige (Kommando) eine Verbesserung der Einparkleistung gegenüber dem Einparken ohne jegliche Assistenz (noAssist) erzielt. Die statistische Auswertung der Leistungsmessdaten mit der univariaten ANOVA mit Messwiederholung lieferte hierbei einen signifikanten Unterschied ($F = 14,12; p < 0,00$) zwischen den Systemvarianten.

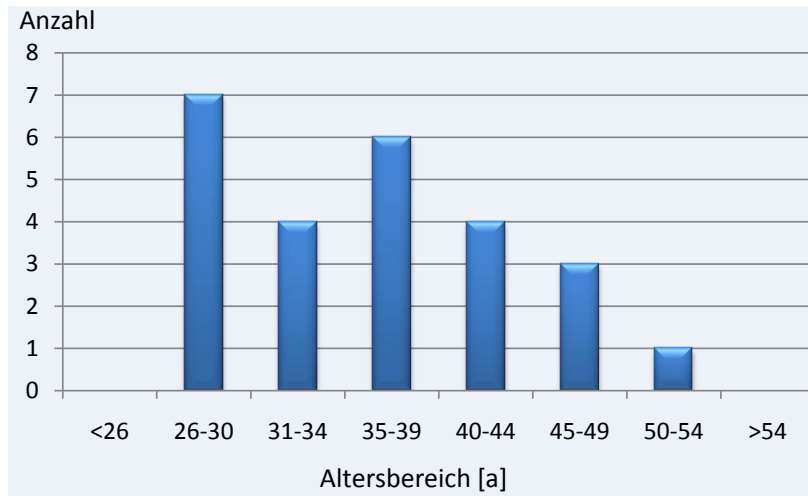


Abbildung 6.1 : Altersverteilung Versuchspersonenkollektiv

Aufgrund der abhängigen Stichproben wurde eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Der paarweise Vergleich der Systemvarianten mithilfe des Post-hoc Tests und Bonferoni-Korrektur zeigte, dass die Nutzung des Systems Kommandoanzeige (Systemvariante 4) eine ca. 50%ige Verschlechterung der Einparkleistung gegenüber dem Einparken ohne Assistenz verursacht. Des Weiteren ist aus den Ergebnissen ersichtlich, dass durch die Nutzung des Systems Rundumsicht (RUS) und erweiterten Rundumsicht (RUS+) kein merklicher Vorteil oder Nachteil, gegenüber dem Einparken ohne Assistenzsystem entsteht. Möchte man eine detailliertere und

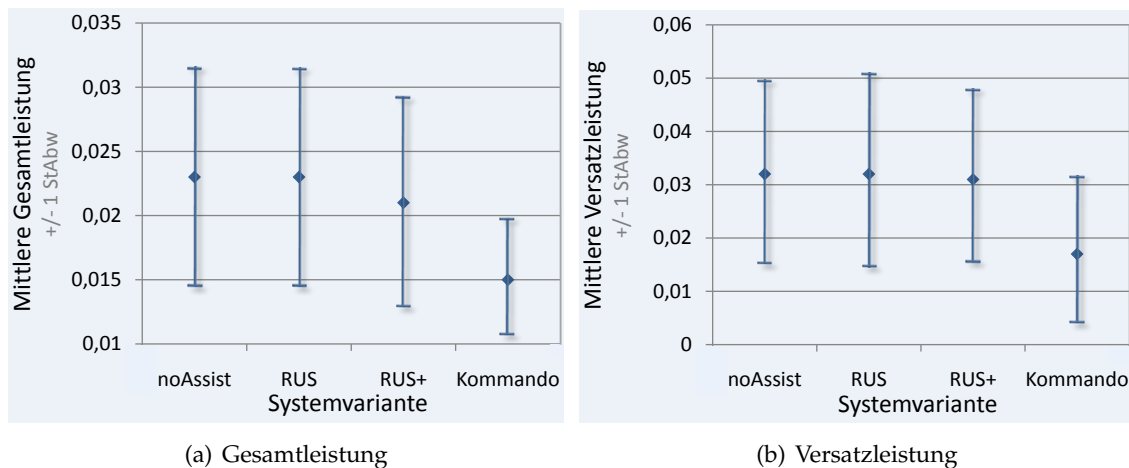


Abbildung 6.2 : Einparkleistungen

differenziertere Aussage über die erzielte Einparkleistung bei den unterschiedlichen Systemen treffen, müssen die Leistungsdaten der Systemvarianten, unterteilt in die „Einparkleistung mittig“, „Einparkleistung seitlich“ und „Einparkleistung Versatz“, betrachtet werden. So ergab die statistische Auswertung der „Einparkleistung mittig“ im Einzelnen keinen signifikanten Unterschied ($F = 2,22$; $p = 0,09$) zwischen den

Systemvarianten. Auch die statistische Auswertung der „Einparkleistung seitlich“ lieferte mit den Werten ($F = 2,39; p = 0,08$) keinen signifikanten Unterschied zwischen den Assistenzvarianten. Lediglich die gesonderte Betrachtung der Ergebnisse der statistischen Auswertung der Versatzleistung zeigte einen signifikanten Unterschied ($F = 11,70; p < 0,00$). So ist aus dem Diagramm in Abbildung 6.2 ersichtlich, dass das System Kommandoanzeige (Systemvariante 4) eine bis zu 100%ige Verschlechterung der Versatzleistung in dieser Konstellation mit sich bringt. Eine mögliche Erklärung für die schlechte Versatzleistung der Kommandoanzeige, obwohl bei dieser eine optimale Einparkkurve gefahren wird, kann in der Ausgangsausrichtung des Fahrzeugs gefunden werden. So scheint die Ausrichtung nur anhand der Rundumsicht für viele Probanden im Erstkontakt ungewohnt und nicht mit der geforderten Präzision durchführbar, woraus sich wiederum unter Berücksichtigung der statisch vorgegebenen Einparkkurve die schlechtere Versatzleistung ergab. Es wird jedoch vermutet, dass durch mehrmalige Nutzung und Gewöhnung an das System seitens des Fahrers eine genauere Positionierung erreicht werden könnte, wodurch eine Verbesserung der Versatzleistung bei der Kommandoanzeige resultieren würde.

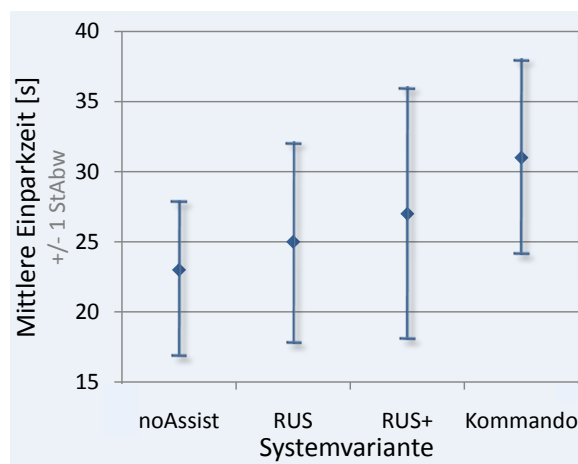


Abbildung 6.3 : Einparkzeit

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Datenanalyse ist die Betrachtung der Einparkzeit, die Auskunft darüber geben soll, ob durch den Einsatz der Assistenzsysteme Rundumsicht (RUS), erweiterte Rundumsicht (RUS+) und Kommandoanzeige der Parkvorgang schneller durchgeführt werden kann. Auch hier erfolgte die statistische Auswertung unter Zuhilfenahme der univariaten Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung und einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$. Betrachtet man die Auswertungsergebnisse der Einparkzeiten, ergab sich ein signifikanter Unterschied ($F = 18,17; p < 0,00$) zwischen den Systemvarianten. Bei weiterer eingehender Analyse mithilfe des paarweisen Vergleichs und der Betrachtung des Fehlerbalken- (Streu-) Diagramms in Abbildung 6.3, sieht man deutlich, dass sich jede Systemvariante von der anderen signifikant unterscheidet bzw. sich im statistischen Graubereich befindet. Außerdem lässt sich folgendes Unterschiedsverhältnis zwischen den untersuchten

Varianten aufstellen: $t_{Var1} < t_{Var2} < t_{Var3} < t_{Var4}$. Unter Berücksichtigung dieser Reihenfolge und der Tatsache, dass sich zwischen der langsamsten Systemvariante 4 (Kommandoanzeige) und der schnellsten Systemvariante 1 (noAssist) ein Einparkzeitunterschied von $t \approx 10s$ ergab, kann man folgende zusammenfassende Aussage treffen: Je höher der Informationsgrad der Assistenzsysteme zur Unterstützung des Parkvorgangs, desto höher ist die Einparkzeit im Erstkontakt. Der Hinweis auf den Erstkontakt ist hierbei unumgänglich, da durch die in diesem Versuch erhobenen Daten keine Aussage über die Auswirkung der einzelnen Systeme nach der Lernphase getroffen werden kann. Es kann lediglich die Vermutung geäußert werden, dass nach Abschluss der Lernphase der einzelnen Systeme, ein hohes Potenzial gegenüber dem Einparken ohne Assistenz besteht, die Einparkzeit zu verringern.

Das Beschädigen der Felgen beim Einparken durch den Kontakt mit dem Bordstein kann sehr ärgerlich, und in Anbetracht der heute oft verwendeten Aluminiumfelgen im Premiumsegment zumeist recht teuer sein. Auch jeglicher Kontakt mit den parkplatzbegrenzenden Fahrzeugen oder anderen Objekten verursacht neben unangenehmen Momenten meist hohe Kosten. So soll die Auswertung der Fehlerrate beim Realversuch Aufschluss darüber geben, ob und in welchem Maße die neu entwickelten Fahrerassistenzsysteme die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit dem Bordstein oder einem umliegenden Fahrzeug vermindern können. Bei der Auswertung in dieser Arbeit werden hierbei zwei Fehlerarten unterschieden. Zum einen der Kontakt von Reifen mit Bordstein und zum anderen der Kontakt von parkendem Fahrzeug mit anderen Objekten, wie z. B. Parkstand begrenzende Fahrzeuge. Die einzelnen Fehlerraten der Versuchspersonen können hierbei dem Diagramm in Abbildung 6.4 entnommen werden. Man erkennt sehr deutlich im

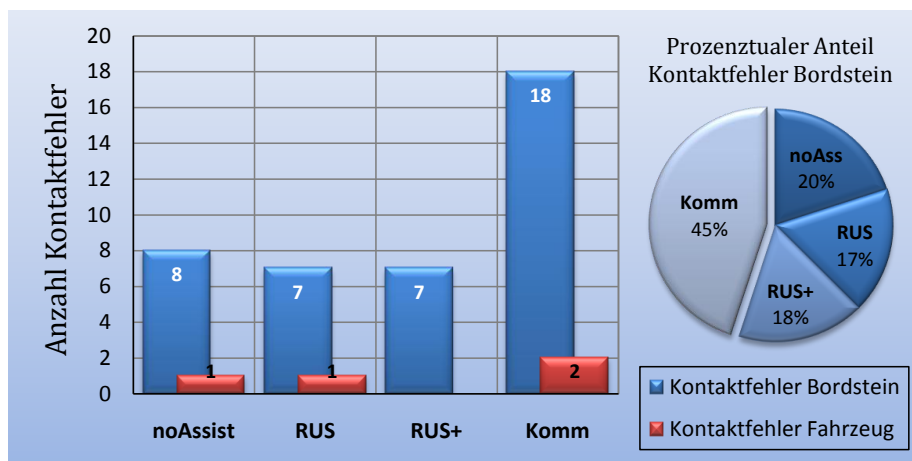


Abbildung 6.4 : Kontaktfehler

Schaubild, dass die Anzahl der Fahrzeugkontakte bei allen Systemvarianten von 1 bis 4 beinahe einer Gleichverteilung entspricht. Die Betrachtung der Fehlerrate bezüglich des Bordsteinkontaktes zeigt aber deutliche Unterschiede zwischen den Systemen (siehe Abb. 6.4). Ist die Fehlerrate bei den Systemvarianten keine Assistenz (noAssist),

Rundumsicht (RUS) und erweiterte Rundumsicht (RUS+) gleich, so kann man aber bei der Systemvariante Kommandoanzeige klar erkennen, dass die Fehlerrate um bis zu 157% höher liegt. Eine mögliche Erklärung dafür ist wieder die Problematik bei der Ausgangspositionierung des Fahrzeugs. Da beim System Kommandoanzeige eine statische Einparklinie abgefahren wird, führt eine ungenaue Ausgangspositionierung meist zum Kontakt des hinteren Reifens mit dem Bordstein. So kann auch hier die Vermutung geäußert werden, dass bei genauerer Ausgangspositionierung potenziell eine Verminderung der Kontaktfehler mit dem Bordstein erzielt werden könnte.

Neben den Abstandsdaten im Realversuch wurden Blickdaten durch das Dikablis System erfasst. So soll die Auswertung der Fixationen Erkenntnisse über die visuelle Ablenkungswirkung der neu entwickelten Systeme liefern. Prinzipiell wurde bei der Analyse zwischen fünf unterschiedlichen Area-of-Interests (AOI) unterschieden, wobei die prozentuale Nutzung und die Blickdauer bezogen auf das Systemdisplay einen fundamentalen Aspekt in dieser Arbeit darstellt. Auch die prozentuale Nutzung und die Fixationsdauer in den Spiegel- und Heckscheibenbereich bildeten hierbei wichtige AOIs der Datenanalyse. So lieferte die statistische Auswertung der Blickdaten, bezogen auf die prozentuale Nutzung der Spiegel einen signifikanten Unterschied ($F = 13,00; p < 0,00$) zwischen den Systemvarianten. Aus dem Boxplot der Abbildung 8.1 ist klar zu erkennen, dass sich mit steigendem Informationsgrad der Assistenzsysteme der Fixationsanteil des Spiegelbereichs verminderte. Auch die durchschnittliche Blickdauer in die Spiegel (Innenspiegel, rechter oder linker Außenspiegel) reduzierte sich signifikant ($F = 7,47; p < 0,00$) von durchschnittlich $t_{Blick} = 1208ms$ auf $t_{Blick} = 631ms$. Allein mit diesen Ergebnissen kann aber keine detaillierte Aussage getroffen werden, inwieweit eine Ablenkung durch die Systeme erfolgte. Hierzu muss noch ein weiteres, für den Einparkvorgang wichtiges AOI, der Blick in den Heckscheibenbereich untersucht werden. Die Analyse der durchschnitt-

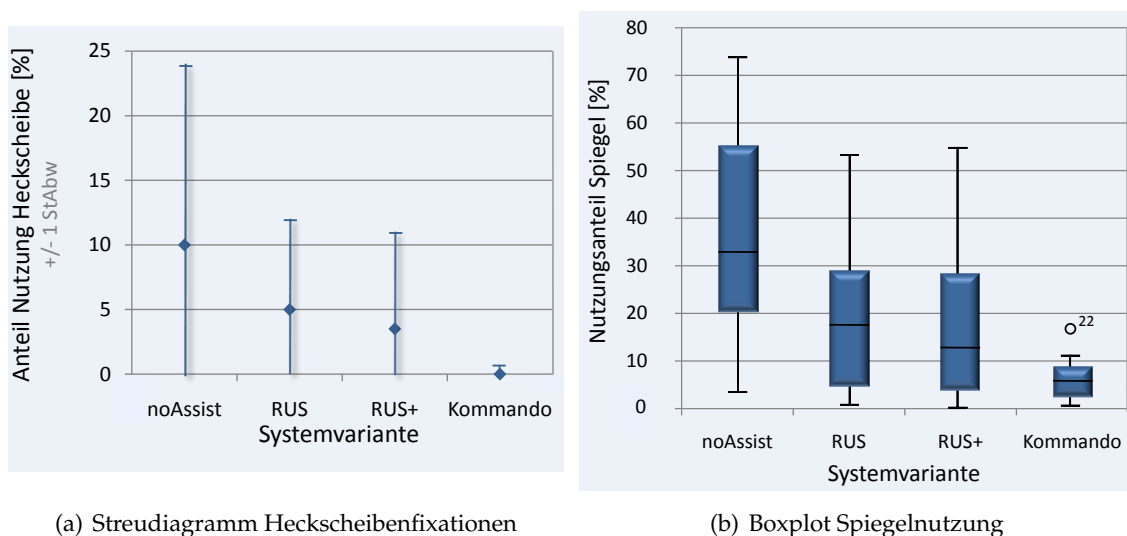


Abbildung 6.5 : Prozentualer Anteile Fixationsdauern während des Parkvorgangs

lichen Fixationsdauer auf die Heckscheibe zeigte, dass bei steigendem Informationsgehalt im Display fast keine Kontrollblicke mehr erfolgen, wie im Diagramm 8.1 deutlich wird ($F = 7,50; p < 0,00$). So verringerte sich die durchschnittliche Blickdauer von $t_{Heckblick} = 1386ms$ auf $t_{Heckblick} = 0ms$ mit steigendem Informationsgrad im Systemdisplay. Der letzte zu untersuchende Aspekt der Blickauswertung ist der Blick in das Systemdisplay. Die Auswertung soll hierbei Klarheit verschaffen, in welchem Maße die angezeigten Informationen im Informationsdisplay vom umliegenden Verkehrsgeschehen ablenkten. Denn solange der Fahrer die Anzeige fokussiert, kann er den umliegenden bzw. herannahenden Verkehr nicht wahrnehmen, was zu einem erhöhten Verkehrsrisiko führen kann. Die statistische Auswertung der prozentualen Nutzung des Displays lieferte signifikante Unterschiede zwischen den Systemvarianten ($F = 93,01; p < 0,00$). Betrachtet man den paarweisen Vergleich zeigt sich,

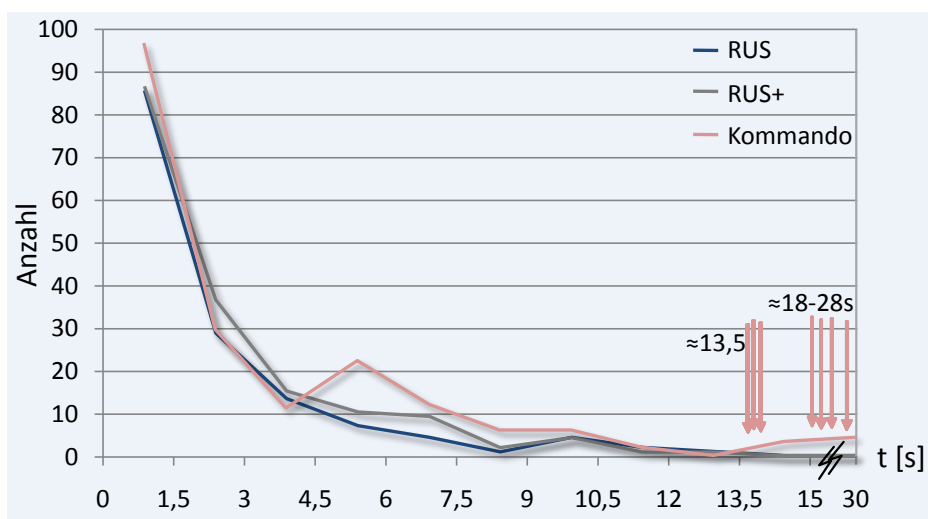


Abbildung 6.6 : Maximale Fixationsdauern auf Display

dass jede Systemvariante zur anderen einen signifikanten Unterschied aufweist. So ergaben sich bei der Systemvariante Kommandoanzeige maximale Fixationsdauern von bis zu $t_{maxFix} = 28s$. Das bedeutet, dass einige Probanden während des gesamten Parkvorgangs keinen einzigen Kontrollblick durchgeführt haben, sondern sich vollständig auf das Assistenzsystem konzentrierten, wie in Diagramm 6.6 dargestellt. Die durchschnittliche Fixationsdauer auf das Display stieg hierbei von $t_{Fix} = 2000ms$ bei der Rundumsicht auf $t_{Fix} \approx 4000ms$ bei der Kommandoanzeige. Diese lange Fokussierung kann somit eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit darstellen. Durch die Rundumsichtanzeige erhält der Fahrer jedoch innerhalb eines 1,5m Radius Informationen darüber, was um das Fahrzeug herum vorgeht, weshalb das Sicherheitsrisiko durch lange Displayblicke wieder etwas reduziert wird. Allerdings kann der Fahrer beim Blick auf das Display auf schnelle Objekte, die sich zunächst außerhalb des Kameraerfassungsbereichs der Rundumsicht befinden und dann vor das Fahrzeug geraten, nicht schnell genug reagieren. Beispiele hierfür wären Fußgänger oder Kinder, die noch schnell vor oder hinter dem parkenden Fahrzeug vorbeilaufen wollen.

Dazu müsste noch zusätzlich eine Kollisionswarnung implementiert werden, die mit Hilfe einer Bildverarbeitung der Videodaten gefährliche Objekte rechtzeitig detektiert. Der Erfassungsbereich der Kameras ist nämlich viel größer als die angezeigten 1,5m rund um das Auto. Jedoch kann für die Draufsicht - bedingt durch die Verzerrungen bei der Überlagerung und Berechnung - kein größeres Umfeld angezeigt werden. Eine Objektdetektion innerhalb des Öffnungswinkelbereichs der Kameras könnte jedoch einen viel größeren Bereich um das Fahrzeug herum abdecken, und so zur Sicherheit und Risikominimierung beitragen. Das bedeutet, dass eine derart lange Fixationsdauer, wie sie bei der Kommandoanzeige auf das Display auftritt, durchaus mit Hilfe solch einer Kollisionswarnung gerechtfertigt werden kann. Damit wird der Blick des Fahrers nicht zwangsläufig durch spezielle Display-Anzeigeorte wieder auf Kontrollblicke zurückgeführt.

Zusammenfassend kann man bei der statistischen Blickauswertung folgende Aussage treffen: Mit steigendem Informationsgrad im Systemdisplay liegt eine erhöhte Ablenkungswirkung durch das Assistenzsystem vor. Somit kann sich ein potenziell höheres Verkehrsrisiko ergeben, das mithilfe technischer Maßnahmen jedoch neutralisiert werden kann. Übrig bleibt immer noch eine Verringerung des Diskomforts.

Außerdem zeigt die objektive Datenauswertung, dass die hier in dieser Arbeit konzipierten Assistenzsysteme zur Unterstützung des Parkvorgangs keinen signifikanten Vorteil in Bezug auf die Einparkqualität, Einparkleistung und Einparkzeit gegenüber dem Einparken ohne Assistenz liefern. Dies lag aber vor allem daran, dass die Lernphase für die Benutzung dieser Parkassistenzsysteme nicht ausreichend groß war. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass bei steigender Nutzungshäufigkeit die Leistungen immer besser wurden. Objektiv kann dies leider nicht belegt werden, da die ersten beiden Testversuche jedes Konzepts nicht aufgezeichnet wurden, was sich im Nachhinein als Fehler herausstellte. Der Versuchsleiter konnte jedoch beobachten, dass bei diesen ersten beiden Versuchen die Probanden viel länger zum Einparken benötigten als ohne Assistenzsystem. Erst bei den beiden Messfahrten jedes Konzepts erzielten die Versuchsteilnehmer ähnliche Einparkleistungen wie ohne Assistenz. Es wird folglich abgeschätzt, dass nach spätestens 50 Parkvorgängen die Systeme so weit erlernt werden können, dass die Einparkleistung bei den Parkassistenzkonzepten gegenüber ohne Unterstützung erhöht werden kann.

6.3 Auswertung subjektive Daten

Neben den objektiven Bewertungen dieses Versuchs wurden auch subjektive Daten mittels des PSSUQ Fragebogens, NASA TLX Tests und anderen zu den Systemen spezifischen Fragen erhoben. Die statistische Auswertung dieser Daten erfolgte analog der objektiven Datenauswertung mittels der univariaten Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung, da hier ein vollfaktorielles Versuchsdesign vorlag.

Die statistische Auswertung des PSSUQ Fragebogens sollte hierbei primär einen

Vergleich zwischen den unterschiedlichen Systemen bezüglich der Gebrauchstauglichkeit liefern. Jedoch ergab die Fragebogenauswertung keinen Unterschied zwischen den Systemen Rundumsicht, erweiterte Rundumsicht und Kommandoanzeige. Alle Systemkomponenten bezüglich Interfacequalität, Informationsqualität und Gebrauchstauglichkeit wurden bei allen drei unterschiedlichen Systemen seitens der Probanden als gleich gut bewertet.

Als Nächstes werden die Ergebnisse des Beanspruchungstests präsentiert. Hierbei wurden jedoch nicht die einzelnen Systemvarianten unterschieden sondern lediglich die Beanspruchung ohne und mit Assistenzsystem ermittelt. Aus vorherigen Untersuchungen hat sich nämlich ergeben, dass der NASA-TLX bei der Bewertung der Beanspruchung bei der Nutzung unterschiedlicher Anzeigekonzepte nicht sehr gut differenzieren kann. Deshalb konnte die statistische Auswertung mit einem t-Test erfolgen. Der t-Test lieferte allerdings ($T = 0,01$; $p = 0,99$) keinen Unterschied zwischen den zwei Variablen in Bezug auf die Gesamtbeanspruchung. Lediglich die detaillierte Betrachtung der einzelnen Beanspruchungsdimensionen Geistig ($T = 2,62$; $p = 0,02$) und Leistung ($T = 2,17$; $p = 0,04$) ergab einen signifikanten Unterschied. Aus

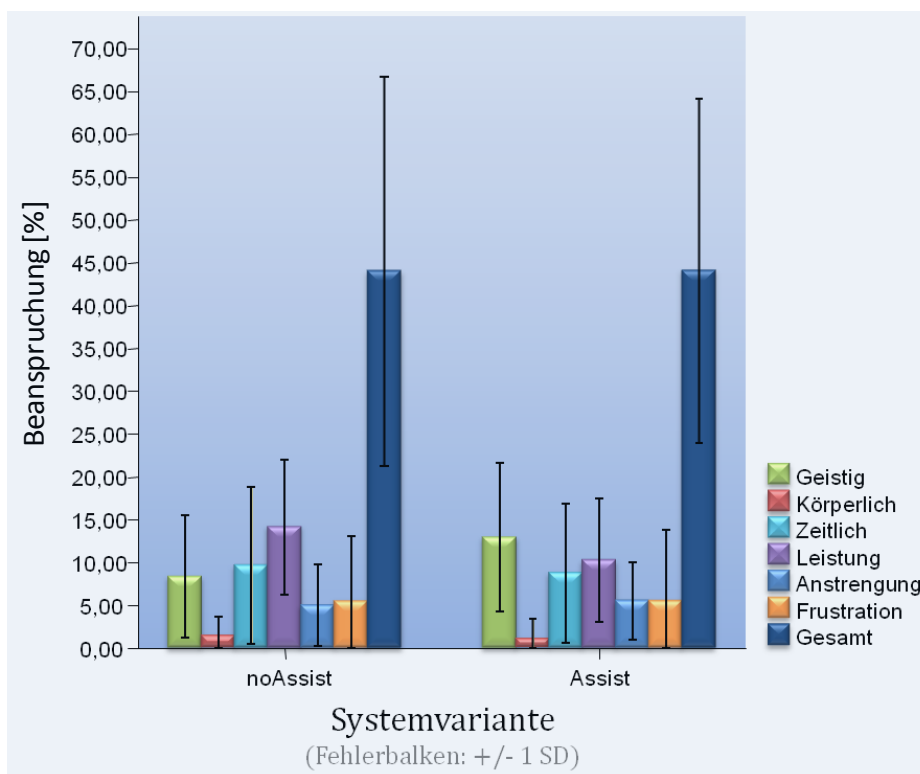


Abbildung 6.7 : NASA-TLX Beanspruchungstest mit und ohne Parkassistenzsystem

dem Diagramm der Abbildung 6.7 kann entnommen werden, dass die geistige bzw. mentale Beanspruchung beim Einparken mit Assistenzsystem um ca. 55% höher liegt als beim Einparken ohne Assistenz. Wohingegen sich die Beanspruchung, verursacht durch den Leistungsdruck beim Einparken mit Assistenzsystem, im Vergleich zum Einparken ohne Assistenzsystem um ca. 27% verringert. Dies bedeutet, dass sich

die Beanspruchung durch die Nutzung von Assistenzsystemen verlagert und zwar vom Leistungsdruck (ohne Assistenz) auf eine höhere geistige Anforderung (mit Assistenz). Die höhere geistige Beanspruchung mit Unterstützung liegt wohl daran, dass die Systeme noch nicht vollständig erlernt worden sind und der Fahrer nun zwei Aufgaben simultan erledigen muss. Bei abgeschlossener Lernphase kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auch die Gesamtbeanspruchung bei der Nutzung mit Assistenz gegenüber ohne reduziert werden kann.

Den letzten abschließenden Punkt der statistischen Auswertung der subjektiven Daten des Realversuchs bildete die Auswertung der Fragen bezogen auf die einzelnen Komponenten der neu entwickelten Systeme. Hierbei mussten die Versuchspersonen jeweils auf einer Skala von 1 bis 7 (1 = stimme voll zu; 7 = lehne entschieden ab) bewerten, inwieweit die Einzelkomponenten die Orientierung und die Einparkleistung der Fahrer verbesserte. Die erste Frage bezog sich hierbei auf die Komponenten der animierten Reifen, wobei die Probanden bewerten sollten, in welchem Maße die angezeigten Informationen (Reifenstellung) zur besseren Orientierung bzw. zur Verbesserung der Einparkleistung beitragen. Die Auswertung der Fragebogendaten ergab hierbei gegensätzliche Aussagen bezüglich der besseren Orientierung und Einparkleistung. Für etwa die Hälfte der Versuchspersonen trifft diese Aussage zu, die andere Hälfte sieht keine Verbesserung, lehnt jedoch die Anzeige nicht ab. Man kann deshalb unter Anbetracht der geteilten Meinung trotzdem diese Unterstützungsvariante in kamerabasierten Parkassistenzsystemen anbieten.

Die nächste Komponente, die zur Bewertung für die Probanden zur Verfügung stand, war die Überlagerung des PDC-Bildes mit der Rundumsichtanzeige halbtransparent. Dabei sollte bewertet werden, ob diese Überlagerung sinnvoll ist, und die Anzeige des Umfelds kombiniert mit einer Systembewertung des Abstands zu Objekten, die die Einparkqualität verbessert. Hierbei ist die Mehrzahl der Versuchspersonen von der Verbesserung der Einparkleistung durch das halbtransparente PDC-Bild überzeugt.

Nach der Bewertung der halbtransparenten PDC-Anzeige, die über das eigentliche Rundumsichtbild eingeblendet wurde, sollte die Rundumsicht getrennt bewertet werden. Hierbei war die zentrale Fragestellung wieder nach der Einschätzung der Versuchspersonen bezüglich der besseren Orientierung und Einparkleistung durch die Rundumsicht. Die Auswertung des Versuchsfragebogens lieferte hier ein eindeutiges Ergebnis. So bewerteten alle teilnehmenden Versuchspersonen die Rundumsicht beim Parken als durchgehend positiv, bezogen auf die Verbesserung der Orientierung beim Parken und der Einparkleistung. Somit wurde die Rundumsicht als äußerst hilfreich bewertet.

Die letzte Einzelkomponente der neu entwickelten Parkassistenzsysteme, die zur Bewertung für die Versuchspersonen zur Verfügung stand, war die Kommandoanzeige. Auch hier sollte bewertet werden, ob und in welchem Maße die Nutzung der Kommandoanzeige eine Verbesserung der Orientierung und der Einparkleistung mit sich bringt. Betrachtet man die Auswertung der Daten, ergibt sich, dass die Meinungen über das Verbesserungspotenzial der Kommandoanzeige bezogen auf die Orientierung gegensätzlich sind. Die Ergebnisse bezüglich der Einparkleistung

liefern hierbei eindeutigeren Erkenntnisse. Obwohl sich die Einparkleistung objektiv bei der Kommandoanzeige gegenüber den anderen Systemvarianten im Erstkontakt verschlechterte, ist die Mehrzahl der Versuchspersonen überzeugt, dass die Kommandoanzeige die Einparkleistung mittelfristig nach einer längeren Lernphase verbessert. Deshalb würden 48% der Probanden das System Kommandoanzeige im alltäglichen Gebrauch den anderen Systemen vorziehen. So kann bei einer Verbesserung der objektiven Einparkleistung durch eine optimierte und präzisere Parkausrichtung die Akzeptanz und somit im Endeffekt das Erfolgspotenzial des Systems enorm gesteigert werden.

Den Abschluss der subjektiven Datenanalyse bilden die Aussagen und Vorschläge der Versuchspersonen zu den einzelnen Assistenzsystemen. Hierbei ist der erste zu erwähnende Punkt das Defizit der Akustik. Empfanden mehr als die Hälfte der Versuchspersonen das Fehlen des akustischen PDC-Signals als angenehm, bewertete der geringere Teil des Versuchspersonenkollektivs dies als negativ. Dies deutet darauf hin, dass multimodale Ausgaben zwar ergonomisch sinnvoll sind, aber nicht jede Modalität für den Fahrer akzeptabel ist. Daraus resultiert, dass die akustische Unterstützung optional angeboten werden sollte. Ein weiterer oft genannter Verbesserungsvorschlag war die Einblendung der Hinterreifen. So war für viele Versuchspersonen die Abstandseinschätzung zwischen dem hinteren Reifen und dem Bordstein sehr schwierig, wodurch die schematische Einblendung der Hinterräder Abhilfe schaffen könnte und in Weiterentwicklungen empfohlen wird.

Ein weiterer Kritikpunkt war die Darstellung von Kommando und Fahrzeugumfeld nebeneinander. Durch diese Darstellung muss der Fahrer ständig den Blick zwischen Kommandoanzeige und Fahrzeugumfeld wechseln, was schließlich auch Einfluss auf die Einparkleistung hatte. Ergonomisch zu empfehlen ist deshalb eine Darstellung, die alle Anzeigen, die ein und dieselbe Fahraufgabe betreffen, in nur einem Anzeigenkomplex anzubieten.

Der letzte, oft erwähnte Punkt mit Verbesserungspotenzial war die geringe Auflösung des Rundumsichtbildes. Leider war es zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung technisch nicht möglich - aufgrund der häufigen Wandlung von NTSC auf PAL für die Implementierung der Zusatzinformationen und die Aufzeichnung im Computer - eine höhere Bildauflösung zu erreichen, diese würde aber eine Erhöhung der Ausrichtungsqualität und damit eine Verbesserung der Einparkleistung mit sich bringen.

Zusammengefasst lieferte die subjektive Datenauswertung in dieser Arbeit keine signifikanten Unterschiede in der Gebrauchstauglichkeit zwischen den Systemen. Damit ist die Methode für die Bewertung von Anzeigekonzepten unterschiedlichen Informationsgehalts, die alle ergonomisch sinnvoll gestaltet sind, nicht differenziert genug. Alle Neuentwicklungen werden seitens der Versuchspersonen bezogen auf die Interfacequalität, Informationsqualität und Systemusability als gleich gut bewertet. Auch die Gesamtbeanspruchung, die mithilfe des NASA-TLX Tests ermittelt wurde, ist beim Parken mit und ohne Assistenz gleich geblieben. Dennoch lieferten die Auswertungen wichtige Erkenntnisse und Tendenzen zur weiteren Optimierung der neu entwickel-

ten Fahrerassistenzsysteme. Besonders das System Kommandoanzeige hat ein großes Potenzial, den Fahrer beim Parken zu unterstützen.

7 Versuchsdesign zur Konzeptevaluierung der Führungsassistenten

Die im Kapitel 4.3 erstellten Konzepte sollen nun mithilfe eines Simulatorversuchs evaluiert werden. Für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit wurde, wie beim Realversuch, der PSSUQ Fragebogen verwendet. Für die Evaluierung der Konzepte wurde ein vollfaktorielles Versuchsdesign ausgewählt, wonach jeder Proband alle Konzepte zu bewerten hatte. Der Versuchsablauf gestaltete sich in 5 Teilversuche:

- Eingewöhnungsfahrt
- Fahrt mit Konzept 1
- Fahrt mit Konzept 2
- Fahrt mit Konzept 3
- Fahrt mit Konzept 4

Während der Eingewöhnungsfahrt konnten sich die Probanden an die Fahrsimulation gewöhnen. Hierbei hatten die Versuchspersonen die Aufgabe um Pylone herumzufahren, um sich auf die Lenkung und das Geschwindigkeitsempfinden einzustellen. Nach der Probefahrt ging es an die Bewertung der Konzepte. Dabei wurde die Reihenfolge der Konzeptfahrten permutiert, d.h., jeder Proband fuhr die unterschiedlichen Konzepte in einer anderen Reihenfolge. Damit sollte erreicht werden, dass Unterschiede in der Einparkleistung nicht auf eine Lernkurve (Gewöhnung) zurückgeführt werden können, sondern ausschließlich aufgrund der verschiedenen Konzepte zustande kommen. Jede einzelne Konzeptfahrt wurde anschließend von dem Probanden durch den PSSUQ-Fragebogen bewertet.

Bei jeder Fahrt war der Parkstandsassistent und die Parkinformation eingeschaltet. Hierbei wurden unterschiedliche Parkstandnutzungsarten realisiert, wie z. B.:

- Parkschild (keine Nutzungseinschränkungen)
- Absolutes Halteverbot
- Halteverbot außerhalb der Versuchszeit
- Halteverbot innerhalb der Versuchszeit
- Kostenpflichtiger Parkstand

Damit sollte erreicht werden, dass häufige Parkstandnutzungsarten durch die Parkstandinformationsanzeige detektiert werden können. Dies sollte den Bedarf an diesem Assistenzsystem aufdecken, denn in Deutschland gibt es vor allem in Städten eine große Anzahl an unterschiedlichen Parkzusatzschildern, die über die Akzeptanz und Ablehnung eines Parkstandes entscheiden können. Da bei der Parkstandsuche wie in den Flussdiagrammen aufgezeigt, sehr viele parallele Prozesse auftreten (u.a. ob der Parkstand Nutzungseinschränkungen aufweist), soll mithilfe der Parkstandinformationsanzeige die Beanspruchung gesenkt und der Diskomfort minimiert werden.

Während der Konzeptfahrten wurde den Probanden folgende Aufgabenstellung übertragen: „Suchen Sie einen kostenlosen Parkstand, der nach StVO zur aktuellen Uhrzeit genutzt werden kann und parken Sie in zwei Zügen (einmal zurückstoßen, einmal nach vorne ziehen) so schnell, so nah am Bordstein, mittig und ohne Versatz, so gut es Ihnen möglich ist, ein. Nutzen Sie für die Parkstandsuche und das Parken die Anzeigen im Display.“ Die Zeitmessung wurde gestartet, wenn ein Fahrer neben dem Fahrzeug angehalten hat, das die Parklücke nach vorne begrenzte, und den Rückwärtsgang einlegte. Nach Beendigung des Parkvorgangs wurde die Zeitmessung angehalten. Für jedes Konzept standen unterschiedlich programmierte Versuchsstrecken zur Verfügung, damit die Versuchspersonen nicht nach einer gewissen Zeit schon erahnen konnten, wann der nächste geeignete Parkstand erreicht wird. Für jedes einzelne Konzept standen jeweils vier Parkstände zur Verfügung, die den oben aufgeführten Kriterien entsprachen, also kostenlos waren und nach StVO verwendet werden konnten. Zwei dieser vier Parkstände dienten zu Beginn der Versuchsfahrt als Eingewöhnungsparkstände für die jeweilige Konzeptnutzung. Die verbleibenden Zwei als Parkstände, wo auch die Einparkzeit und -qualität aufgezeichnet, also als Messfahrten gewertet wurden.

Außerdem wurden noch drei zusätzlich ausreichend große Parkstände in das Versuchsszenario eingebettet, die einer der oben aufgeführten Kriterien für Parkstände entsprachen und nicht laut Aufgabenstellung genutzt werden konnten. Also Parkstände mit einem Halteverbot oder Ähnlichem. Konzeptionell wurden diese Parklücken trotzdem angezeigt, da ein Fahrer durch das System nicht bevormundet werden und selbst entscheiden sollte, ob er einen Parkstand nutzen will oder nicht - was für diesen Versuch hier jedoch nicht galt. Aus diesem Grund wurden ausreichend große Parkstände angezeigt, obwohl sie eventuell nach StVO nicht genutzt werden dürfen. Im Display konnte jedoch über die Parkstandinformationsanzeige ermittelt werden, ob ein Halteverbot besteht oder der Parkplatz kostenpflichtig ist.

Für den Simulatorversuch wurden folgende Hypothesen aufgestellt und getestet:

1. Es gibt einen Unterschied in der Einparkleistung und in der subjektiven Bewertung von Folge-(Konzept 1) und Kompensationsanzeige (Konzept 2).
2. Es gibt einen Unterschied in der Einparkleistung und in der subjektiven Bewertung der Soll-/Ist-Anzeige über die gesamte Parkaufgabe in Form der Trajektorie (Konzept 3) und der Kommandoanzeige (Konzept 4).

Nachdem ein Fahrer jeweils beide Konzepte jeder Hypothese durchfahren hatte, wurde anschließend noch ein vergleichender Fragebogen ausgefüllt. Dieser beinhaltete die subjektive Beurteilung, welches der Konzepte der jeweiligen Hypothese die Orientierung bzw. Einparkleistung verbessert und welches dieser Konzepte der Proband am akzeptabelsten findet.

Im Anschluss an alle Versuchsfahrten bewertete jeder Proband die Parkstandinformationsanzeige mithilfe des PSSUQ-Fragebogens. Abschließend konnte der Versuchsteilnehmer noch Verbesserungsvorschläge zu den einzelnen Systemen einbringen.

8 Untersuchungsergebnisse

Führungsassistentz

8.1 Auswertung objektive Daten

Betrachtet man die Einparkzeit der einzelnen Konzepte, ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Konzepten 1-4 („KFZ rotiert“; „Welt rotiert“; „Trajektorie“; „Kommando“) mit $F = 11,28$; $p < 0,00$. Die Mittelwerte der Einparkzeiten entsprachen außerdem in etwa den Zeiten im Realversuch. Dies zeigt, dass sich Simulation und Realität diesbezüglich sehr ähneln, was die Vergleichbarkeit des Parkens von Realversuch und Simulatorstudie bekräftigt. Die Auswertung des Post-hoc Vergleichs mit Bonferroni-Korrektur zeigte, dass keine Unterschiede zwischen der Kompensations- und Folgeaufgabe, sowie der Trajektorienanzeige aufgetreten sind ($p_{1;2} = p_{2;3} = p_{1;3} = 1,00$). Allerdings war ein signifikanter Unterschied in der Einparkzeit zwischen Konzept 1-3 und Konzept 4 (Kommandoanzeige) zu verzeichnen ($p_{1;4} \approx p_{2;4} \approx p_{3;4} < 0,00$). Demnach lag die benötigte Einparkzeit bei der Kommandoanzeige gegenüber den anderen Konzepten 1-3 im Mittel um bis zu 35% darüber. Wegen der ständig angezeigten Regeldifferenz bei der Kommandoanzeige während jedem Programmzyklus ist der Proband ständig mit dem Ausgleichen der Regeldifferenz beschäftigt. Auf Grund der menschlichen mentalen Verarbeitungszeit kann der Fahrer nicht ausreichend schnell diese Regeldifferenz ausgleichen, weshalb er für das Abarbeiten der Kommandos und damit schließlich auch für das Parken mehr Zeit benötigte. Allerdings spielt die längere Einparkzeit beim Vergleich der Leistung keine

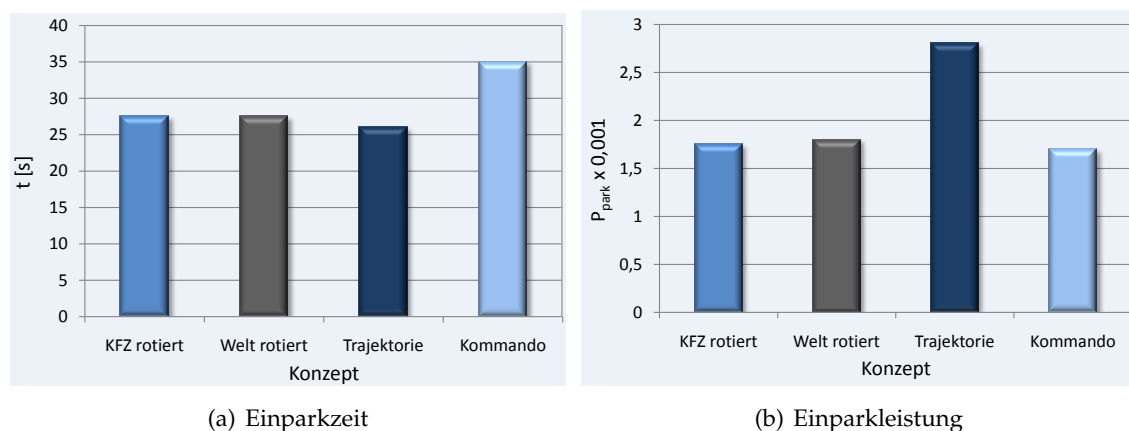


Abbildung 8.1 : Objektiver Vergleich der Konzepte

so große Rolle mehr. Da die Streuung der Parkqualität bei den Konzepten „KFZ ro-

tiert“ und „Welt rotiert“ sehr groß war, ergibt sich deshalb auch (siehe Abbildung 8.2) kein Unterschied in der Einparkleistung im Vergleich zur Kommandoanzeige. Jedoch

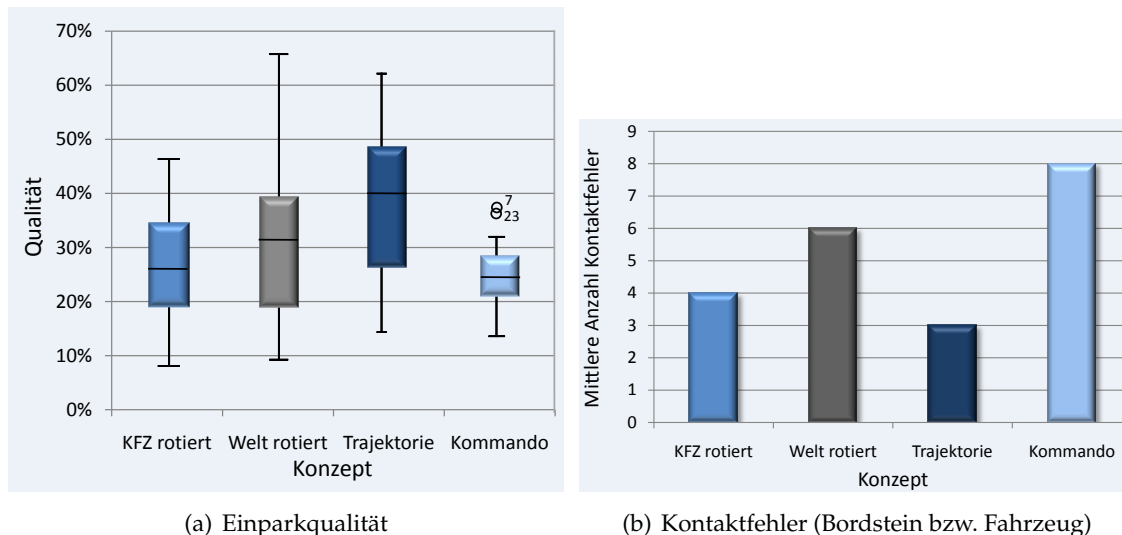


Abbildung 8.2 : Analyse der Parkqualität und der Fehlerrate

zeigte sich insgesamt beim Konzeptvergleich ein signifikanter Unterschied ($F = 6,89$; $p < 0,00$). Der Post-hoc Vergleich lieferte das eindeutige Ergebnis, dass Fahrer mit dem Konzept 3 (Trajektorie) signifikant bessere Einparkleistungen erzielen können, als mit den anderen Konzepten ($p_{3;1} = 0,02$; $p_{3;2} = 0,05$; $p_{3;4} < 0,00$). Somit wird mit der Anzeige der Einparkkurve die Leistung im Mittel um bis zu 75% gegenüber den anderen Konzepten erhöht. Beim Vergleich der Konzepte, was die durchschnittliche Anzahl an Kontaktfehlern betrifft, zeigte sich ebenfalls, dass das Trajektorienkonzept wieder am besten abschneidet. So ist die Fehlerrate bei der Kommandoanzeige und dem Konzept „Welt rotiert“ doppelt so groß als mit dem Konzept der Trajektorie.

Objektiv kann also festgehalten werden, dass keine Unterschiede zwischen Kompensations- und Folgeanzeige aufgetreten sind und dass die Anzeige der Ist-Soll-Kurve der kompletten Aufgabe der Kommandoanzeige bei einer komplexen regelungstechnischen Aufgabe vorzuziehen ist. Die Kommandoanzeige ist in diesem Falle nicht sinnvoll, weil die Kommandos zu schnell für die menschliche Verarbeitungsgeschwindigkeit wechseln. Wenn sich also Kommandoänderungen wie in Kapitel 4.2 zeitlich im Rahmen der menschlichen Reaktionszeit von $T_{Reak} = 0,4s - 1,5s$ abspielen, kann der Fahrer rechtzeitig darauf reagieren. Für komplexe regelungstechnische Aufgaben ist deshalb eine Kommandoanzeige nicht zu empfehlen, wenn es vorkommen kann, dass die Kommandos bedingt durch die Regelabweichung zu schnell wechseln.

Hypothese 1 wird also objektiv betrachtet abgelehnt, während Hypothese 2 bestätigt werden konnte, zugunsten des Konzeptes „Trajektorie“. Besser ist es also für den Fahrer, eine regelungstechnische Aufgabe vollständig als Soll-Ist-Darstellung anzuzeigen und nicht in Form von schrittweisen Kommandos, was auf die menschliche Reaktionszeit zurückgeführt werden konnte.

8.2 Auswertung subjektive Daten

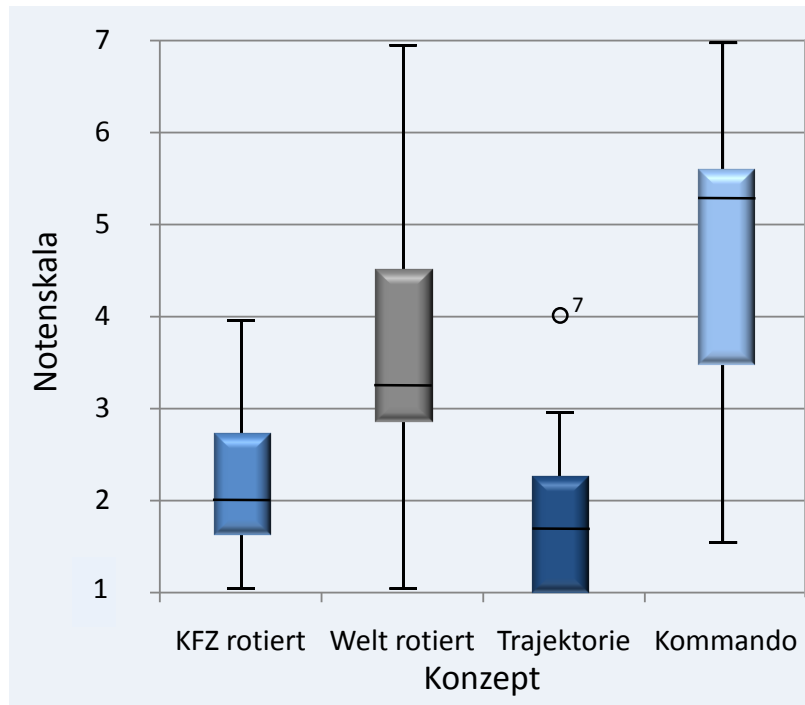


Abbildung 8.3 : Bewertung der Usability der unterschiedlichen Konzepte

Die subjektive Bewertung der Konzepte durch den PSSUQ-Gesamtindex lässt sich nach folgendem signifikanten Verhältnis beschreiben: Trajektorie (3) < KFZ bewegt sich (1) < Umwelt bewegt sich (2) < Kommandoanzeige (4). Also wurde das Konzept „Trajektorie“ durchschnittlich besser bewertet als „KFZ rotiert“, dieses besser als „Welt rotiert“ und dieses schließlich besser als „Kommando“ (vgl. Abbildung 8.3). Dieses Verhältnis lässt sich auch auf die Beurteilung der Konzepte in den einzelnen Kategorien des PSSUQ-Fragebogens Interfacequalität, Bedienbarkeit und Informationsqualität übertragen. Demnach lässt sich eindeutig feststellen, dass es objektiv keinen Unterschied macht, ob eine Kompensations- oder Folgeaufgabe beim Parken angezeigt wird. Jedoch wird subjektiv die Folgeaufgabe als akzeptabler bewertet. Deshalb sollten Anzeigen, wofür der Fahrer die Information des gesamten Fahrzeugumfeldes benötigt, bei Geschwindigkeiten $v < 30\text{km/h}$ in Automobilen als Folgeaufgabe dargestellt werden. Beim Fahren auf einer Autobahn bei höheren Geschwindigkeiten ($v > 30\text{km/h}$) ist dies nicht zu empfehlen. Die Geschwindigkeitsgrenze von $v = 30\text{km/h}$ leitet sich aus der Arbeit von der Untersuchung der Parkstandsuchgeschwindigkeit ab. Die Rundumsichtanzeige ist demnach nicht optimal gestaltet, genauso wenig wie das Assistenzsystem Rückfahrkamera. Dies erscheint auch deshalb sehr logisch, da der Fahrer ein inneres Modell entwickeln muss, um beim Parken richtig einzulenken, indem er sich das Fahrzeug von oben vorstellt. Aus dieser Perspektive wird ihm dann klar, in welche Richtung er zu lenken hat. Diese Vorstellung entspricht der Folgeanzeige. Die Betrachtung als Kompensationsanzeige

ist dagegen schwieriger aufgrund der auftretenden sekundären Inkompatibilität (siehe Kapitel 4.2). Weiter zeigt das Boxplot-Diagramm in Abbildung 8.3, dass die Bewertungen von Kommandoanzeige und Kompensationsaufgabe stark polarisieren. So gab es einige Probanden, die sehr gut mit den Anzeigen umgehen konnten, andere wiederum sehr schlecht. Durchschnittlich betrachtet sind aber beide Anzeigeformen nicht zu empfehlen.

Im Diagramm 8.4 wird noch mal klar gezeigt, welche Konzepte der Anzeigenart

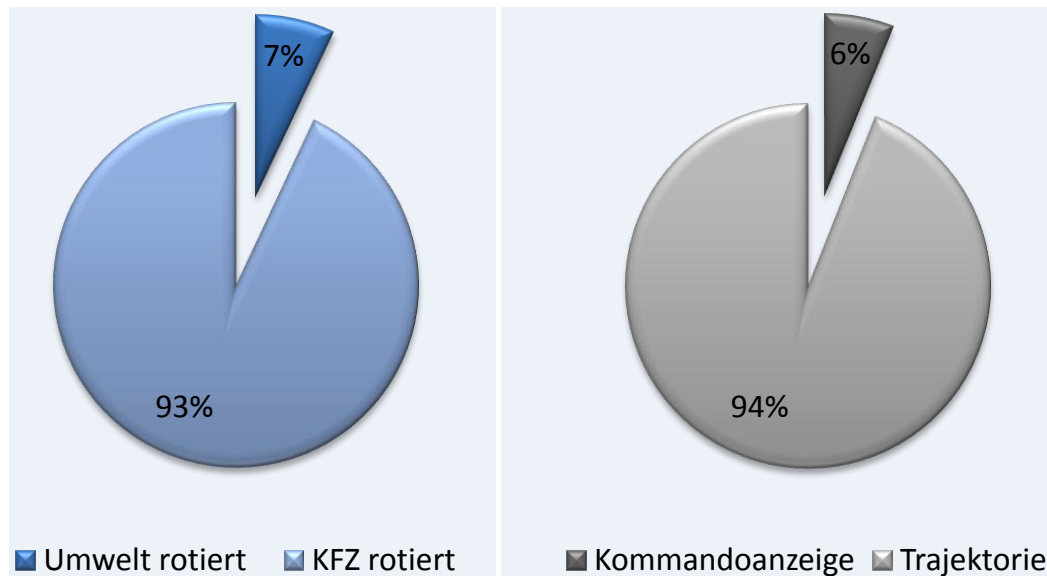


Abbildung 8.4 : Bewertungsanteil bevorzugte Varianten der Anzeigekonzepte

und der Führungsanzeige von den Probanden bevorzugt wurden. Eindeutig wird die Anzeigeart „KFZ rotiert“ besser bewertet als „Welt rotiert“. Bei der Führungsanzeige würden 94% der Versuchspersonen die „Trajektorie“ der „Kommandoanzeige“ vorziehen. Diese eindeutigen Aussagen decken sich sehr gut mit den Ergebnissen des PSSUQ-Fragebogens aus Abbildung 8.3. Die Bewertung der zusätzlichen Parkinformationen (Halteverbotsinformation, Parkstandgebühren, etc.) fiel generell sehr positiv aus (siehe Abbildung 8.5). So bewerteten die Probanden diese Informationen als sehr sinnvoll. Besonders die Informationsqualität für Halteverbot und die maximale Parkdaueranzeige wurde mit sehr gut beurteilt. Diese Informationen würden die Fahrzeugführer bei der Auswahl eines Parkstandes unterstützen. Allerdings sahen auch einige Probanden die Parkgebühreninformation als überflüssig an.

Im Fragebogen wurde außerdem noch die Möglichkeit gegeben, Verbesserungsvorschläge aufzuzählen. Im Diagramm 8.6 sind deshalb die fünf meistgenannten Vorschläge aufgelistet. Der Anteil hierbei verdeutlicht, wie viel Prozent der Versuchspersonen eine ähnliche Verbesserung vorgeschlagen hat. 15% der Probanden empfehlen mit der „Auswahloption Parkstandwahl“, dass über ein Menü optional eingestellt werden kann, nur Parkstände anzuzeigen, die nach StVO auch genutzt werden können. Konzeptionell wurde dies jedoch nicht im Versuch implementiert, da

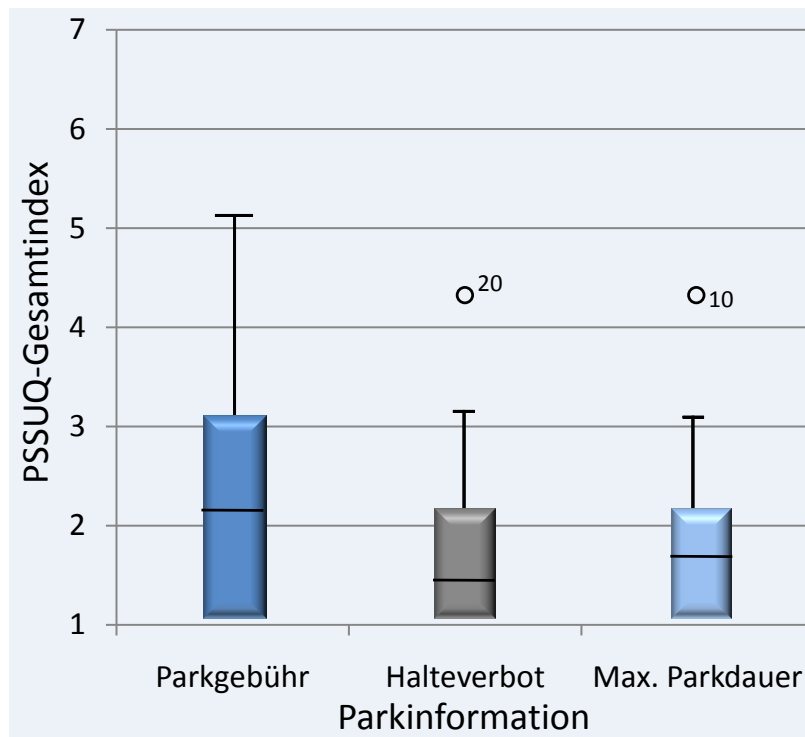


Abbildung 8.5 : Beurteilung der unterschiedlichen Zusatzinformationen für Parkstände

Fahrer nicht bevormundet werden sollten. Allerdings ist der Vorschlag der Probanden trotzdem empfehlenswert, denn dadurch können Fahrzeugführer selbstständig entscheiden, ob auch Parkstände angezeigt werden, die nach StVO gerade nicht benützt werden dürfen.

Mit der „vorausschauenden Parkinformation“ hätten 20% der Versuchspersonen gerne ein System, das ihnen am Zielort in der Navigationskarte direkt anzeigt, wo gerade in einem gewissen Umkreis freie Parkplätze zur Verfügung stehen. Die Realisierung eines solchen Assistenzsystems gestaltet sich derzeit jedoch noch schwierig. Eine Möglichkeit der Umsetzung könnte man sich so vorstellen: Wenn viele Fahrzeuge über eine Parklückenvermessung verfügen - diese müsste dann im Hintergrund immer mitlaufen - würden freie Parkstände über Car-to-Car-Kommunikation an andere Automobile in einem gewissen Umkreis gemeldet werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass selbst in weiter entfernten Nebenstraßen geeignete Parkplätze dem Parkstandsuchenden in der Navigationskarte angezeigt werden könnten. Natürlich müsste dann auch verarbeitet werden, wie groß der Parkstand ist und ob der Parkstandsuchende mit seinen Fahrzeugabmessungen auch in die Parklücke passt. Solche Systeme würden zudem den Parkstandsuchverkehr in Städten verringern, weil der Fahrzeugführer sofort wüsste, wo er nach einem Parkstand suchen muss und ob dieser dann auch die notwendige Größe aufweist. Nach Riel [69] verursachen Parkstandsuchende und Ein- bzw. Ausparkende je nach Verkehrsdichte enorme Wartezeiten für folgende Fahrzeuge, wodurch sich das Verkehrsaufkommen erhöht. Ein anderer Realisierungsvorschlag wäre die Detektion freier Lücken über Ultra-

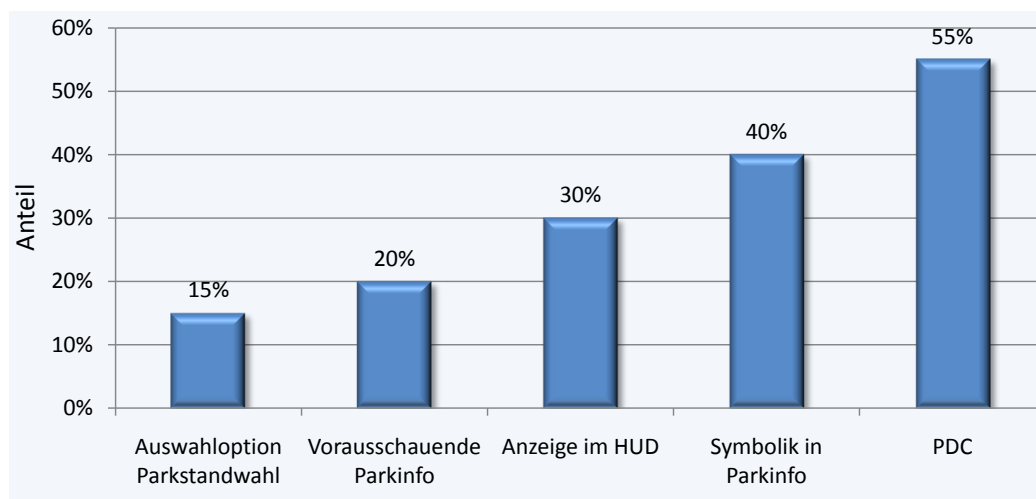


Abbildung 8.6 : Top 5 Verbesserungsvorschläge

schallsensoren ähnlich wie in Parkhäusern. Diese Sensoren müssten dann an höheren Punkten wie Verkehrszeichen, Hausfassaden oder Lichtmasten angebracht werden und eine Verbindung zu einem Zentralrechner herstellen. Von solch einem Serviceprovider könnte dann ein Fahrzeug über GSM, UMTS oder WLAN einen geeigneten Parkstand abrufen, sich diesen in seine Navigationskarte eintragen und als neues Fahrziel konfigurieren lassen. Dies wäre natürlich ein enormer Vorteil für den Fahrer und würde den Diskomfort verringern. Damit könnte er einen Parkstand direkt nach ungefährender Zielerreichung ansteuern. In einem Menü konfigurierbar könnte der Fahrer zusätzlich einstellen, in welchem Umkreis Parkstände für ihn akzeptabel sind. Bereits heute wird die Technologie für die notwendige Datenübertragung in einem Kooperationsprojekt mit dem Namen „Sichere Intelligente Mobilität - Testfeld Deutschland“ (SIM-TD) entwickelt. Dabei sollen Fahrzeuge mit anderen Objekten wie Verkehrszeichen und anderen Fahrzeugen kommunizieren (Car-to-X Kommunikation).

Ein großer Anteil der Versuchspersonen ist zudem der Auffassung, die Parkstandanzeigen, wie sie in den Konzepten dargestellt waren, in das Head-up Display (HUD) zu integrieren. Viele Studien belegen (vgl. Gish [22]) die eventuellen Gefahren durch cognitive capture und perceptual tunneling bei der Nutzung des HUD. Deshalb sollten dort nur Anzeigen erscheinen, die die primäre Fahraufgabe betreffen. Außerdem wird in diesen Studien davon abgeraten, im Head-up Display bewegte Anzeigen oder Videos darzustellen. Im Fall der neuen Parkassistentenkonzepte wird jedoch, wie gezeigt, der Blick sehr oft über einen langen Zeitraum in den Innenraum auf das zentrale Display (CID) gelenkt. Mit einer entsprechenden Umfelddetektion können solche Assistenzsysteme trotzdem gerechtfertigt werden. Aus diesem Grund kann auch eine Anzeige im Head-up Display sinnvoll sein und die Sicherheit zusätzlich erhöhen. Allerdings sollte für die Umsetzung der Darstellung die Größe der Anzeige berücksichtigt werden. Zu empfehlen ist eine Diagonale nach Kapitel 4.2, Regel 2 von $D = 0,1 \cdot d_{\text{Auge,Bild}} = 0,1 \cdot (2,0m + 0,8m) = 0,28m$. Hierbei wird der Leseabstand

von der Projektionseinheit zur Anzeige mit $d_{Proj,Bild} = 2,0m$ angenommen, wie er derzeit ungefähr bei einem BMW 5er HUD üblich ist. Hinzu addiert sich der Abstand vom Auge zur Projektionseinheit und wird hier mit $d_{Auge,Proj} = 0,8m$ angenommen. Die Anzeige des Fahrzeugs innerhalb seiner Umgebung sollte auch im Head-up Display hochkant erfolgen, also nach dem inneren Modell des Menschen ausgelegt sein. Zusätzlich ist es wichtig, vor allem bei der Anzeige von Echtzeitvideos bzw. farbgetreuen Symboldarstellungen, dass das Head-up Display den RGB-Farbraum projizieren kann. Derzeit stellen diese Forderungen jedoch noch technisch- und bauraumbedingt einige Umsetzungsschwierigkeiten dar, die aber sicherlich in einigen Jahren gelöst werden können.

Auch im Simulatorversuch wurde bemängelt, dass getrennt Anzeigen, die ein und dieselbe Fahraufgabe betreffen, in einem Anzeigekomplex dargestellt werden sollten. In diesem Fall wäre es besser, die Parkinformationsanzeigen in die Darstellung des Fahrzeugumfeldes mit zu integrieren. Dadurch müssten Fahrer nicht ständig ihren Fixationspunkt zwischen Parkinformation und Parklückenvermessung wechseln. Außerdem ist die textbasierte Parkinformation weniger geeignet; empfehlenswert ist eine symbolische Anzeige, wie 40% der Probanden spontan bemerkten. Der Informationsgehalt einer textbasierten Anzeige kann zwar seltener missverstanden werden, bekannte Symbole tragen jedoch dazu bei, die Information schneller zu erfassen. So muss der Fahrer dann nicht erst einen längeren Text lesen, um zu wissen, dass gerade ein Halteverbot gilt, sondern er kann dies schneller durch die Symbolik erkennen. Aus diesem Grund ist eine symbolische Anzeige innerhalb der Parklückensymbolik zu bevorzugen.

Als Nächstes wurde von mehr als der Hälfte der Versuchspersonen empfohlen, eine Parkdistanzkontrollanzeige in das Konzept mit aufzunehmen. Dies zeigte, dass der Fahrer trotz der guten Fahrzeugumgebungsanzeige eine Systembewertung der Gefahrenzone benötigt und auch wünscht. Damit kann er besser abschätzen, wann er besonders vorsichtig sein muss und das Fahrzeug besser zum Stillstand bringen sollte.

Zu guter Letzt bemängelten auch einige Probanden das Fehlen der akustischen Parkdistanzkontrollanzeige. Da multimodale Ausgaben jedoch stark polarisieren, was die Akzeptanz betrifft, kann eine optionale akustische Darstellung in einem Einstellungsmenü empfohlen werden.

Insgesamt wird die Parkassistentz als sehr gut und äußerst hilfreich empfunden. Das Gleiche gilt für die Parkinformationsanzeige. Diese Systeme sind bei den Probanden äußerst beliebt und wünschenswert. Gerne würden die Versuchspersonen die getesteten Konzepte jetzt schon in ihrem Fahrzeug nutzen.

9 Schlussfolgerung und Ausblick

Das letzte Kapitel dieser Arbeit beinhaltet die aus den Versuchsergebnissen abgeleiteten ergonomischen Empfehlungen und liefert basierend darauf Konzeptempfehlungen für Parkassistenzsysteme. Außerdem werden die hier verwendeten Methoden bewertet und Empfehlungen für weiterführende Arbeiten gegeben.

9.1 Ergonomische Empfehlungen

Empfehlung 1:

Anzeigen sollten an das innere Modell des Menschen angepasst, ausgerichtet und orientiert werden.

In Kapitel 4.2 wurde gezeigt, welche Auswirkungen eine Anzeige, die nicht nach dem

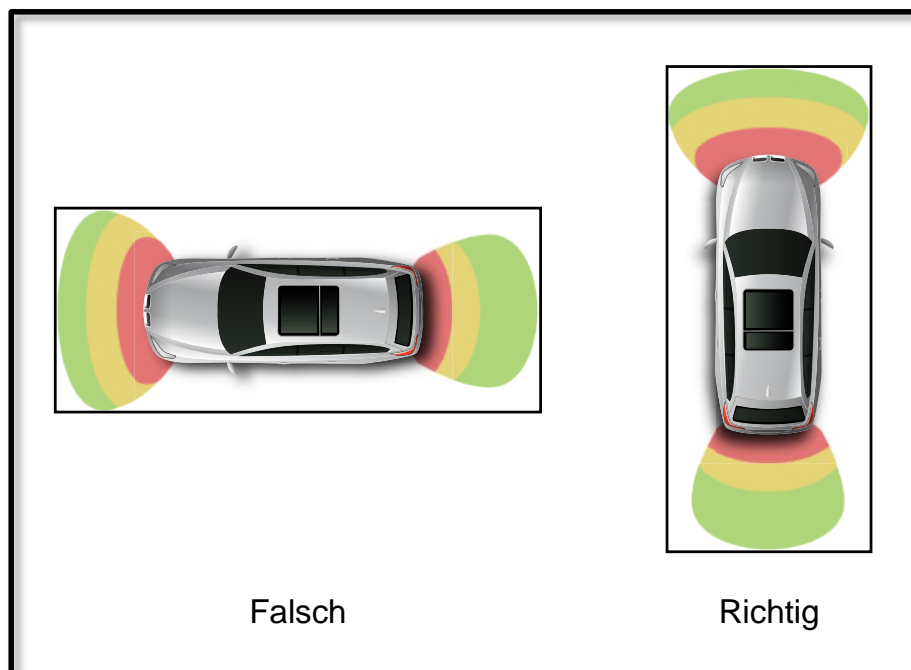


Abbildung 9.1 : Beispiel Empfehlung für eine Anzeigenausrichtung nach dem inneren Modell des Menschen

inneren Modell des Menschen ausgerichtet ist, haben kann. Hierbei wurde speziell für die Parkassistenz evaluiert, ob die Anzeige der Gefahrenhinweise in Form der PDC hochkant oder quer angeboten werden sollte. Es hat sich herausgestellt, dass der Ort der Gefahr (vorne rechts, links; hinten rechts, links) im Querformat viel häufiger

falsch interpretiert wird, als im Hochformat. Außerdem ergibt sich eine ungleich höhere Reaktionszeit des Menschen auf eine Gefahr hin bei der Darstellung im Querformat.

Empfehlung 2:

Die Größe der Anzeige sollte bei komplexen und hochinformativen Darstellungen mindestens eine Diagonale von $D = 0,1 \cdot \text{Leseabstand}$ betragen.

Um Anzeigen nicht nur unter Einhaltung der 1. Empfehlung akzeptabel auszulegen, ist es wichtig, Informationen ausreichend groß anzubieten. Es wurde nachgewiesen (vgl. 4.2), dass die Anzeige der Parkdistanzkontrolle im Hochformat zwar besser geeignet ist, aber bei einer Verkleinerung des Bildes enorme Akzeptanzprobleme aufgetreten sind. Die Anzeige wurde versuchsweise deshalb verkleinert, um zu ergründen, ob das Hochformat auch auf derzeitigen Querformat-Displays akzeptabel dargestellt werden kann. Dies hat sich als falsch erwiesen. Demnach ist eine Anzeigenauslegung nach dem inneren Modell und in einer gewissen Größe unumgänglich. In weiterführenden Versuchen könnte noch erfasst werden, wie klein die Diagonale werden muss, damit die Aufgabenstellung nicht mehr bzw. schlechter erfüllt oder als vollkommen inakzeptabel bewertet wird.

Empfehlung 3:

Unterstützung des Menschen bei Regelungsprozessen kann in Form einer Kommando- oder einer Soll-Ist-Anzeige erfolgen. Eine Kommandoanzeige kann verwendet werden, wenn aufeinanderfolgende Kommandos einen zeitlichen Mindestabstand in der Größenordnung der menschlichen Reaktionszeit aufweisen, darunter ist eine Soll-Ist-Anzeige der vollständigen Aufgabe empfehlenswert.

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass einfache Kommandos für eine regelungstechnische Aufgabe ausreichen, wenn sie in einem gewissen Zeitabstand auftreten. Bei dem Realversuch zur Evaluierung derzeitig technisch realisierbarer Konzepte fanden fast alle Probanden die Kommandoanzeige als Einparkunterstützung am Besten geeignet. Allerdings ist in einer Lernphase von einer Verschlechterung der zeitlichen Aufgabenerfüllung auszugehen, weil der Mensch sich erst an die Kommandos gewöhnen muss. Es besteht jedoch ein enormes Potenzial, die menschliche Leistung bei der Aufgabenerfüllung zu verbessern. Außerdem empfindet der Mensch eine solche Anzeige als komfortabel. Wenn aber eine komplexe regelungstechnische Aufgabe ansteht, bei der die Regeldifferenz in kurzen Zeitabständen ausgeglichen werden muss, kann der Mensch mit einer Kommandoanzeige nicht ausreichend schnell folgen. Dies führt dann schließlich zu einem Diskomfort, einer schlechteren Leistung und zu einer höheren Beanspruchung. Schließlich wird der Mensch eine solche Assistenz nicht akzeptieren. Besser geeignet ist hierfür die Darstellung einer Soll-Anzeige der vollständigen Aufgabestellung bzw. einer Teilaufgabe und zusätzlich eine Ist-Anzeige zum Bilden der Regeldifferenz. Einer solchen Ausführung kann der Mensch problemlos folgen und seine Leistung signifikant gegenüber der Kommandoanzeige erhöhen. Zusätzlich ist auch eine signifikante Verbesserung der Leistung gegenüber keiner Unterstützung zu verzeichnen. Deshalb wird ein solches Konzept

von den Versuchspersonen als sehr gut bewertet.

Regel 1:

Je höher die Informationsdichte einer Anzeige, desto höher sind die Fixationsdauern.

Der Realversuch hat ergeben, dass bei den hier dargestellten Konzepten sehr ho-



Abbildung 9.2 : Beispiel Empfehlung für Parkassistenzsysteme der Kategorie Sichterverweiterungssysteme

he Fixationsdauern auf das Display aufgetreten sind. Es konnte gezeigt werden, dass je höher die Informationsdichte im Display ist, desto höher sind auch die Fixationsdauern darauf. Dies tritt ebenfalls bei den heute bereits existierenden Parkassistentensystemen auf. Somit versucht der Fahrer, das Fahrzeug nach der Anzeige zu führen und zu stabilisieren. Kontrollblicke, um Gefahren im Fahrzeugumfeld rechtzeitig zu erkennen, verschwinden fast vollständig (siehe Abbildung 9.2 links). Sichterverweiterungssysteme der vorgestellten Art bergen deshalb in sich ein gewisses Gefahrenpotenzial, auch wenn der Komfort für den Fahrer durch die Assistenzsysteme steigt. Der Fahrer ist sich solch einer Gefahr nicht bewusst. Aus dieser Regel leitet sich deshalb folgende Empfehlung ab:

Empfehlung 4:

Bei Parkassistenten der Kategorie Sichterverweiterung wird empfohlen, das komplette Fahrzeugumfeld darzustellen bzw. immer eine Kollisionsüberwachung mit exakter Objektbeschreibung anzuzeigen.

Aufgrund oben aufgeführter Regel sollte deshalb wenigstens auf Anzeigen zurückgegriffen werden, die das komplette Fahrzeugumfeld visuell darstellen (siehe Abbildung 9.2 rechts). Besser noch wäre eine systembewertende Umfelddetektion. Damit könnte eine Kollisionswarnung ausgegeben werden, wenn dies notwendig ist, wie in Abbildung 9.2 rechts durch das rote Warndreieck dargestellt. Zusätzlich sollte noch symbolisch angezeigt werden, welche Art Objekt sich im Gefahrenraum bewegt (Mensch, Tier, andere Objekte wie z. B. Pfeiler oder Fahrbahnbegrenzungen, Fahrzeuge, etc.). Damit kann das Gefahrenpotenzial enorm verringert werden. Außerdem besteht dann auch nicht die Notwendigkeit, dass der Fahrer seinen Blick

unbedingt zur Gefahrenabsicherung nach außen führt. Somit bleibt der Komfort vollständig erhalten, ohne dass sich das Gefahrenpotenzial erhöht. Wie solch eine Umfelddetektion dann aussehen könnte, wäre in weiterführenden Arbeiten zu evaluieren.

Empfehlung 5:

Unterschiedliche Anzeigen, die im Prinzip die gleiche Fahraufgabe unterstützen, sollten in einem einzigen Anzeigenkomplex dargestellt werden.

Diese Empfehlung wurde durch die Analyse objektiver und subjektiver Daten aufgestellt. In Abbildung 9.3 ist im linken Bild dargestellt, wie eine getrennte Anzeige von Aufgabenteilen für den Realversuch und Simulatorversuch ausgesehen hat. Der Fahrer hat die Aufgabe, sein Fahrzeug zu parken. Dazu gehört die Parkstandsuche und das Einparken. Dabei benötigt der Fahrzeugführer Informationen über sein Umfeld und wann er wie lenken muss. Zusätzlich sind für die Parkstandwahl Informationen über die Größe der Lücke und sonstige Informationen wie z. B. Halteverbot. Das Assistenzsystem im linken Konzeptbild 9.3 zeigt dem Fahrer diese Informationen in zwei unterschiedlichen Anzeigeblocken an. Im linken Anzeigeblock sieht der Fahrer bei beiden Konzepten (Real-, Simulatorversuch) das Fahrzeug und sein Umfeld. Im rechten Anzeigeblock werden ihm Zusatzinformationen angezeigt, bzw. Lenkempfehlungen gegeben. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Fahrer bei getrennter Darstellung von Aufgabenteilen seinen Blick ständig hin und her bewegt. Dies führt zu häufigen Blickwechsel und schränkt schließlich den Komfort ein. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die menschliche Leistung dadurch vermindert wird. Deshalb wurde von vielen Probanden empfohlen, getrennte Anzeigen von Aufgabenteilen zu verknüpfen. Dies ist beispielhaft im rechten Bild von Abbildung 9.3 dargestellt, der Unterschied wird hierbei sehr deutlich. Welche Auswirkungen eine getrennte Anzeige ein und derselben Aufgabe auf die Sicherheit hat, konnte bisher nicht untersucht werden und wird deshalb für weiterführende Arbeiten empfohlen.

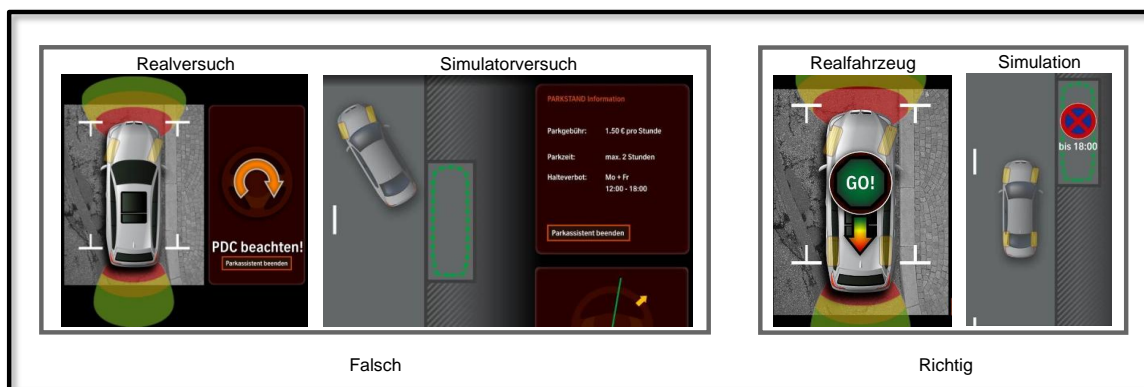


Abbildung 9.3 : Beispiel: Empfehlung für mehrere Anzeigen, die die gleiche Aufgabe beinhalten

Empfehlung 6:

Symbolische Anzeigen sind bei Parkassistenzsystemen besser geeignet als Text.

Im Simulatorversuch sind dem Fahrer Parkstandinformationen angezeigt worden, um ihn bei der Wahl einer geeigneten Parklücke zu assistieren. Diese Informationen werden ihm textbasiert angeboten. Es wurde jedoch von den Probanden empfohlen, diese Zusatzinformationen in symbolischer Form darzustellen. Da die meisten Verkehrsschilder, die das Parken betreffen, bekannt sind, wird dies als Empfehlung aufgestellt. Der Vorteil von textbasierten Anzeigen liegt darin, dass Informationen eindeutiger sind. Bei einem unbekanntem Symbol bzw. bei Symbolen allgemein besteht die Gefahr der Interpretationsmöglichkeit. Damit wird verbunden, dass der Informationsgehalt von Symbolen zu unterschiedlichen menschlichen Interpretationen und Handlungen führen kann. Der Vorteil liegt aber in der schnelleren kognitiven Verarbeitung. Dieses Potenzial sehen auch die Versuchspersonen, weshalb nun die Parkstandinformationen symbolhaft in den Parkstand der Umfeldanzeige implementiert werden (vgl. rechtes Bild von Abb. 9.3, Halteverbotsschild).

Empfehlung 7:**Multimodale Ausgaben von Gefahrenhinweisen sollten optional auswählbar sein.**

In allen Versuchen dieser Arbeit wurde darauf geachtet, die übliche akustische Ausgabe bei den Parkassistenzsystemen auszuschalten, um repräsentative Ergebnisse zu erzielen und nicht von den Anzeigekonzepten abzulenken. Das Fehlen der akustischen Anzeige wurde von den meisten Probanden sehr konträr beurteilt. Während ein Teil der Probanden das Fehlen begrüßte, fehlte dem anderen Teil diese zusätzliche Unterstützung. In der Ergonomie wird jedoch häufig eine multimodale Anzeige/Ausgabe empfohlen, weil hiermit mehrere menschliche Sinneskanäle angesprochen werden und sich damit Reaktionszeiten auf bestimmte Ereignisse verringern können und die Wahrscheinlichkeit der Informationsaufnahme erhöht. Allerdings können multimodale Ausgaben auch zu Akzeptanzverlust führen, wie in der Arbeit von Doisl [14] zur Kollisionswarnung mit aktivem Gaspedal, Akustik und optischer Warnausgabe herausgefunden wurde. Es scheint, als ob visuelle Anzeigen besser akzeptiert werden, als zum Beispiel Akustische oder Haptische. Dies trifft eventuell deshalb zu, weil sich der Mensch bei Bedarf visuellen Reizen einfacher verschließen kann als bei den anderen beiden Arten. Wenn jedoch gewisse Modalitäten eine Abneigung bei Menschen hervorrufen, trägt dies sicherlich nicht zu einem Sicherheitsgewinn bei. Abneigung kann außerdem eine Reduzierung der Reaktionszeit hervorrufen. Deshalb soll bei der Wahl von multimodalen Ausgaben beachtet werden, dass ein nicht zu vernachlässigender Nutzeranteil, diese Ausgaben als inakzeptabel bewertet. Aus diesem Grund ist zu empfehlen die Ausgabemodalität von Gefahrenhinweisen optional einstellbar zu gestalten.

Empfehlung 8:

Die Bewertung einer Aufgabe durch ein System ist für den Menschen meist wünschenswert und notwendig.

Vor allem bei den Konzepten des Realversuchs spielte die Parkdistanzkontrolle (PDC) einen wesentlichen Teil für Parkassistenzsysteme. In der Fahrsimulation wurde PDC nicht implementiert. Damit sollte gezeigt werden, welche Rolle diese Anzeigeform bei den Probanden spielt. Das Ergebnis ist eindeutig: Parkdistanzanzeigen sind immer trotz Kamerabild notwendig. Der Fahrer möchte auf den Abstand zu einem Hindernis hingewiesen werden. Dies zeigt die Schwierigkeit der Interpretation von Videobildern. Obwohl die Anzeige durch Kameras mit einer Kompensationsaufgabe verglichen werden kann, kommt der große Vorteil dieser Anzeigeart nicht zur Wirkung: Die Verstärkungsmöglichkeit. Die angezeigte Regeldifferenz bei Kamerabildern kann nicht beliebig vergrößert werden, da die Anzeigengröße auf die Displaygröße beschränkt ist. Selbst wenn die Regeldifferenz vergrößert dargestellt wird, sind andere wichtige Teile des Fahrzeugumfeldes nicht mehr erkennbar. Somit kann der Abstand zu Hindernissen von Fahrern über diese Sichterweiterungssysteme gar nicht oder nur sehr schlecht abgeschätzt werden. Aus diesem Grund ist eine systemseitige Interpretation der Gefahr unbedingt notwendig.

Abschließend sei noch angemerkt, dass alle hier aufgeführten Regeln auch bei einem automatischen Einparken beachtet werden sollten. Mit den in dieser Arbeit erstellten Konzepten kann der Fahrer ebenso ein vollautomatisches System überwachen. Damit übernimmt der Mensch die monitive Aufgabe.

9.2 Konzeptempfehlungen

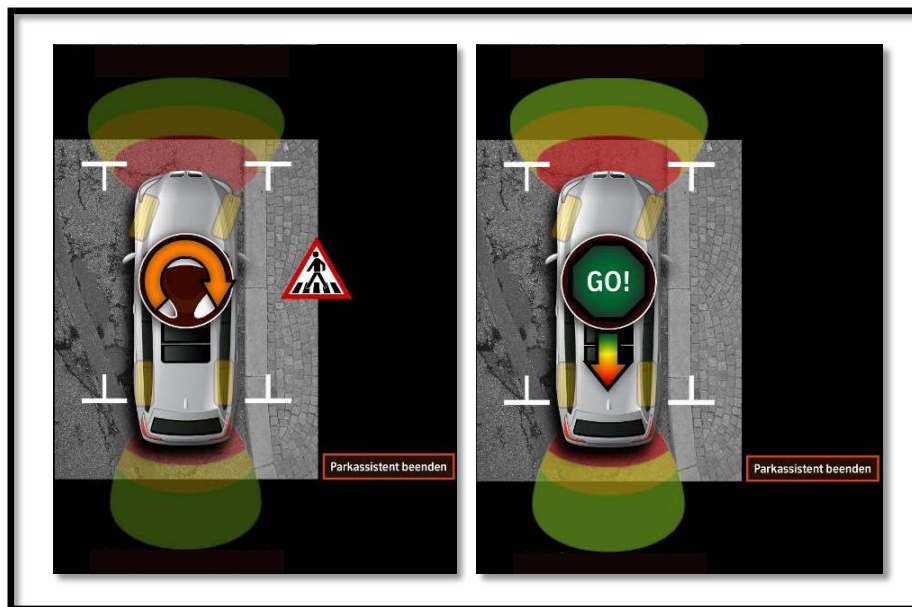


Abbildung 9.4 : Konzeptempfehlung für ein videobasiertes Parkassistenzsystem

Aus den gewonnenen Erkenntnissen des Kapitels 6.3 und der aufgestellten ergonomischen Regeln aus 9.1 wird deshalb ein Konzept für ein derzeit realisierbares

videobasiertes Parkassistenzsystem, wie in Abbildung 9.4 dargestellt, empfohlen. Bei diesem Konzept sind alle Forderungen und Erkenntnisse berücksichtigt. Die Kommandoanzeige ist mit der Umfeldanzeige verknüpft und eine Objektdetektion erhöht die Sicherheit vor herannahenden Objekten außerhalb der Draufsichtanzeige. Diese Objektdetektion außerhalb des Kamerasichtbereichs kann dazu genutzt werden, den Fahrer beim wieder Eingliedern in den fließenden Verkehr zu unterstützen. Weitere Assistenzmöglichkeiten bestehen bei unübersichtlichen Ein- u. Ausfahrten sowie beim Aussteigen. Die Kollisionswarnung kann den Fahrer hier rechtzeitig über Gefahren informieren. Außerdem dient die Einblendung der Hinterreifen dazu, dass der Fahrer besser den Abstand zum Bordstein beim Einparken einschätzen kann, sodass der Kontakt von Hinterreifen mit Bordstein beim Rückwärtsparken leichter vermeidbar ist. Außerdem besteht über den Menüpunkt „Einstellungen“ die Option, eine akustische Ausgabe ein- bzw. auszuschalten. Die Rundumsichtanzeige bietet zudem Informationen über das nähere Fahrzeugumfeld.

Insgesamt stellt das virtuelle System ein Konzept dar, das nur die wichtigsten Informationen gegenüber der Videoanzeige des vorherigen Konzeptes präsentiert. Es werden also zum Beispiel nur die Straßenbegrenzungslinien angezeigt und nicht die vollständige Textur der Straße, wie in einem realen Videobild. Die Textur bietet, solange keine relevanten Objekte auf der Straße liegen, keinen Mehrwert an, wird aber vom Fahrer auf wichtige Informationen untersucht. Somit steht beim virtuellen Konzept die Systembewertung der Fahrsituation im Vordergrund. Ein solches Konzept kann natürlich erst mit ausreichend guter Sensorik und Verständnis über Verkehrssituationen für die Algorithmusgestaltung realisiert werden. Deutlich erkennt man den Unterschied zum evaluierten Konzept. Unter Einhaltung der aufgestellten Regeln ist nun die symbolische Darstellung der Parkstandinformationsanzeige in die Umfeldanzeige integriert. Eine Kollisionswarnung überwacht den Gefahrenbereich. Das Fahrzeug erhält nun auch Hinterreifen, damit der Abstand zu Parkstand begrenzenden Objekten beim rückwärtigen Einparken besser eingeschätzt werden kann. Außerdem sorgt eine Parkdistanzkontrolle für die systemseitige Abstandseinschätzung zu einem Hindernis. Die Einparktrajektorie bietet zudem die Möglichkeit, das Fahrzeug in unterschiedlich große Parklücken zu manövrieren. Über Ultraschallsensoren oder Kameras wird die Parklückengeometrie bestimmt und abhängig von der Parkausgangsposition die optimale Einparktrajektorie berechnet und angezeigt.

9.3 Methodenbewertung

Die Bewertung der Usability mithilfe des PSSUQ-Fragebogens ist nur sinnvoll für ergonomisch unterschiedliche Konzepte (z. B. in dieser Arbeit der Vergleich von Kompensations- und Folgeaufgabe oder regelungstechnisch unterschiedliche ABK) aber nicht für Konzepte, bei denen der sinnvolle Informationsgrad nur gesteigert wird. Er dient dann nämlich ausschließlich der Kontrolle, ob Konzepte insgesamt nutzer- und bedienerfreundlich gestaltet wurden, aber nicht zum Vergleich von

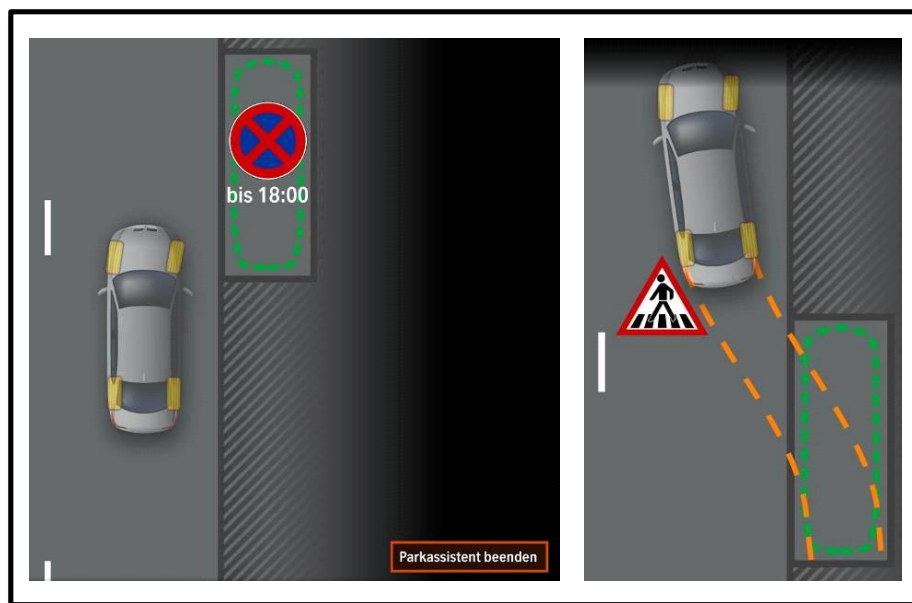


Abbildung 9.5 : Konzeptempfehlung für ein virtuelles Parkassistenzsystem

Konzepten.

Der NASA-TLX Test zur Bestimmung der subjektiv empfundenen Beanspruchung ist bei deutlich unterschiedlich beanspruchenden Situationen sinnvoll, aber nicht immer beim Vergleich von unterschiedlichen MMI-Auslegungen (ähnlich wie der PSSUQ-Fragebogen). Bei der Evaluierung von Konzepten mit ähnlichem oder nur sinnvoll gesteigertem Informationsgehalt kann er jedoch kaum differenzieren, um verschiedene Konzepte zu bewerten.

Die Ermittlung der Leistung der Aufgabenerfüllung ist sehr sinnvoll für die Bewertung von Assistenzsystemen, da die Qualität der Aufgabenerledigung ein nicht alleine entscheidendes Kriterium ist, sondern im Straßenverkehr meist auch der zeitliche Faktor eine große Rolle spielt. Somit ist der Leistungsbegriff unbedingt bei der Evaluierung von Fahrerassistenzsystemen zu berücksichtigen.

Die Ermittlung von Fixationsdauern und -häufigkeiten auf bestimmte Objekte können Aufschluss über die Aufmerksamkeitsrichtung und Ablenkung geben. Allerdings ist eine Analyse der Fixationsdauer nicht alleine wichtig für die Bewertung von Assistenzsystemen. Fahrerassistenzsysteme können nämlich auch so gestaltet werden, dass eine hohe Fixationsdauer auf ein Objekt innerhalb des Fahrzeugs durchaus rechtfertigt. Außerdem muss bei Interpretationen immer berücksichtigt werden, dass ein Fixationspunkt nicht unbedingt gleich dem Aufmerksamkeitspunkt ist.

Insgesamt hat sich die Vorgehensweise der Bedarfsanalyse eines bestimmten Teils der primären Fahraufgabe gelohnt, um neue Fahrerassistenzsysteme zu kreieren. Oft ist

die Entwicklung technikgetrieben und stellt den Fahrzeugführer nicht in den Vordergrund. Deshalb kann ein Fahrer u.U. mit solch einem neu entwickelten System nicht viel anfangen. In dieser Arbeit stand jedoch der Fahrer immer im Vordergrund. Durch die Bedarfsanalyse mithilfe von Umfragen und Realversuchen, die einen bestimmten Teil der primären Fahraufgabe beinhalteten, konnte aufgezeigt werden, in welchen Bereichen der Fahrer eine Verbesserung der Aufgabenerfüllung wünscht. Damit wurden gleichzeitig Marktbedürfnisse aufgezeigt. Die Analyse mithilfe von Flussdiagrammen untermauert schließlich die Bedarfsanalyse und erzeugt Wissen über die Problematiken einer bestimmten Fahraufgabe. Die anschließende Konzeptentwicklung und Umsetzung mit bereits heute verfügbaren Techniken in einem Prototypen kann dann sehr schnell zeigen, ob Konzepte und Systeme in die richtige Richtung entwickelt wurden. Ein Simulatorversuch kann anschließend helfen, Systeme zu konzeptionieren, die derzeit technisch noch nicht realisiert werden können. Diese Vorgehensweise ist mit einfachsten und kostengünstigsten Mitteln möglich und berücksichtigt zudem die Bedürfnisse des Fahrzeugführers.

Literaturverzeichnis

- [1] ADAC, *Fehlender Durchblick*, ADACmotorwelt, Heft 11, November 2005.
- [2] ADAC, *Stress auf der Strasse*, ADACmotorwelt, Heft 03, März 2006.
- [3] Birkner Thomas *Innerstädtischer Parksuchverkehr: Eine Unbekannte Größe?*, Straßenverkehrstechnik, Heft 7, 1995.
- [4] Bortz J., *Statistik für Sozialwissenschaftler*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg NY, 1993.
- [5] Bubb H., *Arbeitswissenschaft*, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie, Vorlesungsskript: Wintersemester 2005/2006.
- [6] Bubb H., *Mensch-Maschine-System bei Assistenzsystemen im Kraftfahrzeug*, Vortrag: Usability von Fahrerassistenzsystemen, 2. Münchner Usabilitytag des German Chapter der UPA e.V., der Berufsverband der deutschen Usability Professionals am 15.-16.07.2005.
- [7] Bubb H., *Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen?* Darmstädter Kolloquium Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko, Technische Universität Darmstadt, 3./4. April 2003.
- [8] Bubb H., *Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit?* VDI-Bericht Nr. 1768, Düsseldorf, VID-Verlag, S.257-268, 2003.
- [9] Carney Ch., Campbell J. L. , E. A. Mitchell, *In-Vehicle Display Icons and Other Information Elements: Literature Review*, Report, US. Department of Transportation, May 1998.
- [10] Chapman P.R., Underwood G., *Looking for danger: Drivers' eye movements in hazardous situations*, In Gale A.G., et al. (Hrsg.), *Vision in Vehicles 7*, S. 225-232, Oxford: Elsevier, 1999.
- [11] Collins D. J., et. al., *Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO): An Examination of Driver Performance Under Reduced Visibility Conditions When Using an In-Vehicle Signing and Information System (ISIS)*, Report, US. Department of Transportation, December 1999.
- [12] Deubzer E. M., *Die Ordnung im Kopf*, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2002.

- [13] Dewar R., *Symbol Signing Design for Older Drivers*, Report, US. Department of Transportation, July 1997.
- [14] Doisl Ch., *Entwicklung und Evaluierung aktueller multimodaler Ausgaben für eine Kollisionswarnung im KFZ*, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation der Technischen Universität München, 2004.
- [15] Färber B., *Neue Fahrzeugtechnologien zur Unterstützung der Mobilität Älterer*, In: Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie 33: S. 178-185, 2000.
- [16] Farid N., *Fahreraufmerksamkeitserkennung für Fahrerassistenzsysteme*, Diplomarbeit, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation der Technischen Universität München, 2004.
- [17] Fastenmeier W., *Autofahrer und Verkehrssituation*, Reihe Mensch- Fahrzeug-Umwelt, Band 33, Verlag TÜV Rheinland, Deutscher Psychologen- Verlag, Bonn, 1995.
- [18] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs*, EAR 91, Köln, 1991.
- [19] Foyle D. C., et. al, *Enhanced/Synthetic Vision Systems: Human Factors Research and Implications for Future Systems*, SAE Transactions: Journal of Aerospace, Aerospace Human Factors Research Division, NASA Ames Research Center, 1992.
- [20] Geiser G., Nirschl G., *Realisierung und Bewertung eines warnenden maschinellen Kopiloten für die Unterstützung bei der Längsführung eines Kraftfahrzeugs*, Beitrag zur Festschrift für Prof. Dr. Rainer Bernotat. In: Gärtner, K.-P., Stein, W., Widdel, H. (Hrsg.): Mensch-Maschine-System und Neue Informationstechnologien. Verlag der Augustinus Buchhandlung, S. 367-380, Aachen, 1994.
- [21] Geiser G., Nirschl G., *Towards a system architecture of driver's warning assistant*, In: Parkes A.M., Franzen S. (Hrsg.) *Driving future vehicles*, London: Taylor AND Francis, S. 251-263, 1993.
- [22] Gish K. W., Staplin L., *Human Factors Aspects of Using Head UP Displays in Automobiles: A Review of the Literature*, Report, US. Department of Transportation, August 1995.
- [23] Goldstein E. B., *Wahrnehmungspsychologie*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, 2002.
- [24] Gruendl M., *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*, Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. phil.) der Universität Regensburg, 2005.

- [25] Hanowski R. J., et. al., *Development of Human Factors Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO): Driver Response to Unexpected Situations When Using an In-Vehicle Information System*, Report, US. Department of Transportation, December 1999.
- [26] Harbluk J., Noy Y. I., *The Impact of Cognitive Distraction on Driver Visual Behaviour and Vehicle Control*, Report, Ergonomics Division, Road Safety Directorate and Motor Vehicle Regulation Directorate, Canada, February 2002.
- [27] Harpster J., Huey R., Lerner N., *Field Measurement of Naturalistic Backing Behavior*, Paper Presented at Annual Meeting for the Human Factors and Ergonomics Society, Washington DC, October, 1996.
- [28] Just M. A., Carpenter P. A., *Eye Fixation and cognitive processes*, Cognitive Psychology 8, 1976.
- [29] Hart, S.G., Staveland L.E., *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research*, In Hancock P.A., Meshkati N. (Eds.), *Human Mental Workload*, Amsterdam: Elsevier, 1988.
- [30] Heißing, B., *Straßenfahrzeuge: Entwicklung und Simulation*, Vorlesungsskript, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technische Universität München, 2006.
- [31] Hering K., *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr*, Dissertation, Philosophischen Fakultät der Universität Köln, 1999.
- [32] Herrmann N., *Ein mathematisches Modell zum Parallelparken*, Inst. f. Angew. Mathematik, Univ. Hannover, 24.November 2004.
- [33] Hoffmann S., *Wirkweise von Fahrerassistenzsystemen*, Seminar Verkehrspsychologie, Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften der Universität Würzburg, 2004.
- [34] Hooey B. L., Gore B. F., *Advanced Traveler Information Systems and Commercial Vehicle Operations Components of the Intelligent Transportation Systems: Head-Up Displays and Driver Attention for Navigation Information*, Report, US. Department of Transportation, March 1998.
- [35] Horrey W. J., Alexander A. L., Wickens Ch. D., *Does Workload Modulate The Effects of In-Vehicle Display Location on Concurrent Driving and Side Task Performance?*, Technical Report, Aviation Human Factors Division, Institute of Aviation, University of Illinois, January 2003.
- [36] Horrey W. J., Wickens Ch. D., Alexander A. L., *The Effects of Head-Up Display Clutter and In-Vehicle Display Separation on Concurrent Driving Performance*, Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, 2003.

- [37] Huguenin D., et. al, *Driver Behaviour and Safety Session*, European Commission Transport.
- [38] Hulse M. C., et. al., *Development of Human Factors Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO): Integration of ATIS and Crash Avoidance In-Vehicle Information: Preliminary Simulator Study*, Report, US. Department of Transportation, December 1999.
- [39] Kantowitz B. H., Hooey B. L., Simse O.k, *Advanced Traveler Information Systems and Commercial Vehicle Operations Components of the Intelligent Transportation Systems: On-Road Evaluation of ATIS Messages*, Report, US. Department of Transportation, March 1998.
- [40] Kantowitz B. H., Simse O.k, Bittner Jr. A. C., *Development of Human Factors Guidelines for Advanced Traveler Information Systems and Commercial Vehicle Operations: Identification of the Strengths and Weaknesses of Alternative Information Display Formats*, Report, US. Department of Transportation, October 1998.
- [41] Kochem M., *Ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung des rückwärtigen Parkvorgangs für PKW*, Fortschritt Berichte VDI Reihe 12 Nr. 590, Düsseldorf: VDI Verlag, 2005.
- [42] Kopf M., *Ein Beitrag zur modellbasierten, adaptiven Fahrerunterstützung für das Fahren auf deutschen Autobahnen*, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 203, VDI-Verlag, Düsseldorf 1994.
- [43] Kopf M., Farid M. N., Doisl Ch., *Methoden zur Erhöhung der Akzeptanz und Effizienz eines Systems der aktiven Sicherheit*, VDI-Berichte 1864, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 2004.
- [44] Krüger H.-P., et. al., *Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit*, Abschlussbericht, Projekt EMPHASIS, September 2002.
- [45] Landau K., Meyer O., *Ergonomieanalyse von Sichtverbesserungssystemen (SVS) im PKW*, Bericht, Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt, 2003.
- [46] Lang M., *Mensch-Maschine-Kommunikation 1*, Kurzmanuskript zur Vorlesung, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation der Technischen Universität München, Stand 09/2002.
- [47] Lang M., *Mensch-Maschine-Kommunikation 2*, Kurzmanuskript zur Vorlesung, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation der Technischen Universität München, Stand 04/2003.
- [48] Lentl H., *Einparken heute und morgen*, Zeitschrift Mobil und Sicher, Heft 02/2005.

- [49] Lewis J. R., *IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires, Psychometric Evaluation and In-structions for Use*, erschienen in: *International Journal of Human-Computer Interaction*, Volume 7, Number 1, January - March 1995.
- [50] Liu Y.-C., Schreiner Ch. S., Dingus T. A., *Development of Human Factors Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO): Human Factors Evaluation of the Effectiveness of Multi-Modality Displays in Advanced Traveler Information Systems*, Report, US. Department of Transportation, December 1999.
- [51] Lutz-Temsch B., *Von Vater überfahren*, *Süddeutsche Zeitung*, 09.06.2005.
- [52] Moyer M. J., *Advanced Traveler Information System Capabilities: Human Factors Research Needs*, Summary Report, US. Department of Transportation, November 1998.
- [53] Müller M., *Evaluationswerkzeuge für Bedienkonzepte von Fahrzeug-Cockpits*, Dissertation, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik der Universität der Bundeswehr München, 2004
- [54] Neale V. L., et. al., *Development of Human Factors Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO): Investigation of User Stereotypes and Preferences*, Report, US. Department of Transportation, December 1999.
- [55] Niedermaier B., *Entwicklung und Bewertung eines Rapid-Prototyping Ansatzes zur multimodalen Mensch-Maschine-Interaktion im Kraftfahrzeug*, Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität München, 2003.
- [56] Nilsson J., *Does Workload Modulate The Effects of In-Vehicle Display Location on Concurrent Driving and Side Task Performance?*, Department of Computer and Information Science, Linköpings Universitet, 2003, URL for Electronic Version: <http://www.ep.liu.se/exjobb/ida/2003/005/>
- [57] No Name, *The Risk of Using a Mobile Phone While Driving*, The Royal Society for the Prevention of Accidents, 2002.
- [58] N. N., *Roadmap Fahrerassistenzsysteme*, Mercer Management Consulting, 2004.
- [59] N. N., *Zukunftsmarkt „Aktive Sicherheitssysteme“*, B & D Forecast, 2004.
- [60] N. N., *Flexibilität bestimmt Motorisierung*, Hrsg. Shell Deutschland Oil, 2004.
- [61] N. N., *Unfallgeschehen im Straßenverkehr 2004*, Statistisches Bundesamt, 08/2005.
- [62] Praxenthaler M., *Experimentelle Untersuchung zur Ablenkungswirkung von Sekundäraufgaben während zeitkritischer Fahrsituationen*, Dissertation, Philosophischen Fakultät II (Psychologie und Pädagogik) der Universität Regensburg, 2003.

- [63] Prinzel L., *Head-Up Displays and Attention Capture*, Paper, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Langley Research Center, Hampton, Virginia, 2004.
- [64] Rasmussen J., *Information Processing and Human-Machine-Interaction*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1986.
- [65] Rassel R., *Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im PKW. Systemergonomische Analyse und Prognose*, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2004.
- [66] Recarte M. A., Nunes L. M., *Mental Workload While Driving: Effects on Visual Search, Discrimination, and Decision Making*, Journal of Experimental Psychology, 2003.
- [67] Regan M. A., Young K. L., *Driver Distraction: A Review of the Literature*, Report, Accident Research Centre, Monash University, 2003.
- [68] Ribback S., *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*, Dissertation, Humanwissenschaftliche Fakultät der Universität Potsdam, 2002.
- [69] Riel J., *Modellierung von Störungen des Verkehrsablaufs durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand*, Dissertation, Fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern, November 2002.
- [70] Sacher H., Bubb H., *Wie nutzen Fahrzeugführer das adaptive cruise control (ACC)*, 2. Tagung „Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz“, Garching, 2006.
- [71] Schattenberg K., *Fahrzeugführung und gleichzeitige Nutzung von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen*, Dissertation, Philosophische Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2002.
- [72] Schmidtke H., et. al., *Ergonomie*, Carl Hanser Verlag München Wien, 1993.
- [73] Schweigert M., *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2003.
- [74] Seagull F. J., Wickens Ch. D., Loeb R. G., *When is Less More? Attention and Workload in Auditory, Visual, and Redundant Patient-Monitoring Conditions*, Proceedings of the 45th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA: Human Factors & Ergonomics Society, 2001.
- [75] Seifert K., Hurtienne J., Baumgarten T., *Untersuchung von Gestaltungsvarianten blickgestützter Mensch-Computer-Interaktion*, In: H. Oberquelle, R. Oppermann, J. Krause (Hrsg.), Mensch & Computer 2001, 1. fachübergreifende Konferenz, Stuttgart: B.G. Teubner, S. 245-254, 2001.
- [76] Seppelt B., Wickens Ch., *In-Vehicle Tasks: Effects of Modality, Driving Relevance, and Redundancy*, Aviation Human Factors Division Institute of Aviation, University of Illinois, August 2003.

- [77] Simons D. J., *Attentional capture and inattentive blindness*, Summary Report, Trends in Cognitive Sciences - Vol. 4, No. 4, April 2000.
- [78] Sixsmith J., *Driving experiences and new technology: Evaluations and expectations of older drivers*, Department of Geography, King's College London, 1990.
- [79] Stachowiak, H., *Allgemeine Modelltheorie*, Berlin: Springer Verlag, 1973.
- [80] Stanton N. A., Young M. S., *Vehicle automation and driving performance*, Ergonomics, Volume 41, Number 7, S. 1014-1028, 1 July 1998.
- [81] Steinebach G., Wietzel I., *Public-Glider-Traffic. Öffentliche Personenschwebverkehr. Eine Mobilitätsvision für Dresden 2060*. Wahlpflichtfach Stadtvisionen und -utopien, Lehrstuhl für Stadtplanung, Technische Universität Kaiserslautern, Juli 2004.
- [82] Theis I., *Das Steer-by-Wire System im Kraftfahrzeug - Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit*, Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München, 2002.
- [83] Timpe K.-P., *Kraftfahrzeugführung*, Hrsg. Th. Jürgensohn, K.-P. Timpe, Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2001.
- [84] Tränkle U., Metker Th., *Über die Schwierigkeiten, die jüngere und ältere Fahrerinnen und Fahrer bei verschiedenen Fahr- und Manövrieraufgaben erleben*, Z.f. Verkehrssicherheit, 38, 2, S. 54 - 63, 1992.
- [85] Tsimhoni O., Flannagan M., Minoda T., *Pedestrian detection with night vision systems enhanced by automatic warnings*, University of Michigan, Transportation Research Institut (UMTRI), September 2005.
- [86] Ward N.J., Parkes A.M., Lindsay P., *The effect of automotive Head-Up Displays on attention to critical events in traffic*, International Conference on Experimental Analysis and Measurement of Situation Awareness, Daytona Beach, Florida, Nov. 1-3 1995.
- [87] Wickens, C. D., *Engineering Psychology and Human Performance*, 2nd Edition, New York, Harper Collins.
- [88] Wippermann P., Preussler S., *Zukunftsmarkt Mobilität*, RMS Radio Marketing Service, Hamburg, 2004.
- [89] Wolf H., Zöllner R., Bubb H., *Ergonomischer Lösungsansatz für die gleichzeitige Rückmeldung mehrerer Fahrerassistenzsysteme an den Fahrer*, <http://www.lfe.mw.tum.de>

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------|---|
| ABK | Anzeige Bedien Konzept |
| ABS | Anti Blockier System |
| ACC | Automatic Cruise Control |
| AK | Anzeigekonzept |
| AV | Abhängige Variable |
| AOI | Area of Interest |
| BK | Bedienkonzept |
| CAN | Controller Area Network |
| CID | Central Information Display |
| CPU | Central Processing Unit |
| Dikablis | Digitales kabelloses Blickerfassungssystem |
| DSC | Dynamic Stability Control |
| EDV | Elektronische Datenverarbeitung |
| ETS | Eye Tracking System |
| FAS | Fahrerassistenzsystem |
| FFP | Force Feedback Pedal |
| FGSV | Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen |
| FIS | Fahrerinformationssystem |
| GPS | Global System for Mobile Communication |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM | Unabhängige Variable |
| GUI | Graphical User Interface |
| HC | Heading Control |
| HDD | Head-down Display |
| HUD | Head-up Display |

| | |
|----------|---|
| ISO | International Standardization Organisation |
| LAN | Local Area Network |
| MMI | Man Machine Interface |
| MMS | Mensch-Maschine Schnittstelle |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NASA-TLX | NASA-Task Load Index |
| PAS | Parkassistenzsystem |
| PC | Personal-Computer |
| PDC | Park Distance Control |
| PMA | Park Manöver Assistent |
| SIM-TD | Sichere Intelligente Mobilität - Testfeld Deutschland |
| StAbw | Standardabweichung |
| StVO | Straßenverkehrsordnung |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| UV | Unabhängige Variable |
| WLAN | Wireless Local Area Network |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Vergleich rückwärtige Sicht BMW 2002 und Mitsubishi Colt (Quelle: ADAC) | 2 |
| 1.2 | Verkehrsunfälle nach Unfallart 2005 (Statistische Bundesamt, 2005) . . . | 3 |
| 1.3 | Schema Zusammensetzung Doktorarbeit | 6 |
| 2.1 | Regelkreis der primären Fahraufgabe [72, Bubb in Schmidtke] | 10 |
| 2.2 | Aufstellungsarten von Parkständen gemäß der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [18], Maße für bequemes Ein- und Ausparken | 11 |
| 2.3 | Situation Ausfahrt | 12 |
| 2.4 | Situation Hofausfahrt | 12 |
| 2.5 | Abstandsinformationssysteme | 14 |
| 2.6 | Sichterweiterungssysteme | 14 |
| 2.7 | Automatisches bzw. semiautomatisches Parkassistenzsystem | 15 |
| 3.1 | Subjektive Bewertung der Wichtigkeit verschiedener Fahrerassistenzsysteme | 23 |
| 3.2 | Subjektive Bewertung problematischer Parksituationen | 24 |
| 3.3 | Kriterien für optimale Parkposition | 25 |
| 3.4 | Hardwareeinbau im Versuchsträger | 29 |
| 3.5 | Häufigkeitsverteilung Fahrpraxis des Probandenkollektivs | 30 |
| 3.6 | Versuchsstrecke | 31 |
| 3.7 | Digitales kabelloses Blickerfassungssystem (Dikablis) | 34 |
| 3.8 | Versuchsperson mit Dikablis-Brille im Versuchsfahrzeug | 35 |
| 3.9 | Installierte Videokameras zur Überwachung des Verkehrsumfeldes . . . | 36 |
| 3.10 | Datenerfassungs- und Datenaufbereitungsschema | 39 |
| 3.11 | Area of Interest (AOI) bei der Parkstandsuche | 41 |
| 3.12 | Blickabwendungsdauern | 42 |
| 3.13 | Prozentuale Abwendungszeit einzelner Blickabwendungen | 43 |
| 3.14 | Maximale Lenkwinkel | 45 |
| 3.15 | Vergleich kritische Lenkwinkeländerungen von Elch-Test und Parkstandsuche | 46 |
| 3.16 | Angenommene Bewegungsphasen zur Berechnung der kritischen Verzögerung | 48 |
| 3.17 | Links rückwärtiger Parallelparkvorgang | 54 |
| 3.18 | Maßstäbe für Objektivierung Übersichtlichkeit | 56 |
| 3.19 | Vergleich sichtbare Fläche durch Heckscheibe | 58 |

| | | |
|------|---|-----|
| 3.20 | Anordnung Versuchsfahrzeuge und gemessene Größen | 60 |
| 3.21 | Einparkvorgang | 60 |
| 3.22 | Relevante AOIs beim rückwärtigen Parkvorgang | 62 |
| 3.23 | Boxplot der kumulierten prozentualen Fixationsdauern | 63 |
| 3.24 | Boxplot der Einparkleistung verschiedener Fahrzeuge mit und ohne Ausrichtung | 65 |
| 3.25 | Abhängigkeit Beanspruchung von bisheriger Kilometerleistung | 67 |
| 3.26 | Flussdiagramm Parkstandsuche | 71 |
| 3.27 | Flussdiagramm Parkvorgang | 73 |
| | | |
| 4.1 | Vorschläge Parksuchsymbole | 80 |
| 4.2 | Auswahl an ISO-Symbole | 80 |
| 4.3 | Datenbank zur intuitiven Erfassbarkeit und Reaktion auf Symboliken | 81 |
| 4.4 | Datenbank zur Auswahl verschiedener Parksuchsymbolvorschläge | 82 |
| 4.5 | Ergebnisse Befragung Parkstandsuchsymbolik | 83 |
| 4.6 | Gefährlichkeit der Parkstandsuche mit und ohne Hinweis für rückwärtigen Verkehr | 86 |
| 4.7 | Ergebnisse Stillstandsabstand von Parkstandsuchendem und Folgendem | 87 |
| 4.8 | Beanspruchung des Fahrers in unterschiedlichen Verkehrsszenarien | 88 |
| 4.9 | Parkassistent Rundumsicht (kamerabasiert) | 90 |
| 4.10 | Anzeigevarianten PDC-Versuch zur Orientierung von Anzeigen im KFZ | 91 |
| 4.11 | Bedienung der Blocktastatur | 92 |
| 4.12 | Konzeption Vereinigung PDC und RUS | 95 |
| 4.13 | Animierte Reifen zur Orientierung Lenkeinschlag | 96 |
| 4.14 | Ausrichten des Fahrzeugs am seitlichen Fahrzeug | 98 |
| 4.15 | Bedienschritte Parkassistent Rundumsicht mit Kommandoanzeige. (Bedienreihenfolge von Bild links oben bis rechts unten.) | 99 |
| 4.16 | Lösungsvorschläge virtuelles Parkassistentensystem | 101 |
| 4.17 | Szenenausschnitt der Fahrsimulation | 103 |
| 4.18 | Polynom basierte Bahnplanung | 104 |
| | | |
| 5.1 | Versuchsszenario | 112 |
| 5.2 | Versuchsreihenfolge von links nach rechts (Variante 2-4) | 113 |
| | | |
| 6.1 | Altersverteilung Versuchspersonenkollektiv | 116 |
| 6.2 | Einparkleistungen | 116 |
| 6.3 | Einparkzeit | 117 |
| 6.4 | Kontaktfehler | 118 |
| 6.5 | Prozentuale Anteile Fixationsdauern während des Parkvorgangs | 119 |
| 6.6 | Maximale Fixationsdauern auf Display | 120 |
| 6.7 | NASA-TLX Beanspruchungstest mit und ohne Parkassistentensystem | 122 |
| | | |
| 8.1 | Objektiver Vergleich der Konzepte | 131 |
| 8.2 | Analyse der Parkqualität und der Fehlerrate | 132 |
| 8.3 | Bewertung der Usability der unterschiedlichen Konzepte | 133 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 8.4 | Bewertungsanteil bevorzugte Varianten der Anzeigekonzepte | 134 |
| 8.5 | Beurteilung der unterschiedlichen Zusatzinformationen für Parkstände | 135 |
| 8.6 | Top 5 Verbesserungsvorschläge | 136 |
| 9.1 | Beispiel Empfehlung für eine Anzeigenausrichtung nach dem inneren Modell des Menschen | 139 |
| 9.2 | Beispiel Empfehlung für Parkassistenzsysteme der Kategorie Sichter- weiterungssysteme | 141 |
| 9.3 | Beispiel: Empfehlung für mehrere Anzeigen, die die gleiche Aufgabe beinhalten | 142 |
| 9.4 | Konzeptempfehlung für ein videobasiertes Parkassistenzsystem | 144 |
| 9.5 | Konzeptempfehlung für ein virtuelles Parkassistenzsystem | 146 |
| A.1 | NASA-TLX Fragebogen. Die Itempaarbildung erfolgt für jeden Proban- den randomisiert. | 165 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Deskriptive Statistik Vergleich „freie Fahrt“ und „Parkstandsuche“ . . . | 42 |
| 3.2 | Deskriptive Statistik prozentuale Blickabwendungsanteile an der Aufgabenzzeit | 43 |
| 3.3 | Deskriptive Statistik prozentuale Blickabwendungsdauer | 44 |
| 3.4 | Deskriptive Statistik der maximalen Lenkwinkel | 44 |
| 3.5 | Deskriptive Statistik der Geschwindigkeit | 46 |
| 3.6 | T-Test für den Vergleich der Beanspruchung zwischen „freie Fahrt“ und „Parkstandsuche“ | 52 |
| 3.7 | Veränderung des Sichtwinkels auf Heckklappe verschiedener Automobile | 57 |
| 3.8 | Bewertungsanteil fahrzeugspezifischer Probleme beim Parken | 68 |
| 3.9 | Probandenanteil, der Schwierigkeiten in speziellen Situationen hat . . . | 68 |

A Anhang

A.1 Fragebögen


A.1.1 NASA-TLX


| Item | Bewertung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|----|--|--|--|--|-----|--|
| | 0 | | | | | 25 | | | | | | 50 | | | | | 75 | | | | | 100 | |
| Geistige Anforderung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Körperliche Anf. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zeitliche Anf. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Leistung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anstrengung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frustration | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Itempaar | | Gewichtung (Welches Item überwiegt?) |
|----------------------|----------------------|--|
| 1 | 2 | |
| Geistige Anforderung | Körperliche Anf. | |
| Anstrengung | Frustration | |
| Körperliche Anf. | Zeitliche Anf. | |
| Leistung | Anstrengung | |
| Leistung | Körperliche Anf. | |
| Zeitliche Anf. | Geistige Anforderung | |
| Leistung | Frustration | |
| Anstrengung | Zeitliche Anf. | |
| Frustration | Körperliche Anf. | |
| Geistige Anforderung | Leistung | |
| Körperliche Anf. | Anstrengung | |
| Zeitliche Anf. | Leistung | |
| Anstrengung | Geistige Anforderung | |
| Frustration | Zeitliche Anf. | |
| Geistige Anforderung | Frustration | |


Abbildung A.1 : NASA-TLX Fragebogen. Die Itempaarbildung erfolgt für jeden Probanden randomisiert.

A.1.2 Konzeptevaluierung Sichtenerweiterung



Versuchsfragebogen BMW Group 

Versuchsfragebogen




Herzlich Willkommen zu unserem Versuch!
November 2006


Ich möchte mich recht herzlich bedanken,
dass Sie sich Zeit für unseren Versuch nehmen.

VP 30

BMW Group
Assistenzsysteme Fahrerarbeitsplatz

- 1 -



Versuchsfragebogen BMW Group 

VP Nr. **VP 30**

Name _____

Gefahrenre km/Jahr _____

Führerschein seit ca. (in Jahren) _____

Privater BMW Fahrer ja nein

Haben Sie Erfahrungen mit E81 (aktueller Ser BMW Kombi) ja nein

Haben Sie Erfahrungen mit Automatikgetrieben ja nein

Einführung

Vielen Dank dafür, dass Sie sich Zeit für unsere Versuche nehmen!


Der Versuch an dem Sie teilnehmen dient zur systemergonomischen Untersuchung des rückwärtigen Einparkvorgangs mit und ohne Hilfe seitens Assistenzsystems. Sie werden mehrmals mit und ohne zu Hilfenahme von Assistenzsystemen links Längseinparken.


Hierbei wird zu Ihrer Blickerfassung ein neues System Namens **DIKABILIS** (Digitales kabelloses Blickerfassungssystem) genutzt. DIKABILIS ist ein Messsystem, mit dem die Blickbewegung von Versuchspersonen in Echtzeit erfasst werden kann. Dadurch, dass die Versuchspersonen bei dieser Form der kopfgelundenen Blickerfassung nicht an ein Kabel gebunden sind, ergibt sich für dieses System ein sehr weites Anwendungsspektrum.

Bitte beachten Sie:

- setzen Sie die Brille so auf, dass sie Sie soweit es geht nicht stört und soweit es geht bequem sitzt.
- danach wird eine Kalibrierung von uns durchgeführt, nach dieser Kalibrierung, bitten wir Sie soweit es geht die Position der Brille nicht mehr zu verändern.

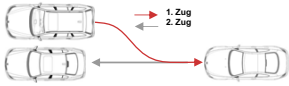
- 2 -



Versuchsfragebogen BMW Group 


Zur kurzen Erläuterung des Ablaufs


1. Einführung durch Versuchsleiter
2. Vertraulichkeitserklärung zu Prototypenstatus und Entwicklungsstand der Systeme
3. Eingewöhnung links Einparken ohne Assistenzsystem
4. Messung Einparkversuch (2x)
5. Eingewöhnung links Einparken mit RUS (Rundumsicht)
6. Messung Einparkversuch (2x)
7. Eingewöhnung links Einparken mit RUS und Zusatzinformation
8. Messung Einparkversuch (2x)
9. Eingewöhnungsphase links Einparken mit neuem Konzept
10. Messung Einparkversuch (2x)



Bei noch offenen Fragen steht der Versuchsleiter gerne für Sie zur Verfügung.

- 3 -



Versuchsfragebogen BMW Group 

Vertraulichkeitserklärung zu Prototypenstatus und Entwicklungsstand der Systeme

Die folgenden Versuche werden mit prototypischen Assistenzsystemen durchgeführt. Der Entwicklungsstand der Systeme entspricht keinesfalls dem von der BMW Group geforderten Stand für die Serienreife.

Um Vorerfahrungen durchführen zu können, müssen die Systeme den Probanden bereits in einem frühen Entwicklungsstadium präsentiert werden, was sich in Qualität und Komfort äußert.


Ich bestätige hiermit, diese Erklärung zur Kenntnis genommen zu haben und die Eindrücke, Erfahrungen und insbesondere die Qualitätseindrücke vertraulich zu behandeln.

München/16.11.2006

Name, Vorname _____
Ort/Datum _____

Unterschrift _____

- 4 -



Versuchsfragebogen

1. Parkversuch (ohne Assistenzsystem)

Eingewöhnungsphase

Sie werden sich in einer Eingewöhnungsphase mit dem Fahrzeug etwas vertraut machen. Hierfür stellen Sie sich den Sitz und die Spiegel optimal nach Ihren Wünschen ein. **Lenkradposition bitte nicht verstellen!** Achten Sie auf die Anweisungen des Versuchsleiters. Er wird Ihnen die Möglichkeit geben 1-2-mal das links Einparken mit dem Versuchsträgerfahrzeug zu üben. **Bitte achten Sie darauf, dass das Fahrzeug kein akustisches PDC besitzt! (Parkabstandsregelung)**

Versuchsphase

Nachdem Sie ein Gefühl für das Fahrzeug bekommen haben werden Sie nun auf Anweisung des Versuchsleiters einparken.

Ihre Vorgaben sind hierbei:

- Einparken in zwei Zügen (einmal rückwärts fahren und einmal vorwärts fahren)
- ca. 10 cm vom Bordstein entfernt
- so mittig wie möglich zwischen den Fahrzeugen parken
- so schnell wie möglich einparken


Bitte beachten Sie auch wenn ein Zeitdruck besteht so einzuparken, dass Sie kein Fahrzeug beschädigen. Dass heißt möglichen Kontakt mit den anderen Fahrzeugen oder den Kontakt der Felge mit dem Bordstein vermeiden. Bei Kontakt wird dies als Fehler gezählt.

Messdaten (DIKABILIS, Datenaufzeichnung starten!)

| Messung | Abstand hF | Abstand hR | Abstand vR | Abstand vF | Zeit | Kontaktfehler Fahrzeug | Kontaktfehler Bordstein |
|---------|------------|------------|------------|------------|------|--------------------------|--------------------------|
| 1. | cm | cm | cm | cm | s | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. | cm | cm | cm | cm | s | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. | cm | cm | cm | cm | s | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |


Notizen

- 5 -



Versuchsfragebogen

- 6 -



Versuchsfragebogen

Beanspruchungstest NASA – TLX


Teil I

Bewerten Sie Ihren eben durchgeführten Einparkvorgang nach folgenden Beanspruchungsdimensionen. Die dazugehörigen Fragen dienen zum besseren Verständnis.

- Geistige Anforderung**
Wie hoch war für Sie die mentale Beanspruchung beim Parkvorgang?
- Körperliche Anforderung/Arbeit**
Wie hoch war für Sie die körperliche Beanspruchung beim Parkvorgang?
- Zeitliche Anforderung/Zeitdruck**
In wie weit belastete Sie die zeitliche Anforderung?
- Leistung/Performance**
Wie hoch war die Belastung durch den Ehrgeiz die Aufgabenstellung bestmöglich zu erfüllen?
- Anstrengung**
Wie beurteilen Sie die Belastung durch die allgemeine Anstrengung beim Parkvorgang?
- Frustration**
Fühlten Sie sich frustriert? Falls ja, in wie weit belastete Sie diese Frustration beim Parkvorgang?

Auf der nächsten Seite finden Sie eine Tabelle in der Sie die Beanspruchungsdimensionen spezifisch für den eben durchgeführten Parkvorgang beurteilen können. Hierbei geht die Skala von **0% Belastung bis 100% Belastung**.

- 7 -



Versuchsfragebogen

Beanspruchungstest NASA – TLX

Teil I

Geistige Anforderung

niedrig hoch

0% 20% 40% 60% 80%

Körperliche Anforderung/Arbeit

niedrig hoch

0% 20% 40% 60% 80%

Zeitliche Anforderung/Zeitdruck

niedrig hoch

0% 20% 40% 60% 80%

Einschätzung ihre Leistung/Performance

niedrig hoch

0% 20% 40% 60% 80%

Anstrengung

niedrig hoch

0% 20% 40% 60% 80%

Frustration


niedrig hoch

0% 20% 40% 60% 80%

- 8 -

A.1.3 Konzeptevaluierung Führungsassistentz

Versuchsfragebogen



Herzlich Willkommen zu unserem Simulatorversuch zum Thema Parken!
November/Dezember 2006

Ich möchte mich recht herzlich bedanken, dass Sie sich Zeit für diese Untersuchung nehmen.

VP Nr. _____

BMW Group
Assistenzsysteme Fahrerarbeitsplatz

Name _____ Vorname _____

Gefahrene km/Jahr _____

Führerschein seit ca. (in Jahren) _____

Privater BMW Fahrer ja nein

Einführung

Vielen Dank dafür, dass Sie sich Zeit für unsere Versuche nehmen!

Der Versuch an dem Sie teilnehmen dient zur systemergonomischen Untersuchung des rückwärtigen Einparkvorgangs mit und ohne Hilfe von Assistenzsystemen. Sie werden mehrmals mit und ohne zur Hilfenahme von Assistenzsystemen rechts Längseinparken.

Hierbei wird zu Ihrer Blickerfassung ein neues System Namens **DIKABILIS** (digitales kabelloses Blickerfassungssystem) genutzt. DIKABILIS ist ein Messsystem, mit dem die Blickbewegung von Versuchspersonen in Echtzeit erfasst werden kann. Dadurch, dass die Versuchspersonen bei dieser Form der kopfgebundenen Blickerfassung nicht an ein Kabel gebunden sind, ergibt sich für dieses System ein sehr weites Anwendungsspektrum.

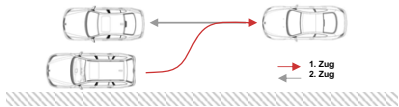
Bitte beachten Sie:

- setzen Sie die Brille so auf, dass sie Sie soweit es geht nicht stört und bequem sitzt.
- danach wird eine Kalibrierung von uns durchgeführt. Nach dieser Kalibrierung bitten wir Sie, soweit es geht die Position der Brille nicht mehr zu verändern.

Zur kurzen Erläuterung des Ablaufs

1. Einführung durch Versuchsleiter
2. Eingewöhnungsfahrt (Pylone umrunden)
3. Eingewöhnung Parken „Fahrzeug bewegt sich“
4. Messung Parken „Fahrzeug bewegt sich“
5. Fragebogen Parken „Fahrzeug bewegt sich“
6. Eingewöhnung Parken „Umwelt bewegt sich“
7. Messung Parken „Umwelt bewegt sich“
8. Fragebogen Parken „Umwelt bewegt sich“
9. Eingewöhnung Parken „Trajektorie“
10. Messung Parken „Trajektorie“
11. Fragebogen Parken „Trajektorie“
12. Eingewöhnung Parken „Kommandoanzeige“
13. Messung Parken „Kommandoanzeige“
14. Fragebogen Parken „Kommandoanzeige“

Während allen Szenarien gilt folgende Parkstandschaftaufgabe: „Finden Sie einen kostenlosen Parkstand, wo Sie laut SIVO parken dürfen“
Parkmandvier:



Bei noch offenen Fragen steht Ihnen der Versuchsleiter gerne zur Verfügung.

0. Eingewöhnungsphase

Sie werden sich in einer Eingewöhnungsphase mit der Simulation etwas vertraut machen. Umrunden Sie dazu die Pylone bis ans Ende der Versuchsstrecke
Bitte achten Sie darauf, dass in der Simulation kein akustisches / optisches PDC verwendet wird.

1.1 Fahrzeug bewegt sich

Versuchsphase

Nachdem Sie ein Gefühl für das Fahrzeug bekommen haben erhalten Sie nun folgende Aufgabe:
Suchen Sie einen kostenlosen Parkstand, ohne die SIVO zu verletzen und parken Sie dann rückwärts in zwei Zügen ein. Zur Unterstützung verwenden Sie bitte das Display in der Mitte. Auf diesem Display wird Ihnen auch angezeigt, wenn ein ausreichend großer Parkstand gefunden wurde, wie hoch evtl. die Parkstandgebühr ist und ob ein Halteverbot besteht.

Ihre Vorgaben beim Einparken sind dabei:

- Einparken in zwei Zügen (einmal rückwärts fahren und einmal vorwärts fahren)
- So nah wie möglich an den Bordstein fahren
- so mittig wie möglich zwischen den Fahrzeugen parken
- so schnell wie möglich einparken

Bitte beachten Sie, auch wenn ein Zeitdruck besteht so einzuparken, dass Sie kein Fahrzeug beschädigen. Dass heißt möglichen Kontakt mit den anderen Fahrzeugen oder den Kontakt der Felge mit dem Bordstein vermeiden. Bei Kontakt wird dies als Fehler gezählt.

→ 2 x üben; 2 x messen

Notizen

8 Die vom System angezeigte Informationen (Bildschirmanzeige und andere Hinweise) waren klar und eindeutig.

9 Es war einfach, die benötigten Informationen zu finden.

10 Die angezeigten Informationen zur Aufgabenerfüllung waren einfach zu verstehen.

11 Die Informationen waren effektiv (wirkungsvoll) um mir bei der Durchführung der gestellten Aufgabe zu helfen.

12 Die Informationsorganisation auf dem Bildschirm war klar und eindeutig.

13 Die Schnittstelle des Systems war angenehm.

14 Mir hat die Nutzung des Systems gefallen.

15 Dieses System hat alle Funktionen und Fähigkeiten, die ich erwartet habe.

16 Im Gesamten bin ich mit diesem System zufrieden.

_____ Welche dieser beiden Varianten würden sie im Alltag lieber nutzen

Variante 1

Variante 2

Mit Hilfe Variante 1 kann ich mich erheblich besser orientieren.

Mit Hilfe Variante 1 kann ich meine Einparkleistung erheblich verbessern.

Mit Hilfe Variante 2 kann ich mich erheblich besser orientieren.

Mit Hilfe Variante 2 kann ich meine Einparkleistung erheblich verbessern.

2.1 Parken mit Einparklinie

Versuchsphase

Sie erhalten nun wieder folgende Aufgabe:
Suchen Sie einen kostenlosen Parkstand, ohne die STVO zu verletzen und parken Sie dann rückwärts in zwei Zügen ein. Zur Unterstützung verwenden Sie bitte das Display in der Mitte. Auf diesem Display wird Ihnen auch angezeigt, wenn ein ausreichend großer Parkstand gefunden wurde, wie hoch evtl. die Parkstandgebühr ist und ob ein Halteverbot besteht.

Ihre Vorgaben beim Einparken sind dabei:

- Einparken in zwei Zügen (einmal rückwärts fahren und einmal vorwärts fahren)
- So nah wie möglich an den Bordstein fahren
- so mittig wie möglich zwischen den Fahrzeugen parken
- so schnell wie möglich einparken

Bitte beachten Sie, auch wenn ein Zeitdruck besteht so einzuparken, dass Sie kein Fahrzeug beschädigen. Dass heißt möglichen Kontakt mit den anderen Fahrzeugen oder den Kontakt der Felge mit dem Bordstein vermeiden. Bei Kontakt wird dies als Fehler gezählt.

→ 2 x üben; 2 x messen

Notizen

Fragebogen

1 Insgesamt bin ich zufrieden, wie einfach das System zu nutzen ist.

2 Ich konnte mit diesem System die mir gestellten Aufgaben effektiv erfüllen.

3 Ich war in der Lage, die mir gestellte Aufgabe mit diesem System schnell zu erfüllen.

4 Ich war in der Lage, die mir gestellte Aufgabe mit diesem System effizient (wirksam) durchzuführen.

5 Ich fühle mich mit diesem System komfortabel.

6 Es war einfach, die Bedienung des Systems zu erlernen.

7 Ich glaube, dass ich mit diesem System sehr schnell die Aufgabe produktiv erledigen kann.

4. Bemerkungen/Anregungen der Versuchsperson

Vielen Dank
für Ihre Geduld und die Teilnahme
an unserem Versuch.