

Christian Lange

**Wirkung von Fahrerassistenz auf der
Führungsebene in Abhängigkeit der Modalität und
des Automatisierungsgrades**



**Lehrstuhl für Ergonomie
der Technischen Universität München**

**Wirkung von Fahrerassistenz auf der Führungsebene in
Abhängigkeit der Modalität und des Automatisierungsgrades**

Dipl.-Ing. Univ. Christian Lange

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 Klinker Ph.D.

Die Dissertation wurde am 05.11.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 26.04.2008 angenommen.

Meinen Eltern

Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei all den Personen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

An erster Stelle ist Prof. Bubb zu nennen, der mir diese interessante Arbeit ermöglicht hat. Dabei stand mir seine Tür stets für angeregte und ausgedehnte Diskussionen offen. Besonders geschätzt habe ich dabei die von ihm gewährte Freiheit, im Rahmen meiner Dissertation eigene Wege gehen zu dürfen.

Ebenso möchte ich mich bei Frau Prof. Klinker für die hervorragende Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Augmented Reality und für die Übernahme der Zweitkorrektur dieser Arbeit bedanken.

Genauso gilt mein Dank den Kolleginnen und Kollegen des Kooperationsprojektes TUMMIC, das in Zusammenarbeit mit der BMW AG stattfand. Hier möchte ich mich besonders bei den BMW Kollegen Hr. Dr. Bengler und Hr. Fenk bedanken, die mir durch ihr sehr kollegiales Verhalten immer Tür und Tor für jegliche Unterstützung geöffnet haben. Ferner möchte ich mich bei meinem Kollegen Marcus Tönnis vom Fachgebiet Augmented Reality für unsere perfekte Kooperation und unsere unzähligen Stunden im Simulator bedanken. Vor allem diejenigen vor den gemeinsamen Präsentationen werden mir noch lange in Erinnerung bleiben.

Selbstverständlich spielen auch die direkten Kolleginnen und Kollegen am Institut eine wichtige Rolle bei einer derartigen Arbeit. An dieser Stelle gilt mein Dank vor allem Martin Wohlfarter und Uli Bergmeier für unsere hervorragende und symbiotische Zusammenarbeit. Besonders hervorzuheben sind an dieser Stelle auch die Herren Norbert Knoll, Michael Arzberger und Christian Zacherl, die mit ihrem fachmännischen Wissen und handwerklichen Geschick all meine in Form von technischen Zeichnungen vorliegenden Ideen haben Wirklichkeit werden lassen. Nicht vergessen möchte ich meinen ehemaligen Betreuer und Kollegen Dr. Robert Rassl, der mein Interesse an der Ergonomie geweckt und gefördert hat.

Sonderlich hervorzuheben sind die vielzähligen Studenten die mir im Rahmen dieser Arbeit bei der Planung, Durchführung und Auswertung der vielen Experimente geholfen haben. Besonders möchte ich mich dabei bei Laura Thompson, Darya Popiv, Tamara Lorenz und Mathias Grünsteidl bedanken, die jeweils über eine lange Zeit wichtige Stützen waren.

München, 27. November, 2007

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2	SYSTEMERGONOMISCHE ANALYSE DER FAHRAUFGABE	5
2.1	Ableitung des Bedarfs an Fahrerassistenz	5
2.2	Unfalldatenanalyse	26
2.3	Ergonomischer Lösungsansatz	37
2.4	Verknüpfung von Lösungsansatz und Bedarf an Assistenz	48
3	VERSUCHSAUFBAU	56
3.1	Aufbau des 1-kanaligen Fahrsimulators	56
3.1.1	Mechanischer Aufbau	56
3.1.2	Softwareseitiger Aufbau	58
3.2	Aufbau des 3-kanaligen Fahrsimulators	61
3.2.1	Mechanischer Aufbau	62
3.2.2	Softwareseitiger Aufbau	63
3.3	Beschreibung der entwickelten Fahrerassistenzsysteme	66
3.3.1	Haptische Geschwindigkeits- und Abstandshalteassistenz mittels eines aktiven Gaspedals	66
3.3.2	Optische Geschwindigkeitshalteunterstützung und Verkehrszeichenassistenz	70
3.3.3	Optische Abstandshalteunterstützung und Voranzeige der Nachführgröße	71
3.3.4	Haptische Querführungsassistenz mittels eines aktiven Lenkrades	73
3.3.5	Optische Querführungsassistenz	74
3.3.6	Semiautomatisierte Längsführungsassistenz mittels Adaptive Cruise Control ACC	75
4	GRUNDLAGEN DER VERSUCHSMETHODIK UND STATISTIK	76
4.1	Versuchsmethodische Grundlagen	76
4.2	Statistische Methoden	79
4.2.1	Deskriptive Statistik	79
4.2.2	Interferenzstatistik	80
5	KENNWERTE ZUR EVALUIERUNG VON FAHRERASSISTENZSYSTEMEN	83
5.1	Objektive Messwerte	83
5.1.1	Fahrperformance	83
5.1.2	Blickverhalten	88
5.2	Subjektive Messwerte	90

5.2.1	Fahrperformance	90
5.2.2	Fahrerbeanspruchung	91
5.2.3	Gefallen/Akzeptanz	91
6	VERSUCHSREIHEN UND ERGEBNISSE	92
6.1	Versuchskonzept	92
6.2	Usability Untersuchungen	96
6.2.1	Wunsch nach Fahrerassistenz	96
6.2.2	Potential kontaktanaloger Anzeigen	100
6.3	Anzeige verkehrsrelevanter Informationen	108
6.3.1	Methodik	108
6.3.2	Ergebnisdarstellung	111
6.3.3	Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung	122
6.4	Einfluss einer kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße	124
6.4.1	Methodik	124
6.4.2	Ergebnisdarstellung	128
6.4.3	Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung	137
6.5	Einfluss von optischer und haptischer Fahrerassistenz	139
6.5.1	Methodik	139
6.5.2	Ergebnisdarstellung	146
6.5.3	Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung	160
6.6	Vergleichende Untersuchung von ACC und aktivem Gaspedal	164
6.6.1	Methodik	164
6.6.2	Ergebnisdarstellung	171
6.6.3	Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung	186
7	DISKUSSION UND AUSBLICK	189
	LITERATURVERZEICHNIS	208
	ANHANG	222

Zusammenfassung

Nach dem Weißbuch der Europäischen Kommission vom 12. September 2001 soll die Zahl der Verkehrstoten in Europa bis zum Jahr 2010 auf die Hälfte des Standes vom Jahre 2001 (50385 Verkehrstote) reduziert werden. Dies kann nur durch effiziente Maßnahmen der aktiven Sicherheit erreicht werden. Aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Fahrerassistenzsysteme stellen jedoch vom technisch Machbaren getriebene Insellösungen dar, die das Potential der aktiven Sicherheit nicht voll ausnutzen und nur geringe Kundenakzeptanz erzielen.

Dieser von der Technik bestimmten Vorgehensweise wird im Rahmen dieser Arbeit ein anderer Ansatz gegenübergestellt. Dabei wird zunächst, auf Basis eines Handlungsmodells für die Fahrzeugführungsebene und unter Einbeziehung der kognitiven Fähigkeiten des Menschen, der theoretische Bedarf an Fahrerassistenz abgeleitet. Eine Analyse von Unfalldaten aus der GIDAS-Datenbank sichert die so gefundenen Ergebnisse ab. Aufbauend auf Kenntnissen und Gesetzmäßigkeiten aus der Ergonomie, der Forschung im Bereich der Fahrerassistenzsysteme und der Automatisierungstechnik, wird für die gefundenen Unterstützungsbedarfe ein einheitliches Assistenzkonzept abgeleitet, bei dem Mensch und Maschine ein kooperatives System bilden, dessen Gesamtleistung es zu optimieren gilt.

Dieses Konzept, das den Fahrer mit einer einheitlichen Interaktionsmetapher bei der Längs- und Querführungsaufgabe unterstützt, wird zunächst mit Hilfe eines Fragebogenexperiments sowie durch Vorversuche im Usability Labor weiter verfeinert und dann in verschiedenen Ausprägungen im Fahrsimulator umgesetzt. Dabei werden unter anderem ein aktives Gaspedal, ein aktives Lenkrad, ein ACC-System sowie diverse kontaktanaloge und nicht-kontaktanaloge Head-Up-Display Anzeigen entwickelt.

Im Rahmen von vier Fahrsimulatorversuchen mit insgesamt über 90 Probanden wird dann der Einfluss von unterstützender Fahrerassistenz und von einer Teilautomatisierung der Fahraufgabe auf die Fahrleistung, das Blickverhalten, die empfundene Beanspruchung sowie den Gefallens- und Akzeptanzaspekt untersucht. Dabei werden zuerst partielle Fragestellungen zur Auswirkung von kontaktanalogen und nicht-kontaktanalogen Head-Up-Display Anzeigen beantwortet. Daraufhin werden durch zwei umfangreiche Fahrsimulatorversuche zuerst unterschiedliche Ausprägungen des einheitlichen Assistenzkonzeptes untersucht und danach die kooperative Form der Fahrerunterstützung mit dem Abstandsregeltempomaten ACC verglichen, der sich bereits auf dem Markt befindet, und der eine Teilautomatisierung der Fahraufgabe darstellt.

Abschließend werden die gefundenen Ergebnisse diskutiert und es wird überprüft, wie gut diese mit den Vorhersagen des Handlungsmodells für die Fahrzeugführungsebene übereinstimmen. Nach einer Diskussion der gewählten Vorgehensweise und Methodik, erfolgt ein Ausblick auf weitere sinnvoll erscheinende Arbeiten zur Erweiterung des Handlungsmodells und zum Transfer der Interaktionsmetapher auf andere Fahrzeugbedienkonzepte.

Insgesamt zeigt sich, dass die kooperative Form der Fahrerassistenz für die Längs- und Querführungsunterstützung, die aus den Unterstützungsbedarfen des Menschen abgeleitet wurde, einen äußerst positiven Einfluss auf die Fahrsicherheit, das Fahrerverhalten und die Nutzerakzeptanz hat.

Abstract

According to the White Paper of the European Committee from the 12th of September 2001, the number of traffic deaths in Europe shall be reduced until 2010 to the half of the stand from the year 2001 (50385 traffic deaths). Driven by what is technically practicable, the currently available driver assistance systems offer only local solutions which do not fully exploit the potential of the active safety and have only low customer acceptance.

Within the scope of this paper, this technically based approach is faced with another proceeding. As a start, the theoretical need of driver assistance is derived, based on an action model for the vehicle guidance level and under the consideration of the cognitive skills of the human being. The outcome of this study is confirmed by an analysis of accident data from the GIDAS-Database. Afterwards, a standardized concept for the detected need of assistance is deduced, based on knowledge and universal laws from the field of ergonomics and on the research in the areas of driver assistance systems and automation technology. Within this approach, the human and the machine represent a cooperating system, whose overall performance is to be optimized.

This new concept, which assists the driver in the longitudinal and lateral guidance with a uniform interaction method, is improved by the help of a questionnaire experiment and preliminary tests in the usability laboratory. Subsequently, the concept is implemented with different functional characteristics in the driving simulator. Within this phase, an active gas pedal, an active steering wheel, an ACC system and diverse conformal and normal Head-up-Display notifications are developed.

The influence of supported driver assistance and of a semi-automated driving task upon the driving performance, the eye glance behavior, the felt strain load and the pleasure and acceptance factor is assessed within the scope of four driving simulator experiments with an overall of more than 90 test persons. First, partial questions regarding the handling of driver assistance systems and the conformal and normal Head-up-Display indications are answered. Thereupon different models of the standardized assistance concept are investigated and compared with an already at the market available ACC, which represents a semi-automated driving assistance.

Concluding, the achieved results are discussed and subsequently a verification is made in order to evaluate how good the results comply with the predictions of the action model for the vehicle guidance level. The discussion of the chosen approach and methodology is followed by an outlook regarding further activities that seem to be reasonable for the enhancement of the activity model and for the transfer of the uniform interaction metaphor on other vehicle operational concepts.

Altogether it is pointed out that the cooperative form of driver assistance for the longitudinal and lateral guidance, which was assessed by the need for guidance of the human being, has an extremely positive effect upon the driving safety, the driving behavior and the acceptance by the user.

1 Einleitung und Zielsetzung

Die Zahl an zugelassenen Kraftfahrzeugen steigt seit Jahrzehnten weltweit stetig an. War der Bestand in Deutschland 1953 noch bei etwa 5 Millionen Fahrzeugen, ist er Ende 2006 mit weiter steigender Tendenz schon bei knapp 55 Millionen angelangt. Wie Abbildung 1-1 illustriert, hat sich der Kraftfahrzeugbestand seit 1970 nahezu verdreifacht. Ebenso stark hat auch die Fahrleistung zugenommen. Im Vergleich dazu wurde in diesem Zeitraum das bundesweite Straßennetz von 162344 km auf nur 231467 km erweitert, was lediglich einer Zunahme von ca. 42% entspricht. Die Folge dieser Entwicklung ist ein immer stärkeres und somit auch komplexeres Verkehrsaufkommen auf den Straßen, was zu einer größeren Belastung für den Autofahrer und somit zu einem höheren Unfallrisiko führt. Dieses erhöhte Unfallrisiko zeigt auch die über 75-prozentige Zunahme der polizeilich erfassten Verkehrsunfälle, von 1.392.007 auf 2.311.466, in der Zeit von 1970 bis 1991.

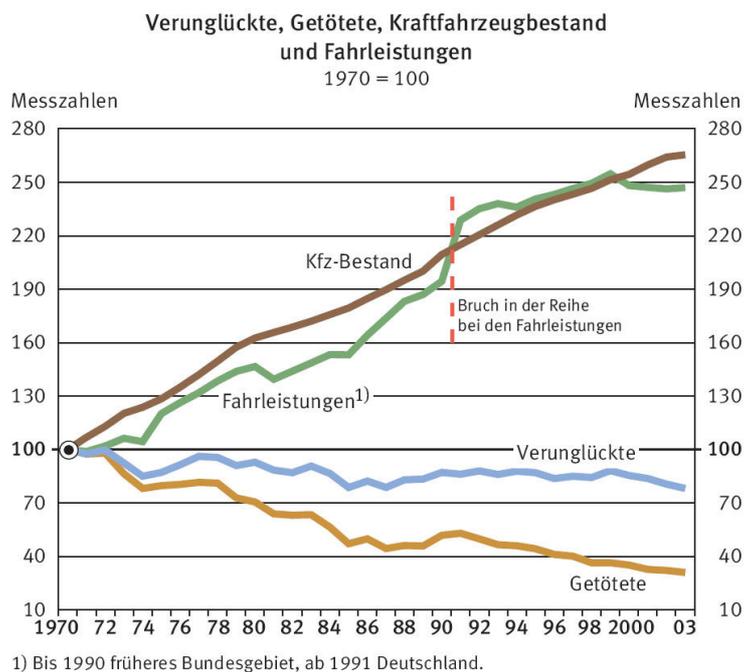


Abbildung 1-1: Entwicklung des Fahrzeugbestandes und Anzahl der im Straßenverkehr Getöteten in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Die Zahl der Getöteten im Straßenverkehr nimmt dagegen seit 1970 stetig ab. Dies ist hauptsächlich auf die Fortschritte in der passiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen sowie auf Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen zurückzuführen. Den Verlauf der Anzahl an Getöteten im Straßenverkehr seit 1953, der sein Maximum im Jahr 1970 hat, zeigt Abbildung 1-2. Dieser Abbildung kann man auch entnehmen, welche Wirkung Maßnahmen, wie die Einführung der Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf Landstraßen 1972 oder die Einführung der Gurtanlegepflicht 1984, hatten.

Trotz der beachtlichen Fortschritte in der passiven Sicherheit, lag die Zahl der Unfalltoten auf Deutschlands Straßen im Jahr 2006 immer noch bei 5091. Betrachtet man die durch Straßenverkehrsunfälle entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten, so zeigt sich im Jahr 2003 ein Betrag von 32,20 Mrd. Euro. Die Kosten der Personenschäden betragen hiervon 16,30 Mrd. Euro, wobei 7,70 Mrd. Euro für Getötete, 7,19 Mrd. Euro für Schwerverletzte und 1,41 Mrd. Euro für Leichtverletzte

anfielen (Quelle: BASt, 2003). Im Weißbuch der Europäischen Kommission vom 12. September 2001 wird demnach festgelegt, dass die Zahl der Verkehrstoten in Europa bis zum Jahr 2010 auf die Hälfte des Standes vom Jahre 2001 (50385 Verkehrstote) reduziert werden soll.

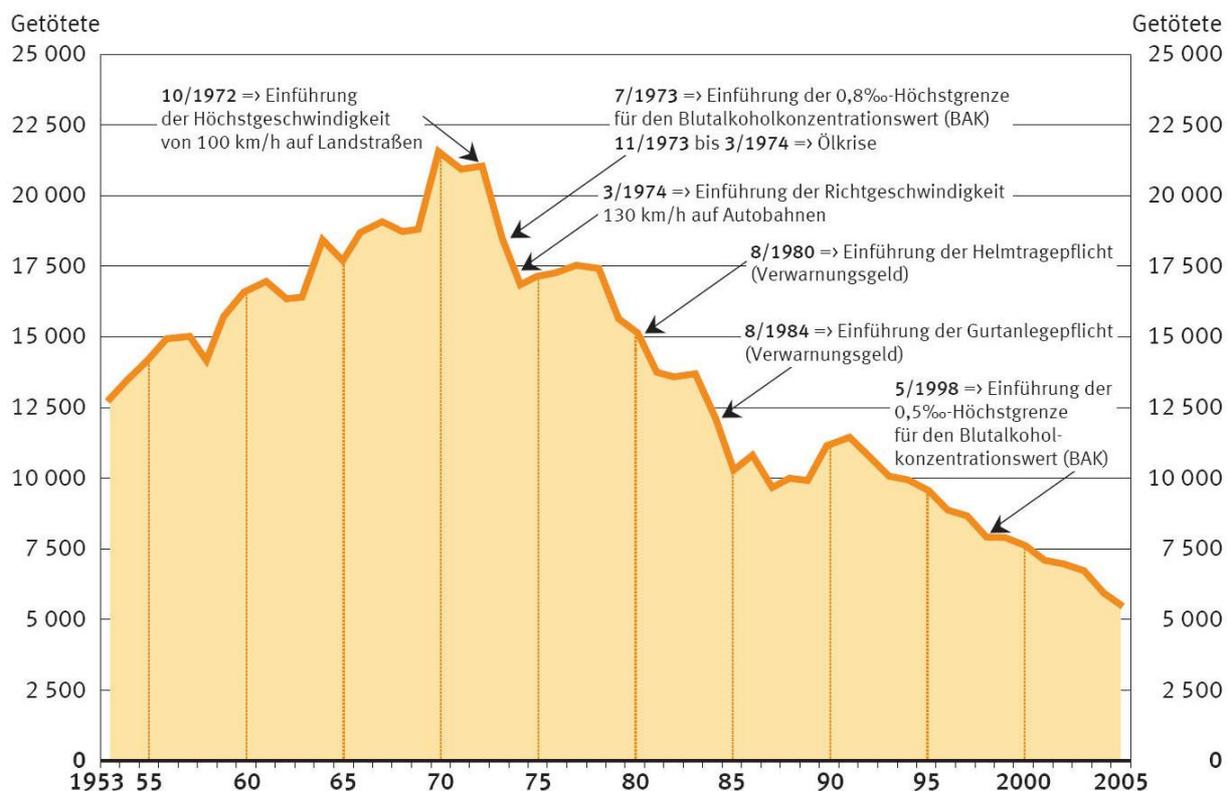


Abbildung 1-2: Entwicklung der im Straßenverkehr Getöteten in Deutschland seit 1953 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Eine Betrachtung der Unfallstatistiken ergibt, dass das Potential von Maßnahmen der passiven Sicherheit nahezu ausgeschöpft ist und hier nur noch geringe Fortschritte zu erwarten sind. Dies zeigt auch der Verlauf der Zahl an Verunglückten in Abbildung 1-1 sowie die polizeiliche Unfallstatistik. Laut dieser wurden im Jahr 1995 mit 2.238.301 und im Jahr 2006 mit 2.235.318 erfassten Unfällen nahezu gleich viele Unfälle polizeilich aufgenommen. Dieser degressive Verlauf der Potentialausschöpfung der passiven Sicherheit ist auch in Abbildung 1-3 dargestellt.

Deshalb suchen Straßenverkehrsexperten, Behörden und die Politik nach neuen Möglichkeiten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. So haben beispielsweise die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) in der Schweiz und die schwedische Regierung die Idee der „Vision Zero“ aufgegriffen. Diese Philosophie, dass jeder Unfall vermeidbar ist, wurde erstmals vom amerikanischen Unternehmen DuPont entwickelt und bedeutet, auf den Straßenverkehr angewendet, dass das Straßenverkehrssystem so zu gestalten ist, dass bei dessen Benutzung keine Menschen mehr schwer oder tödlich verletzt werden. Um das Ziel der „Vision Zero“ zu erreichen, bedarf es der vollständigen Ausschöpfung der Entwicklungsmöglichkeiten moderner Sicherheitssysteme. Während das Potential der passiven Sicherheit, wie oben gezeigt, nahezu ausgereizt ist, ist die Potentialausschöpfung der aktiven Systeme, also die der Unfallvermeidung, erst am Anfang ihrer Entwicklung (siehe Abbildung 1-3). Deshalb liegt darauf das Hauptaugenmerk heutiger Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten. Die in

Abbildung 1-4 dargestellte Roadmap des Projektes ADASE zeigt die Liste an Assistenzsystemen, welche künftig eingeführt werden sowie eine Abschätzung des Potentials der Systeme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit.

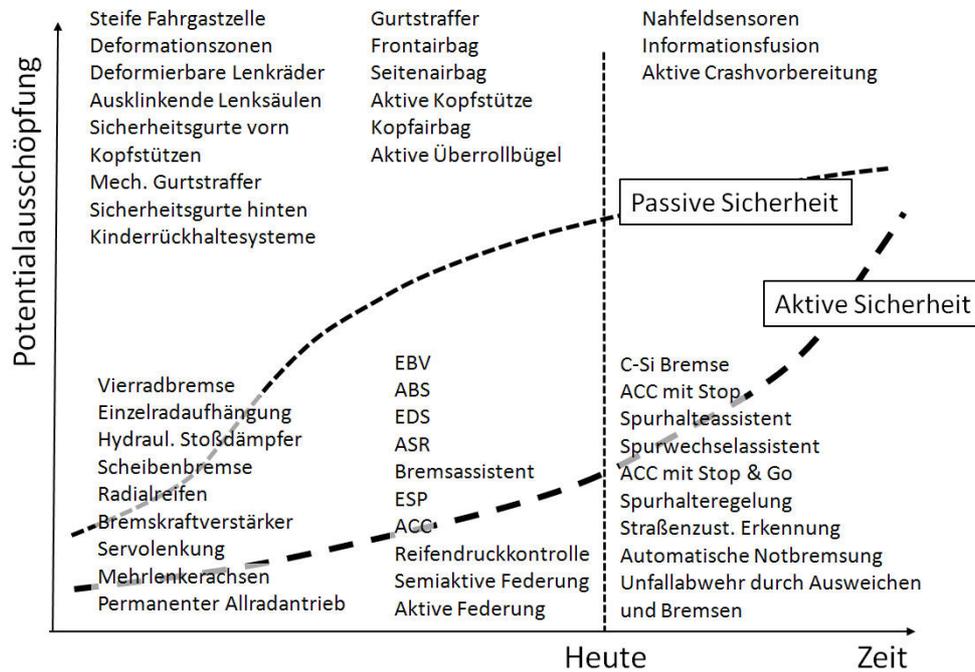


Abbildung 1-3: Potentialausschöpfung von aktiver und passiver Sicherheit (nach Heißing, 2006)

Die aktuelle Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen geht allerdings sehr stark vom technisch Machbaren aus. Oftmals werden, aufbauend auf bisher verfügbaren Technologien und neuen Entwicklungstrends, Funktionen entwickelt, welche, erst nach Markteinführung, hinsichtlich ihres Effektes auf die Verkehrssicherheit untersucht und bewertet werden. Dies führt häufig zu separierten Insellösungen, die sich nur schwer zur Erzielung von sicherheitstechnischen Synergieeffekten miteinander kombinieren lassen. Die Gefahr dieser Systeme mit diffusen Mensch-Maschine Schnittstellen und Funktionsweisen ist eine erhöhte Belastung des Fahrers, ein geringes Systemverständnis und daraus resultierend eine schlechte bzw. keine Kundenakzeptanz.

In dieser Arbeit wird der gezeigten Vorgehensweise ein anderer Ansatz gegenübergestellt. Ziel ist es dabei, anhand einer systemergonomischen Betrachtung der Fahraufgabe unter Einbeziehung der menschlichen Grenzen in der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung, theoriegeleitet den Bedarf an Fahrerassistenz zu identifizieren. Mittels einer begleitenden Analyse von Unfalldaten wird der theoretisch ermittelte Assistenzbedarf praktisch nachgewiesen und abgesichert. Aufbauend auf dem erarbeiteten Bedarf und unter Einbeziehung von systemergonomischen Gesetzmäßigkeiten werden Lösungsvorschläge für Fahrerassistenzsysteme entwickelt, wobei zu beachten ist, dass derartige Systeme dem Fahrer gefallen und von ihm akzeptiert werden müssen, damit sie Anwendung finden. Im Rahmen von Fahrsimulatorstudien wird dann die Wirkung, der auf Basis dieser Vorgehensweise abgeleiteten Assistenzsysteme, auf die Fahrsicherheit und das Fahrerverhalten untersucht und nachgewiesen.

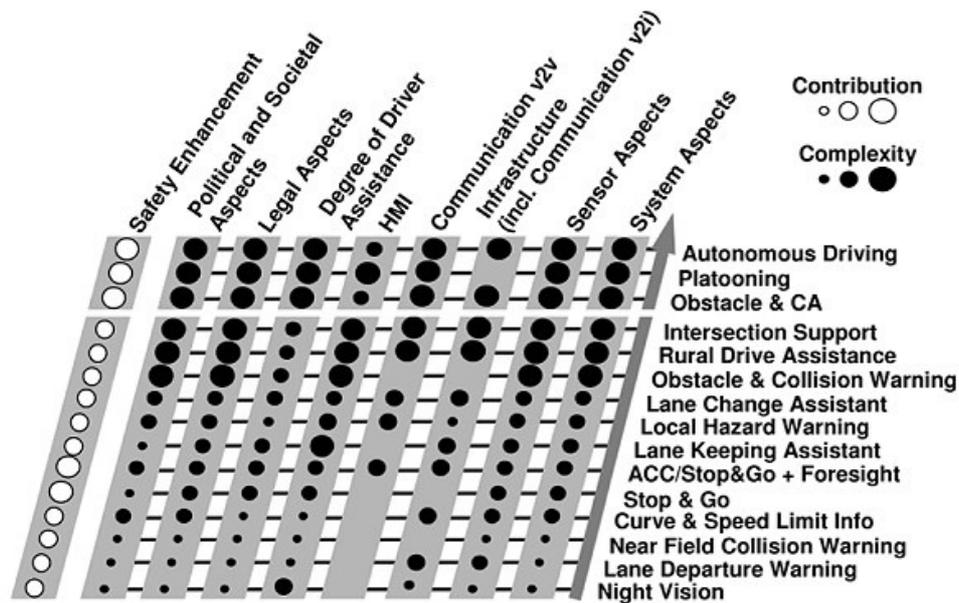


Abbildung 1-4: ADASE Roadmap zur Einführung von Fahrerassistenzsystemen

Im folgenden Kapitel werden eine systemergonomische Analyse der Fahraufgabe und eine Auswertung von Unfalldaten durchgeführt. Darauf aufbauend werden dann ergonomische Lösungsvorschläge für Fahrerassistenzsysteme entwickelt. In Kapitel 3 wird die in dieser Arbeit eingesetzte Forschungsumgebung am Lehrstuhl für Ergonomie präsentiert sowie die technische Realisierung der Fahrerassistenzsysteme beschrieben. Kapitel 4 erläutert die nötigen theoretischen Grundlagen zur Versuchsmethodik und Statistik. Kapitel 5 stellt Mess- und Kennwerte zur Evaluierung von Fahrerassistenzsystemen vor. In Kapitel 6 werden nach einer Vorstellung des Versuchskonzeptes sämtliche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Experimente, einschließlich dem Versuchsdesign und den Ergebnissen dargelegt. Das letzte Kapitel diskutiert die in der Arbeit gewählte Vorgehensweise sowie die gefundenen Erkenntnisse und gibt einen Ausblick auf mögliche weiterführende Arbeiten.

2 Systemergonomische Analyse der Fahraufgabe

Die Entwicklung von Assistenzsystemen orientiert sich, wie bereits im vorangegangenen Kapitel aufgeführt, oftmals am technisch Machbaren und nicht an den wirklichen Bedürfnissen und Fähigkeiten des Fahrers. Systeme, die aufgrund dieser Vorgehensweise entstehen, stellen somit häufig isolierte Insellösungen dar, die sich durch ihre diffusen Mensch-Maschine Schnittstellen und Interaktionsstrategien nur schwer zur Erzielung von sicherheitstechnischen Synergieeffekten miteinander kombinieren lassen. Zudem schöpfen sie das vorhandene Potential zur Erhöhung der aktiven Sicherheit nicht optimal aus, da sie nicht von Grund auf an die Fähigkeiten des Menschen im Bereich der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe angepasst sind.

Dieser technikgetriebenen Vorgehensweise wird im Rahmen dieses Kapitels ein anderer Ansatz gegenübergestellt. Hierbei wird zunächst, auf Basis einer systemergonomischen Betrachtung der Fahraufgabe und unter Einbeziehung der kognitiven Fähigkeiten des Menschen, der theoretische Bedarf an Fahrerassistenz abgeleitet. Eine darauf folgende Analyse von Unfalldaten aus der GIDAS-Datenbank sichert die theoriegeleitet gefundenen Ergebnisse ab. Daran anschließend wird, aufbauend auf Kenntnissen und Gesetzmäßigkeiten aus der Ergonomie, der Forschung im Bereich der Fahrerassistenzsysteme und der Automatisierungstechnik, eine Interaktionsmetapher zwischen Fahrer und Assistenzsystem abgeleitet, bei der beide als kooperative Partner zusammenwirken. Abschließend wird gezeigt, wie mit dieser Interaktionsmetapher die abgeleiteten Bedarfe an Fahrerassistenz gedeckt werden können. Dies ist die Grundlage für die Umsetzung der in Kapitel 3.3 detailliert beschriebenen Fahrerassistenzsysteme, deren Einfluss auf die Verkehrssicherheit und das Fahrerverhalten, im Rahmen der Experimente in Kapitel 6, untersucht wird.

2.1 Ableitung des Bedarfs an Fahrerassistenz

In diesem Abschnitt wird analysiert, wie der Fahrer im Zusammenspiel mit dem Fahrzeug und der Fahrumwelt die sich ihm stellende Fahraufgabe erfüllt. Dabei wird, ausgehend vom allgemeinen Fahrer-Fahrzeug Regelkreis aufgezeigt, welche Sinneskanäle in welcher Form an diesem Prozess beteiligt sind. Daraufhin erfolgt eine Untergliederung der Fahraufgabe in ihre einzelnen Ebenen, wobei deren Wechselwirkung und Komplexität demonstriert wird. Anhand eines Entscheidungsmodells für die Fahrzeugführungsebene werden die komplexen Informationsaufnahme-, -verarbeitungs- und -umsetzungsprozesse, die zur korrekten Erfüllung der Fahraufgabe notwendig sind, vorgestellt. Außerdem wird gezielt auf die menschlichen Stärken und Schwächen eingegangen. Mit Hilfe dieser Betrachtung lässt sich theoriegeführt der Bedarf an Fahrerassistenz ableiten.

Abbildung 2.1-1 zeigt anhand des allgemeinen Fahrer-Fahrzeug Regelkreises, die am Fahrprozess beteiligten Größen. Dabei stellt die Fahraufgabe im regelungstechnischen Sinn die Eingangsgröße des Regelkreises dar. Diese ist der Wunsch des Fahrers von seinem momentanen Standort in einem gegebenen Zeitfenster und auf einer festgelegten Route, ohne Kollision mit bewegten oder stehenden Objekten, an den Zielort zu kommen. Die Ausgangsgröße des Regelkreises bildet die Bewegung des Fahrzeuges, welche in der nachstehenden Abbildung als die Erfüllung der Fahraufgabe bezeichnet wird. Der Regler ist der Fahrer, der, aufgrund der Differenz zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße, über die Fahrzeugbedienelemente auf die Regelstrecke, das Fahrzeug, einwirkt.

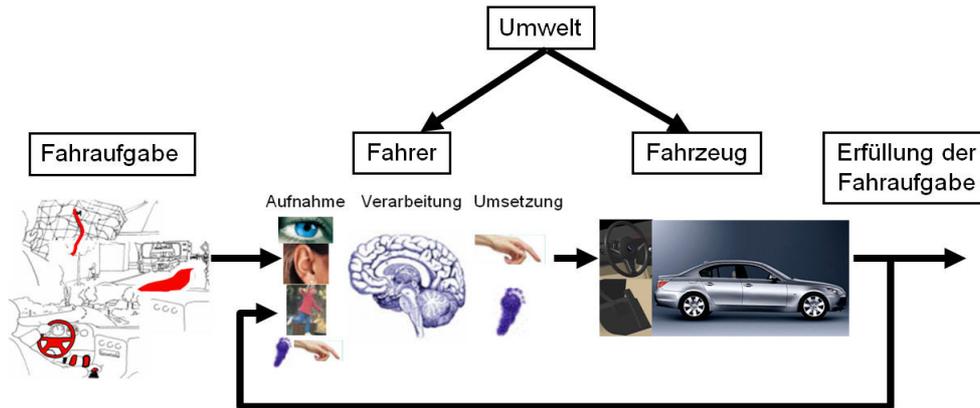


Abbildung 2.1-1: Allgemeiner Fahrer-Fahrzeug Regelkreis

Während dieser Prozess abläuft, beobachtet der Fahrer das Verkehrsgeschehen, das die Führungsgröße darstellt. Über die am Fahrprozess beteiligten Sinneskanäle nimmt er dabei die Lage und Orientierung relativ zur Straße und zu stehenden und bewegten Objekten sowie die Bewegungsdynamik des Fahrzeuges wahr. Über welchen Sinneskanal er welche Information aufnimmt, ist in Tabelle 2.1-1 dargestellt. Der wichtigste Sinneskanal ist hierbei der visuelle Apparat. Nach *Rockwell (1971)* wird die Fahraufgabe bis zu 90% durch ihn erfüllt. Dieser dient vor allem der Spurführung und dem Messen von Abständen zu anderen Objekten. Ferner kann der Fahrer über die visuell aufgenommene Bewegungsinformation von anderen Verkehrsteilnehmern deren zukünftiges Verhalten abschätzen. Dieser Vorgang wird als Antizipation bezeichnet.

Tabelle 2.1-1: Zusammenhang zwischen Sinneskanal und aufgenommener Information zur Erfüllung der Fahraufgabe nach *Tomaske & Fortmüller (2001)*. Die dunkelgrau hinterlegten Felder sind dabei weniger wichtig zur Erfüllung der Fahraufgabe (die mit einem Kreis markierten Felder stellen Erweiterungen des Autors der vorliegenden Arbeit dar)

Information	Visuell	Vestibulär	Haptisch	Akustisch
Spurabweichung	x			
Quergeschwindigkeit	x			
Fahrgeschwindigkeit	x			x
Längs- und Querbeschleunigung		x	x	o
Winkel Fahrzeug-längsachse-Sollkurs	x	o		
Giergeschwindigkeit	x			
Gierbeschleunigung		x		
Neigungswinkel	x	x		
Lenkwinkel	x		x	
Kräfte in Stellgliedern			x	
Fahrgeräusch				x

Aus den über die Sinneskanäle aufgenommenen Informationen leitet der Fahrzeugführer bei einer herrschenden Regelabweichung eine definierte Handlungssequenz ab und verändert dementsprechend die Stellung des Lenkrads oder des Gaspedals bzw. wirkt auf das Bremspedal ein. Diese neue Position der

Fahrzeugbedienelemente hat wiederum eine Veränderung der Ausgangsgröße der Regelstrecke zur Folge. Als Konsequenz beschleunigt oder verzögert das Fahrzeug und ändert ggf. den Radius der momentan befahrenen Bahnkurve. Die sich dadurch ergebende neue Lage, Orientierung und Bewegungsdynamik des Fahrzeuges ist die Nachführgröße des Regelkreises. Der Zusammenhang zwischen den regelungstechnischen Fachtermini und den Entsprechungen bei der Fahraufgabe ist in Abbildung 2.1-2 gezeigt.

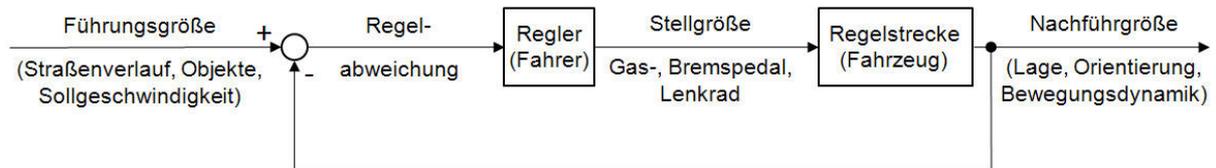


Abbildung 2.1-2: Zusammenhang zwischen den regelungstechnischen Fachtermini und den Entsprechungen bei der Fahraufgabe

Nach Geiser (1985) lässt sich die Fahraufgabe in die drei Kategorien

- Primär
- Sekundär
- Tertiär

unterteilen.

Die **primäre Fahraufgabe** ist es, das Fahrzeug mit den vorhandenen technischen Mitteln, vom Punkt A zum Punkt B zu bewegen. Weiterhin entstehen für den Fahrer Tätigkeiten, die er in Abhängigkeit von der Fahraufgabe zu erledigen hat. Diese so genannten **sekundären Aufgaben sind:**

- Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern (z.B. blinken, hupen, schalten der Nebelschlussleuchte).
- Allgemeines Informationsbedürfnis bzgl. der Verkehrslage (Verkehrsfunk).
- Spezielle Aufgaben unter besonderen Bedingungen (z.B. Betätigung des Abblend- und Fernlichtes, des Nebellichtes, des Scheibenwischers, der Scheibenwischanlage und der Enteisungsanlage). Diese Maßnahmen lassen sich auch unter dem Begriff „Sichterweiterung“ zusammenfassen.
- Überwachungsaufgaben, die sich aus der verwendeten Technik ergeben. Diese sind beispielsweise das Überwachen von Drehzahl, Tankinhalt und Öldruck.

Letztlich stellen sich dem Fahrer noch **tertiäre Aufgaben**, die mit der eigentlichen Fahraufgabe nicht verbunden sind. Diese entstehen aus Informations- (z.B. Radio, Internet), Komfort- (z.B. Sitzheizung, Klimaanlage) und Sozialbedürfnissen (z.B. Gespräch mit Fahrzeuginsassen, Telefon, SMS; E-Mail).

Wie in Abbildung 2.1-3 dargestellt, besteht nach *Bernotat (1970)* die **primäre Fahraufgabe** aus den drei ineinander verschachtelten Ebenen der Navigation, der Führung und der Stabilisierung.

Die Ebene der Navigation bildet die höchste Stufe. Ihr Inhalt ist die eigentliche Transportaufgabe (z.B. Fahrt von München nach Berlin in 10 Stunden mit einem

Beifahrer). Aus dieser leiten sich der Kurs und die durchschnittliche Geschwindigkeit ab. Diese Daten sind auch zugleich die Aufgabenstellung für die nächst niedrigere Ebene, die Ebene der Führung. Aus der Führungsaufgabe ergeben sich, in Abhängigkeit von der Verkehrssituation, der genaue Weg und die Geschwindigkeitsänderungen (oder auch: Spurhaltung, Folgefahren, Überholen und Reaktion auf Verkehrszeichen). In der niedrigsten Ebene, der Ebene der Stabilisierung, lautet die Aufgabenstellung, die oben genannten Größen mithilfe des Fahrzeugs zu verwirklichen (z.B. Lenkbewegung, Gaspedal, Bremse und Gangstellung).

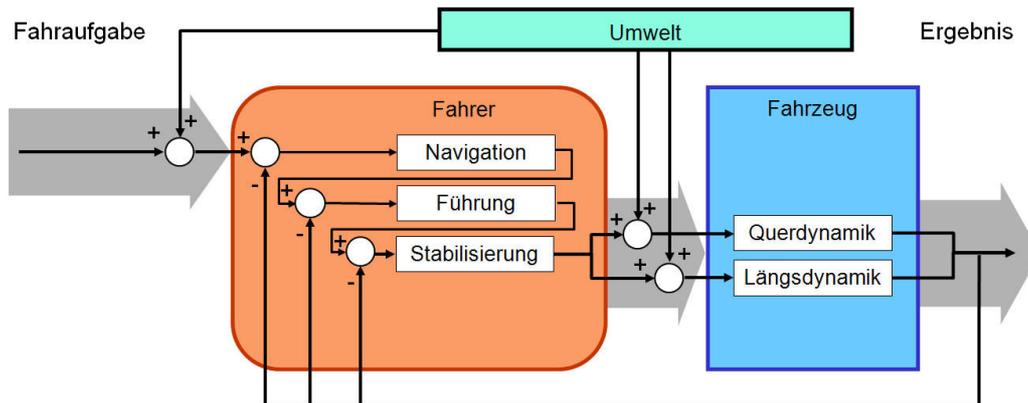


Abbildung 2.1-3: Fahrer-Fahrzeug Regelkreis mit den drei ineinander verschachtelten Ebenen der primären Fahraufgabe nach Bernotat (1970) und Bubb (1988)

Es ist jedoch zu beachten, dass man die Erfüllung sämtlicher Aufgaben stets, in allen Ebenen, mit der jeweiligen Aufgabenstellung auf Übereinstimmung überprüfen muss. So kann es passieren, dass es Auswirkungen auf die nächsthöhere Ebene hat, wenn die Aufgabenstellung der untersten Ebene, der Ebene der Stabilisierung, nicht mehr zu erfüllen ist. Als Beispiel lässt sich hier eine zu hoch empfundene Querbewegung anführen, welche zur Reduktion der Geschwindigkeit auf der befahrenen Straße führen kann. Ebenso kann eine Straßensperre auf der Ebene der Fahrzeugführung bewirken, dass man die Navigationsaufgabe komplett ändern muss. Daraus lässt sich erkennen, dass sich die Aufgabenstellung in beiden Richtungen der Hierarchie durch wechselnde Randbedingungen oder subjektive Erlebnisse ändern kann.

Abbildung 2.1-4, nach Reichart & Haller (1995), zeigt das Maß der kognitiven Anforderung in Abhängigkeit von der Ebene der Fahraufgabe. Demnach herrscht die höchste Aufgabenkomplexität auf der Ebene der Navigation. Als Beispiel lässt sich hier das Zurechtfinden in einer fremden Stadt anführen. Die geringsten kognitiven Anforderungen stellen die Aufgaben auf der Ebene der Stabilisierung dar (z.B. Gas geben und bremsen). Betrachtet man jedoch die Frequenz, mit der diese Tätigkeiten zu erfüllen sind, kehrt sich diese Reihenfolge genau um. Der Fahrer plant die Route nur ein einziges Mal, nämlich zu Beginn der Fahrt. Unterwegs muss er lediglich hin und wieder überprüfen, ob er sich noch auf der beabsichtigten Route befindet. Im Gegensatz dazu hat er ständig und sogar gleichzeitig die Fahrzeugbedienelemente wie Gas- und Bremspedal sowie das Lenkrad zu betätigen, um die Vorgaben aus den höheren Hierarchieebenen zu erfüllen.

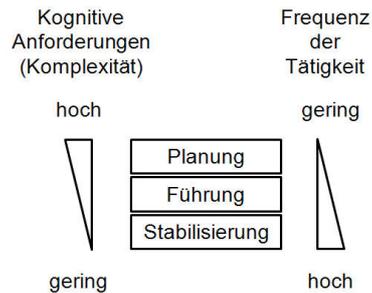


Abbildung 2.1-4: Komplexitätsgrad und Auftretenshäufigkeiten von Tätigkeiten in Abhängigkeit von der Ebene der Fahrzeugführung nach Reichart & Haller (1995)

Bildet man das Modell der drei hierarchisch gegliederten Ebenen der Fahraufgabe auf das Handlungsmodell von *Rasmussen (1983)* ab, ergibt sich das in Tabelle 2.1-2 gezeigte Ergebnis. *Rasmussen* unterteilt das menschliche Verhalten in drei Ebenen:

- **Wissensbasiertes** Verhalten (knowledge-based behavior): Handlungsstrategien werden durch generelles Wissen und auf Basis der Interpretation von vorliegender Information entworfen.
- **Regelbasiertes** Verhalten (rule-based behavior): Es bezieht sich auf Beurteilungs- und Problemlösungssituationen, in denen gelernte Regeln angewendet werden (z.B. Herabsetzen der Geschwindigkeit bei Straßenglätte). Der Zeitbedarf entspricht der Zeitspanne des aktuellen Bewusstseins und liegt somit im Sekundenbereich.
- **Fertigkeitsbasiertes** Verhalten (skill-based behavior): Es benötigt nur geringe bewusste Zuwendung und startet nahezu automatisch, aufgrund entsprechender Signale, als Erfahrungswissen abgelegte Handlungssequenzen. Fertigkeitsbasierte Verhaltensweisen laufen extrem schnell ab und benötigen nahezu nur die physiologische Reaktionszeit von ca. 200ms.

Entgegen der allgemeinen Annahme, dass Entscheidungen auf der Navigationsebene stets wissensbasiert, Tätigkeiten auf der Führungsebene immer regelbasiert und Handlungen auf der Stabilisierungsebene fertigkeitsbasiert sind, gibt es hierfür, wie in Tabelle 2.1-2 zu sehen ist, durchaus Ausnahmen. So ist beispielsweise der wohlbekannte tägliche Arbeitsweg eine fertigkeitsbasierte Handlung und dagegen die Stabilisierungsaufgabe für einen Schüler in der ersten Fahrstunde eine wissensbasierte Tätigkeit. Generell lässt sich dennoch sagen, dass die meisten Handlungen auf der Diagonale von links oben nach rechts unten zu finden sind.

Die voranstehenden Ausführungen haben, ausgehend vom allgemeinen Fahrer-Fahrzeug Regelkreis aufgezeigt, wie der Fahrer die Fahraufgabe auf den unterschiedlichen Ebenen der Fahrzeugführung und des menschlichen Verhaltens erfüllt. Im Weiteren werden, anhand des in Abbildung 2.1-5 dargestellten Entscheidungsmodells für die Fahrzeugführungsebene, die komplexen Informationsaufnahme-, -verarbeitungs- und -umsetzungsprozesse, die zur korrekten Erfüllung der Fahraufgabe notwendig sind, vorgestellt und gezielt auf die menschlichen Stärken und Schwächen eingegangen. Anhand der dabei identifizierten menschlichen Fähigkeiten aber auch Einschränkungen, kann theoriegeführt der Bedarf an Fahrerassistenz abgeleitet werden.

Tabelle 2.1-2: Zusammenhang zwischen den Stufen des SRK-Handlungsmodells nach Rasmussen (1983) und den Ebenen der Fahraufgabe nach Hale et al. (1990)

	Wissensbasiert	Regelbasiert	Fertigkeitsbasiert
Navigation	Zurechtfinden in einer fremden Stadt	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Täglicher Weg zur Arbeit
Führung	Steuern auf schneebedeckter oder vereister Fahrbahn	Überholen anderer Fahrzeuge, Spurwechsel	Abbiegen an einer Kreuzung
Stabilisierung	Fahrschüler in der ersten Fahrstunde	Ein ungewohntes Auto fahren	Kurven fahren, Kuppeln und Schalten

Die genaue Kenntnis der menschlichen Fähigkeiten ist für eine sinnvolle Entwicklung zukünftiger Assistenzsysteme unabdingbar, da diese nur dann optimal, zur Erhöhung der aktiven Sicherheit, an den Menschen angepasst werden können. Betrachtet man ein Analyseergebnis aus der GIDAS-Unfalldatenbank, lässt sich leicht erkennen, dass diese perfekte Adaption dringend nötig ist. Demnach sind 93,5% der Unfallursachen auf menschliches Fehlverhalten und nur 0,7% auf technische Mängel am Fahrzeug zurückzuführen. Die restlichen 5,8% sind zu 4,6% Ursachen aufgrund der Fahrumgebung, wie beispielsweise eine schlechte Fahrbahnbeschaffenheit und 1,2% sonstige Ursachen.

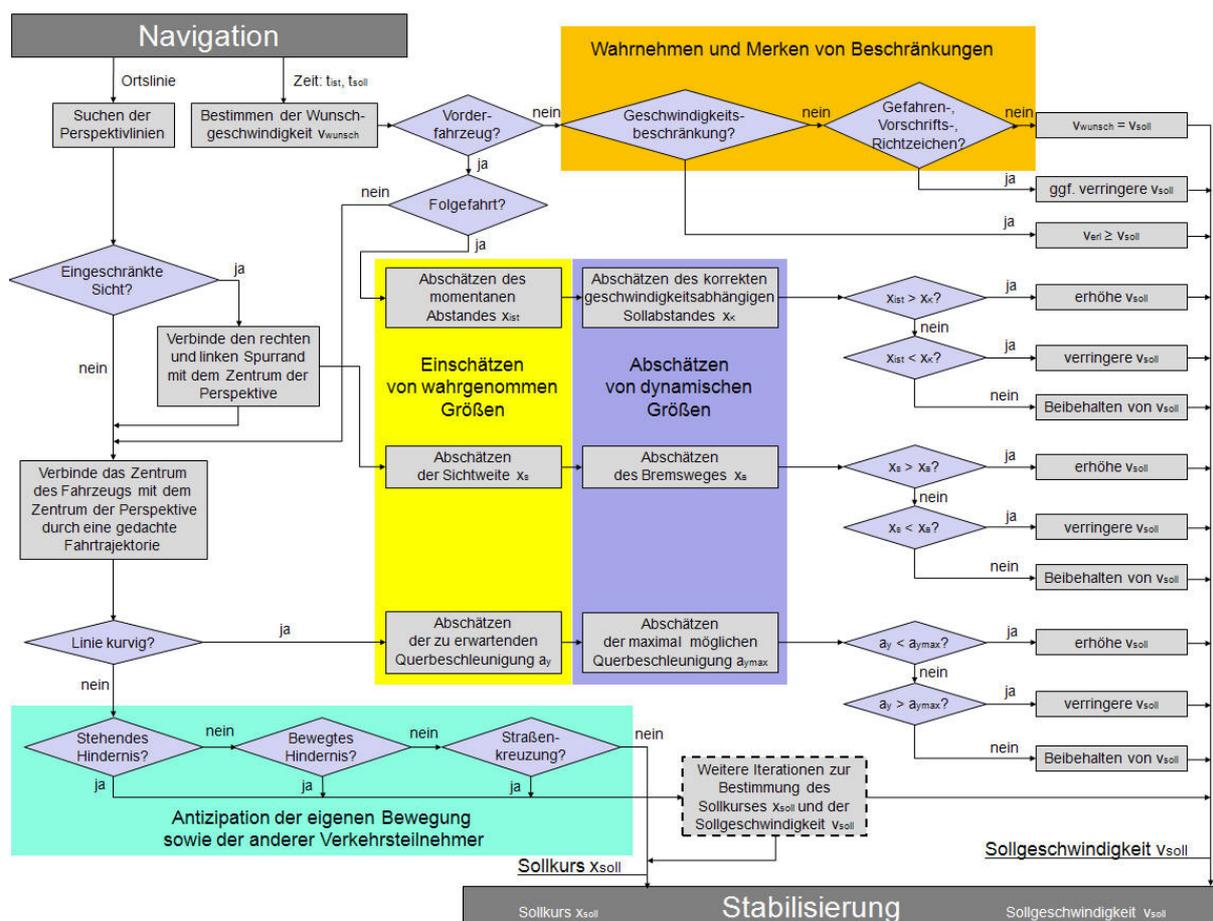


Abbildung 2.1-5: Vereinfachtes Entscheidungsmodell auf der Fahrzeugführungsebene (erweitert nach Bubb & Reichart, 2005)

Abbildung 2.1-5 ist zu entnehmen, dass die Vorgaben bzgl. des zu fahrenden Weges und der Sollankunftszeit aus der Navigationsebene kommen. Aufgrund der Entscheidungen auf der Führungsebene müssen dann daraus eine Sollgeschwindigkeit und ein Sollkurs bestimmt werden, die wiederum als Vorgabe für die Stabilisierungsebene dienen. Wie die dazwischen liegenden Entscheidungen ablaufen und mit welcher Güte der Mensch in der Lage ist diese zu treffen, wird im Folgenden detailliert dargestellt.

Die Navigationsebene gibt die Route vom aktuellen Standpunkt zum Zielort vor. Um daraus die Vorgaben für die Querführung abzuleiten, muss der Fahrer, wie in Abbildung 2.1-5 gezeigt, den Schnittpunkt der Perspektivlinien bilden, die aufgrund des Straßenverlaufs gegeben sind und das Zentrum seines Fahrzeuges mit dem Zentrum der Perspektive verbinden. Die dadurch entstehende Linie stellt dann die Führungsgröße für die Querführung dar. Das Resultat dieses Vorgangs kann an zwei Stellen direkten Einfluss auf die Bestimmung der Sollgeschwindigkeit haben. Erstens muss der Fahrer beim Vorherrschen von eingeschränkter Sicht, die Sichtweite abschätzen und die Geschwindigkeit des Fahrzeuges so einstellen, dass er innerhalb der Sichtweite anhalten kann. Der Anhalteweg x_A eines Fahrzeuges berechnet sich nach folgender Formel:

$$x_A = v \cdot t_R + \frac{v^2}{2\mu g}$$

Formel 2.1-1: Berechnung des Anhalteweges x_A

Dabei ist v die momentane Geschwindigkeit, t_R die Reaktionszeit, die mit 1s angenommen werden kann, μ der straßenbelags- und witterungsabhängige Reibbeiwert und g die Erdbeschleunigung. Um den Anhalteweg richtig abzuschätzen, müsste der Fahrer sowohl den aktuellen Reibbeiwert korrekt bestimmen als auch die quadratische Geschwindigkeitsabhängigkeit des Anhalteweges richtig berücksichtigen. Dass dies nahezu unmöglich ist, wird auf den ersten Blick deutlich.

Falls die sich ergebende Linie vom Zentrum des Fahrzeuges zum Zentrum der Perspektive gekrümmt sein sollte, muss der Fahrzeugführer zweitens die aufgrund der Kurvenkrümmung und der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit zu erwartende Querbeschleunigung a_y abschätzen, welche sich wie folgt berechnet:

$$a_y = \frac{v^2}{R}$$

Formel 2.1-2: Berechnung der Querbeschleunigung bei Kurvenfahrt

Dabei ist v die aktuelle Geschwindigkeit und R der Radius der zu durchfahrenden Kurve.

Neben der zu erwartenden Querbeschleunigung hat der Fahrer die maximal mögliche Querbeschleunigung a_{ymax} abzuschätzen. Anhand eines Vergleichs dieser beiden Größen kann er dann entweder die aktuelle Geschwindigkeit erhöhen, beibehalten oder verringern. In der Regel sind diese Schätzvorgänge, bis auf die Ausnahme, dass in der kommenden Kurve ein unerwartet niedriger Reibbeiwert herrscht, völlig unkritisch. Wie von *Herrin & Neuhardt (1974)* herausgefunden, wählen Fahrzeuglenker die Geschwindigkeiten in Kurven so, dass eine maximal akzeptierte Querbeschleunigung von 0,3g nicht überschritten wird. Bei höheren Geschwindigkeiten werden sogar noch wesentlich kleinere Querbeschleunigungen

gewählt. Aufgrund dieser Tatsache besteht für den Normalfall noch ein ausreichend großer Sicherheitspuffer, falls sich der Fahrer doch einmal verschätzen sollte.

Hat der Fahrer diese beiden Schätzaufgaben korrekt erfüllt, muss er über den Lenkwinkel die Querdynamik des Fahrzeuges so regeln, dass die Differenz zwischen der Nachführgröße und der Führungsgröße minimiert wird. Für die Regelung der Querdynamik verwendet der Fahrer nach *Fiala (1966)* sowie *Crossmann & Szostak (1969)* drei Rückmeldeniveaus über die Fahrzeugbewegung, die über den optischen Kanal aufgenommen werden:

1. Die Vorinformation durch Voraussicht auf die Straße („Scheinwerferorientierung“),
2. die Fahrzeugrichtung („Richtungsorientierung“),
3. der seitliche Abstand („Nebelorientierung“).

Das erste Rückmeldeniveau, also die Vorinformation durch Voraussicht auf die Straße, welche als „Scheinwerferorientierung“ bezeichnet wird, erhält der Fahrer, wie bereits oben erläutert, durch das Verbinden des Zentrums seines Fahrzeuges mit dem Zentrum der Perspektive. Anhand der aus der Voraussicht gewonnenen Information kann er, im Sinne der Führungsaufgabe, einen inneren Sollkurs für die vorherrschende geometrische Situation generieren. In Abbildung 2.1-6 links, ist dies anschaulich dargestellt. Diesem innerlich gebildeten Sollkurs versucht der Fahrer zu folgen, wofür er die beiden weiteren optischen Rückmeldeniveaus, also die „Richtungsorientierung“ und die „Nebelorientierung“ einsetzt. Zusätzlich verwendet er auch noch Informationen über die vorherrschende Querbewegung, die er über die kinästhetische Wahrnehmung gewinnt.



Abbildung 2.1-6: Zur Erfüllung der Querführung verwendete Voraussicht und innerlich generierte Voranzeige der Nachführgröße

Hinsichtlich der „Richtungsorientierung“ hat *Warren (1995)* in einer Untersuchung herausgefunden, dass Probanden unter günstigen Bedingungen in der Lage sind, die Bewegungsrichtung innerhalb einer Fehlergrenze von $0,5^\circ$ bis 1° richtig einzuschätzen. Hierzu sollten die Versuchspersonen angeben, ob sie sich in einer Richtung rechts oder links zu einer vorgegebenen vertikalen Linie bewegen (siehe Abbildung 2.1-7). Die Linie wird in der Regel am Ende, oder nach der Darbietung des optischen Fließens auf dem Projektionsschirm gezeigt. Dies verdeutlicht, dass der Mensch unter Laborbedingungen recht gut in der Lage ist, seine Bewegungsrichtung abzuschätzen. Diese Güte dürfte allerdings im Straßenverkehr, vor allem bei dichtem Verkehrsaufkommen und schlechten Sichtverhältnissen, bei weitem nicht erreicht werden.

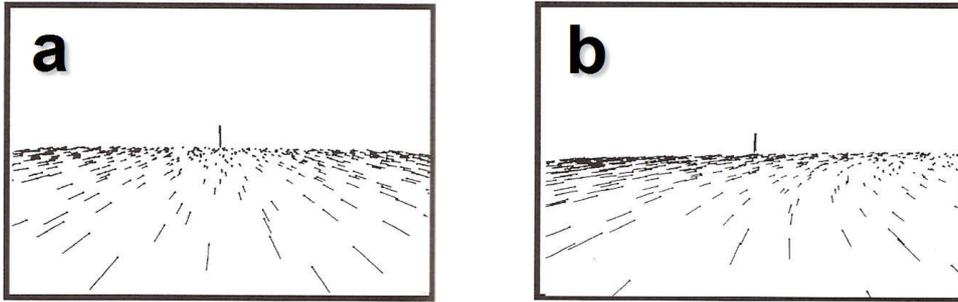


Abbildung 2.1-7: (a) Optisches Fließen, wie es von einer Person erzeugt wird, die geradeaus auf die vertikale Linie am Horizont zugeht; (b) Optisches Fließen, wie es von einer Person erzeugt wird, die entlang einer Kurve nach rechts geht

Eine weitere Schätzaufgabe hat der Fahrer bei der Bestimmung des seitlichen Abstandes zu den beiden Spurrändern zu erfüllen. Wie Ergebnisse von *Marstaller et al. (2002)* zeigen, fahren Probanden auf einer 3,5m breiten Landstraße im Mittel um 0,14m nach links versetzt. Dieses Ergebnis deckt sich mit Erkenntnissen von *Reichart (2000)*, *Leutzbach (1987)* und *Godthelp (1988)* die angeben, dass bei engen Fahrstreifen ohne Gegenverkehr weiter zur Mitte der Fahrbahn hin gefahren bzw. die mittlere Markierung überfahren wird und zudem bei Gegenverkehr eine Senkung der Geschwindigkeit erfolgt. Dies sind beides kompensatorische Vorgänge zur Reduzierung der Aufgabenkomplexität und zeigen die Defizite des Menschen beim Abschätzen des seitlichen Abstandes.

Auf Basis dieser beiden recht ungenauen Schätzgrößen und der Prädiktion der Bewegungsdynamik des Fahrzeuges anhand des Lenkwinkels und der gefahrenen Geschwindigkeit, muss sich der Fahrer die Voranzeige der Nachführgröße bestimmen (siehe Abbildung 2.1-6). Ferner muss er in das Bilden der Voranzeige der Nachführgröße, welche nach *Donges (1978)* für etwa eine Sekunde im Voraus antizipiert wird, noch die Breite des eigenen Fahrzeuges mit einbeziehen. Dadurch lässt sich die innerhalb des Antizipationszeitraumes vom eigenen Fahrzeug überfahrene Fläche bestimmen. Innerhalb dieser dürfen sich keine bewegten, wie beispielsweise andere Verkehrsteilnehmer oder Fußgänger, oder stehenden Hindernisse, wie z.B. parkende Fahrzeuge, befinden, da es ansonsten zu einer Kollision mit diesen kommt. Das Erkennen einer Kollisionsgefahr ist vor allem bei den bewegten Hindernissen kompliziert, da in diesem Fall neben der eigenen Bewegungsrichtung auch noch die der sich bewegenden Objekte antizipiert werden muss. Stellt der Fahrer aufgrund der prognostizierten Bewegungstrajektorien eine Kollisionsgefahr mit einem Objekt fest, muss er den aktuellen Sollkurs und ggf. auch die momentane Sollgeschwindigkeit so an die geometrischen Gegebenheiten anpassen, dass ein ungewollter Zusammenstoß sicher vermieden wird. Dieser iterative Vorgang wird durch das rechteckige Kästchen in Abbildung 2.1-5 unten in der Mitte repräsentiert, in dem steht: „Weitere Iterationen zur Bestimmung des Sollkurses x_{soll} und der Sollgeschwindigkeit v_{soll} “.

Anhand der obigen Ausführungen ist ersichtlich, dass das Bilden der Voranzeige der Nachführgröße für den Fahrer ein komplexer und mit Ungenauigkeiten behafteter Schätzvorgang ist, der zudem mit zunehmender Entfernung vor dem eigenen Fahrzeug immer ungenauer wird. Somit kann man anhand der hier gefundenen Erkenntnisse prognostizieren, dass es vor allem auf engeren Straßen und bei Dunkelheit gehäuft zu Unfällen kommen müsste, die auf ein unbeabsichtigtes Verlassen der Spur zurückzuführen sind. Dies wird durch Ergebnisse von *Reichart*

(2000) gestützt, der angibt, dass die Spurhaltequalität auf einer 3m breiten Straße, im Gegensatz zu einer 3,75m breiten Straße, auf ein Drittel des Ausgangsniveaus zurückgeht.

Auf Basis der vorgestellten menschlichen Fähigkeiten aber auch Defizite bei der Erfüllung der Querführungsaufgabe, lässt sich folgender Unterstützungsbedarf ableiten:

- Unterstützung beim Einschätzen der Querablage
- Technische Voranzeige der Nachführgröße (von *Kelley et al. (1964)* wurde erfolgreich gezeigt, dass dies zu einer Verbesserung der Steuergenauigkeit von besonders schwierigen Regelaufgaben führt)
- Assistenz, die ein Abkommen von der Fahrspur verhindert, falls dies trotz der Unterstützung durch die beiden obigen Hilfen droht

Ebenso wie stehende und bewegte Objekte stellt auch eine Kreuzung, die der Fahrer aufgrund der Vorinformation durch Voraussicht auf die Straße erkennt, im geometrischen Sinne ein Hindernis dar, das möglicherweise eine Anpassung des Sollkurses und der Sollgeschwindigkeit erfordert. Wenn die eigene Straße vorfahrtberechtigt ist und man auf dieser bleibt (siehe Abbildung 2.1-8 links), ist der Effekt auf die beiden Größen nur sehr gering bzw. es muss im Idealfall gar keine Anpassung erfolgen. Der Fahrer muss jedoch immer kontrollieren, ob er die einmündende Straße gefahrenlos passieren kann oder ob die Gefahr besteht, dass das eigene Fahrzeug durch einen anderen Verkehrsteilnehmer übersehen wird, der eigentlich die Vorfahrt gewähren müsste. Hierzu muss der Fahrer den nicht-vorfahrtberechtigten Verkehrsteilnehmer erkennen und beobachten sowie dessen mögliches Verhalten antizipieren.

Der Einfluss auf den Sollkurs und die Sollgeschwindigkeit ist dagegen sehr groß, wenn die kreuzende Straße vorfahrtberechtigt und stark befahren ist und man an dieser beispielsweise nach links abbiegen möchte (siehe Abbildung 2.1-8 rechts). Studien von *Scheuchenpflug et al. (2003)* und *Meyer & Didier (2003)* zeigen, dass das Linksabbiegen für den Fahrer eine komplexe Aufgabe mit hohem Fehlerpotential darstellt. Bei diesem Fahrmanöver muss er sich einerseits für die richtige Fahrspur entscheiden und einen Sollkurs bilden, wie er die Kreuzung durchfahren möchte. Andererseits muss er vorfahrtberechtigte Verkehrsteilnehmer erkennen und die Entfernungen zu ihnen sowie deren Absolutgeschwindigkeiten abschätzen, um auf Basis dieser Informationen zu entscheiden, ob eine Lücke zwischen anderen Verkehrsteilnehmern ausreichend groß ist oder nicht. Wie *Vollrath (2004)* zeigt, wird das Durchfahren von Kreuzungen umso anstrengender empfunden, je mehr man für die durchzuführenden Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozesse die Geschwindigkeit verringern muss.

Nach *Scheuchenpflug et al. (2003)*, *Koyama et al. (2005)* und *Fastenmeier (2005)* kommt es vor allem aufgrund der nachstehend aufgeführten Fehler zu Unfällen an Kreuzungen:

- Fehleinschätzung der Geschwindigkeit anderer
- Überschätzen des eigenen Beschleunigungspotentials
- Sichtbehinderungen, die das Einsehen in die andere Straße erschweren

- Unaufmerksamkeit bzw. das Übersehen anderer Verkehrsteilnehmer („look but fail to see“)
- Fehlentscheidung darüber, wer vorfahrtberechtigt ist
- Zu weniges Sichern (Blickverhalten)
- Spurungenaugigkeit beim Abbiegen nach links in ampelgeregelten Kreuzungen
- Übersehen der Verkehrszeichen, die die Vorfahrt regeln

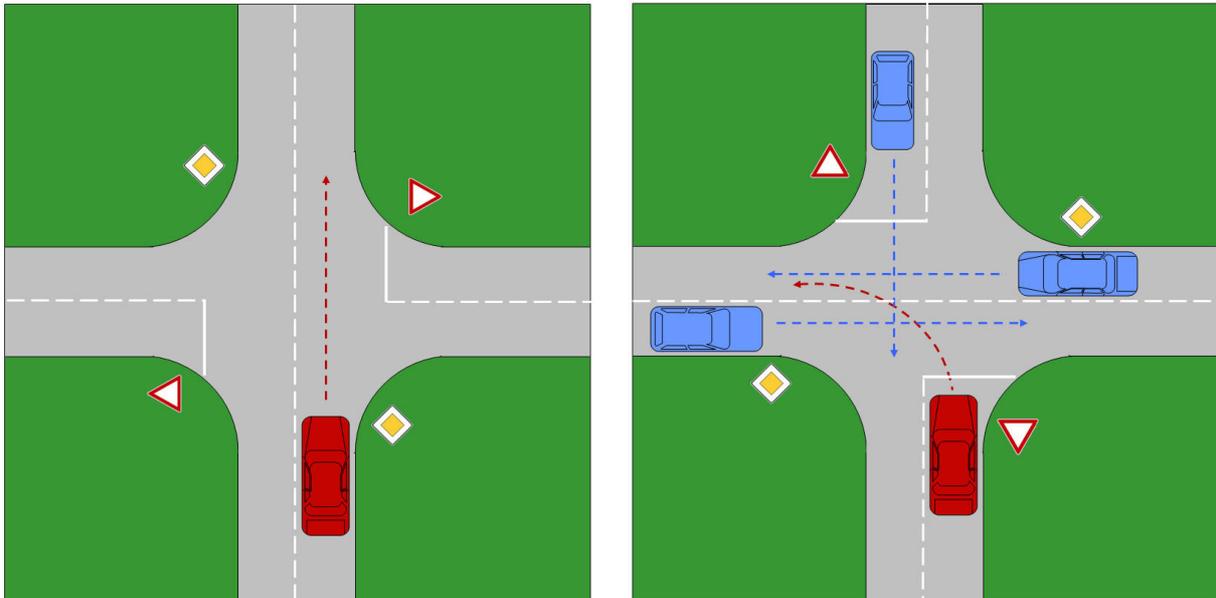


Abbildung 2.1-8: Links: Geradeausfahrt auf einer vorfahrtberechtigten Straße; Rechts: Linksabbiegevorgang, bei dem der Fahrer den anderen Verkehrsteilnehmern die Vorfahrt gewähren muss

Aus der Navigationsebene (siehe Abbildung 2.1-5) kommt die Vorgabe, zu welchem Zeitpunkt bzw. innerhalb welchen Zeitraums der Zielort erreicht werden soll. Daraus leitet der Fahrer eine mittlere Sollgeschwindigkeit für die zu fahrende Strecke ab, welche er auf der Stabilisierungsebene über das Gas- und Bremspedal einstellen muss. Das Einhalten dieser Sollgeschwindigkeit wird aber durch eine Reihe von Randbedingungen beeinflusst. Befindet sich beispielsweise ein Fahrzeug auf derselben Fahrspur vor dem eigenen Fahrzeug, so bleiben dem Fahrer zwei Möglichkeiten. Einerseits kann er dieses Fahrzeug überholen, andererseits kann er diesem folgen. Entscheidet er sich für das Überholen, muss er vor dem Überholvorgang, aufgrund der Vorinformation durch den Straßenverlauf und mittels der Antizipation der Bewegung des anderen Fahrzeuges, innerlich einen Sollkurs für das Fahrmanöver bilden (siehe Abbildung 2.1-6 rechts). Bevor der Fahrer zum Überholen ansetzt, muss er weiterhin seinen eigenen Überholweg anhand der Ausgangsgeschwindigkeit und des Beschleunigungsvermögens des eigenen Fahrzeuges bestimmen. Nur wenn für die Dauer des Überholvorganges kein anderes Fahrzeug in diesen Bereich einfährt, kann der Fahrer zum Überholen ansetzen. Dazu muss er weiterhin die Entfernungen zu den entgegenkommenden Fahrzeugen und deren Geschwindigkeit abschätzen. Diese sehr komplexe Aufgabe wird von *Bubb & Assmann (1988)* detailliert behandelt. Aufbauend auf ihrer Betrachtung wird ein konkreter Lösungsvorschlag zur Unterstützung des Fahrers bei Überholvorgängen abgeleitet.

Entscheidet sich der Fahrer dem Vorderfahrzeug zu folgen, hat er eine ebenfalls sehr komplexe Tätigkeit zu erfüllen. Er muss seine eigene Geschwindigkeit der des anderen Fahrzeuges anpassen und einen konstanten Abstand zu diesem einstellen. Anhand der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit kann der korrekte geschwindigkeitsabhängige Sollabstand x_K nach folgender Formel bestimmt werden:

$$x_K = v \cdot t_S$$

Formel 2.1-3: Berechnung des Sollabstandes x_K

Dabei ist v die aktuelle Istgeschwindigkeit und t_S der einzuhaltende Sekundenabstand. Dieser sollte auf alle Fälle größer 0,8s sein und idealerweise zwischen 1,5 und 2s liegen. Dabei entsprechen 2s in etwa der Faustformel des halben Tachos, die in der Fahrschule vermittelt wird. Neben dieser kontinuierlichen Berechnung und Abschätzung des einzuhaltenden Sollabstandes muss der Fahrer ebenso permanent seinen aktuellen Istabstand sowie eine möglicherweise vorhandene Differenzgeschwindigkeit zwischen seinem eigenen Fahrzeug und dem Vorfahrenden abschätzen. Diese Einschätzung der Differenzgeschwindigkeit muss er sowohl beim Annäherungsvorgang an das Vorderfahrzeug als auch bei der sich darauf anschließenden Folgefahrt durchführen.

Bubb & Bolte (1990) geben allgemein an, dass Entfernungen und Differenzgeschwindigkeiten zu anderen Objekten nur ungenügend geschätzt werden können. Experimente von *Frenz (2003)* und *Beusmans (1998)* zeigen, dass Entfernungen bis 20m kleiner geschätzt werden als sie es wirklich sind. Der in den beiden Experimenten gefundene Fehler in der Längenschätzung liegt zwischen 30% und 40%. Ebenso werden nach *Frenz (2003)* zurückgelegte Wegstrecken um 25-50% zu gering geschätzt. Ein weiteres Problem, das speziell beim Führen eines Fahrzeuges auftritt, ist nach *Metzger (1966)*, dass die Bedeutung des beidäugigen, so genannten binokularen, Sehens in den Entfernungsbereichen, die für das Verkehrsgeschehen relevant sind, eingeschränkt ist. Der Grund dafür ist, dass bei großen Entfernungen die Sehachsen der beiden Augen nahezu parallel verlaufen, wodurch die Beidäugigkeit keinen Mehrwert mehr hat. Das liegt an der Tatsache, dass dann der Unterschied der Bilder, die sich auf der rechten und linken Retina abbilden, nur so gering ist, dass dies unterhalb der Reizschwelle liegt. Dadurch können bei einer Distanz von 50m zum Fahrer nur Objekte aufgelöst werden, die mehr als einen Meter hintereinander stehen. Bei einer Entfernung von 500m zum Betrachter liegt diese Schwelle sogar schon bei 100m. Diese Aussagen stützen Ergebnisse von *Häkkinen (1974)* der zeigt, dass Entfernungen zu vorausfahrenden Fahrzeugen bis 50m noch recht genau geschätzt werden können, wogegen oberhalb von 50m der Abstand zu einem anderen Fahrzeug immer stärker überschätzt wird.

Nach *Reichart (2000)* werden Relativgeschwindigkeiten und Abstandsänderungen besser abgeschätzt. Bezüglich der Wahrnehmung von Differenzgeschwindigkeiten und Geschwindigkeitsänderungen geben *Lamble et al (1999)* an, dass diese bei fovealer Fixierung eines vorausfahrenden Fahrzeuges sicher erkannt werden, wenn die Größenänderung des Objekts um ca. 13%/s beträgt. Allerdings konnte *Bubb (1977a)* nachweisen, dass Geschwindigkeitsdifferenzen zu gering geschätzt werden. Der mittlere Fehler liegt bei ca. -3 km/h, d.h. die Differenz wird um 3 km/h zu niedrig eingeschätzt.

Nach *Pfleger et al. (1994)* kann man auf Grund der physiologischen Grenzen, die in Abbildung 2.1-9 dargestellten Wahrnehmungsschwellen bzgl. der Wahrnehmung von

Geschwindigkeitsunterschieden feststellen. Mit abnehmender Geschwindigkeitsdifferenz und abnehmender Beobachtungsdauer sinkt die Distanz, ab der diese Differenz bereits gesehen wird.

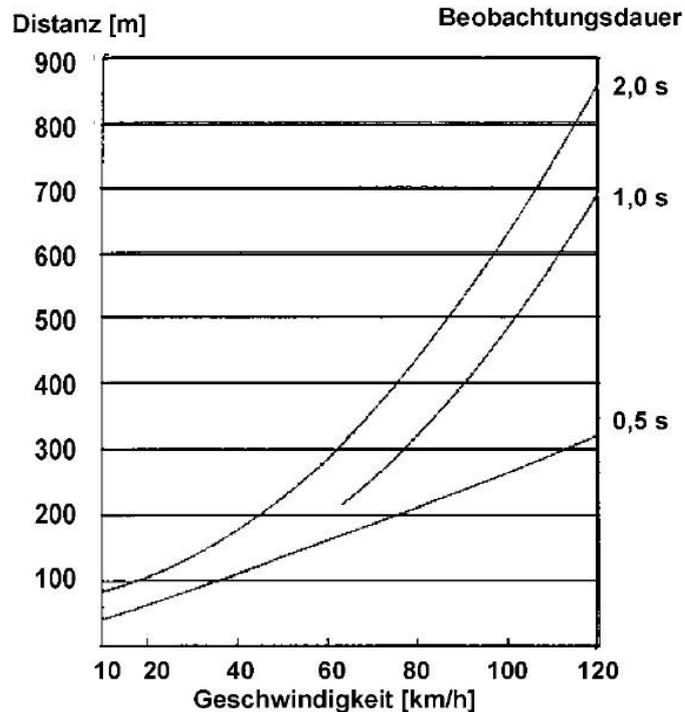


Abbildung 2.1-9: Wahrnehmungsschwellen für Geschwindigkeitsunterschiede beim Hintereinanderfahren in Abhängigkeit von der Beobachtungsdauer (nach Pflieger et al., 1994)

Auch bei *Probst (1986)* finden sich Angaben über Mindestbeobachtungsdauern, die zur Wahrnehmung von Geschwindigkeitsunterschieden notwendig sind. Dabei stellt er fest, dass bei einem Abstand von 20m mindestens 0,8s und bei einem Abstand von 40m mindestens 1,4s Beobachtungsdauer benötigt werden. Harvey & Michon (1971) sagen generell, dass ein Bewegungsmuster 2s lang dargeboten werden muss, damit daraus Informationen gewonnen werden können.

Entfernungen können, wie gezeigt, vom Menschen nur schlecht geschätzt und sich aufbauende Differenzgeschwindigkeiten nur langsam erkannt werden. Nach *Färber (1986)* und *van der Horst (1991)* ist die entscheidende Größe bei der Abstandswahrnehmung und für den Zeitpunkt, zu dem auf ein Hindernis reagiert wird, jedoch die Time to Collision TTC. Das ist die Zeit, die unter Beibehaltung der momentanen Bewegungssituation vergeht, bis es zum Zusammenstoß kommt. Diese Größe wird nach *Färber (1986)* und *van der Horst (1991)* aus dem Fluss des visuellen Feldes abgeschätzt. Dabei gibt *van der Horst (1991)* an, dass die TTC umso größer ist, je höher die Anfangsgeschwindigkeit zu Beginn eines Bremsvorgangs ist. Dies bedeutet, dass Fahrer bei höheren Geschwindigkeiten ein geringeres Risiko eingehen.

Ergebnisse von *Lange (2007)* in einem Realversuch zeigen jedoch, dass auch die TTC vom Fahrer nur ungenau abgeschätzt werden kann und bei Annäherungsvorgängen an vorausfahrende Fahrzeuge und Rückstausituationen starken Schwankungen unterlegen ist. Der charakteristische Verlauf der TTC für Annäherungsvorgänge ist in Abbildung 2.1-10 links dargestellt. Demnach gibt es mehrere Ausreißer der TTC nach oben mit dazwischen liegenden Minima.

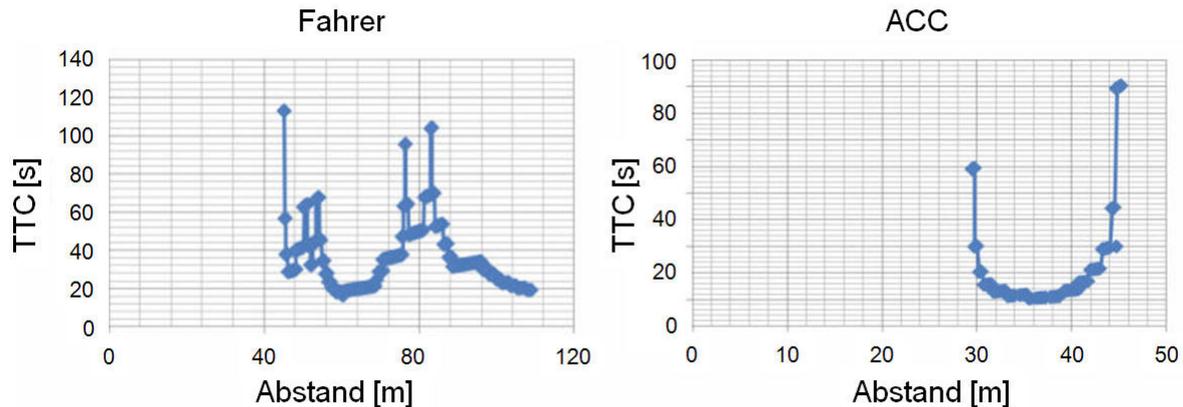


Abbildung 2.1-10: Vergleich des Verlaufs der Time to Collision TTC beim Auffahren auf ein langsames Fahrzeug bei der Regelung durch den Fahrer und bei der Abstandsregelung durch das ACC (aus Lange, 2007)

Im Vergleich dazu liefert das gleiche Fahrmanöver, wenn die Abstandsregelung von einem ACC übernommen wird, das in Abbildung 2.1-10 rechts gezeigte Ergebnis. Der große Vorteil des ACCs liegt dabei in der genauen Messung des Abstandes und der Differenzgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug. Dadurch kann es nach dem Erkennen der Situation viel harmonischer und mit konstanterer Verzögerung abbremsen. Das hat neben dem Sicherheits- und Komfortgewinn für das eigene Fahrzeug auch Vorteile für den nachfolgenden Verkehr. Dieser muss dadurch keine Verzögerungsspitzen oder Überreaktionen des Vorausfahrenden kompensieren oder befürchten. Der Nachteil des ACC-Systems ist jedoch die nach vorne beschränkte Sensorreichweite von ca. 150m, wodurch das ACC erst viel später auf vorausfahrende Fahrzeuge reagiert als es der Mensch tut. In dem Experiment von *Lange (2007)* hat sich gezeigt, dass der Mensch aufgrund seiner weiten Vorausschau und seiner Antizipationsfähigkeit in der Lage ist Situationen viel früher zu erfassen und einzuschätzen als dies das ACC kann. Somit stellt sich an dieser Stelle die Frage, wie die Stärken des Menschen, die in der frühzeitigen Erkennung und Antizipation liegen und die Stärken eines Abstandsregeltempomates, der Abstände und Differenzgeschwindigkeiten zu vorausfahrenden Fahrzeugen genauer messen kann, sinnvoll miteinander kombiniert werden können.

Anhand der Schwachpunkte in der menschlichen Wahrnehmung in Bezug auf die Abstandshaltung, leitet sich der nachfolgend aufgeführte Bedarf an Unterstützung bei der Annäherung an ein Fahrzeug und der darauf anschließenden Folgefahrt ab:

- Anzeige des einzuhaltenden Sollabstandes
- Sicheres Heranführen an den Sollabstand
- Sofortige Rückmeldung, bei sich aufbauender Differenzgeschwindigkeit

Des Weiteren lässt sich aufbauend auf den vorangehenden Ausführungen erkennen, dass der Fahrer in den folgenden Fahrsituationen ebenfalls Defizite hat und somit an dieser Stelle entsprechendes Unterstützungspotential besteht:

- Überholvorgang: Abschätzen des Überholweges und der Geschwindigkeit von entgegenkommenden Fahrzeugen

- Spurwechsel auf Bundesautobahnen: Einschätzen der Abstände und Differenzgeschwindigkeiten zu von hinten herannahenden Fahrzeugen
- Kreuzungen: Schätzen der Entfernungen zu vorfahrtberechtigten Verkehrsteilnehmern und deren absoluter Geschwindigkeit

Ist die Strecke vor dem Fahrzeug frei, kann der Fahrer seine Geschwindigkeit so wählen, dass er innerhalb der vorgegebenen Zeit den Zielort erreicht. Dabei wird er jedoch von vorherrschenden Geschwindigkeitsbeschränkungen sowie von Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen beeinflusst. Das Problem bei der Geschwindigkeitswahl besteht in der Generierung der Führungsgröße, d.h. der Sollgeschwindigkeit. Diese kann im Gegensatz zur Querdynamik, wo der Straßenrand und Objekte auf der Straße objektive Grenzen vorgeben, nicht unmittelbar aus der Sicht abgeleitet werden.

In den meisten Fällen wird die obere Grenze der Geschwindigkeit jedoch durch entsprechende Verkehrszeichen angegeben. Darüber hinaus gibt es noch weitere Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen, welche einen Einfluss auf das Bilden der Sollgeschwindigkeit haben. Bezüglich der auf den Verkehrsschildern dargestellten Informationen, besteht jedoch erstens das Problem des „Erkennens und Nicht-Erkennens von Verkehrsschildern“ und zweitens die Aufgabenstellung an den Fahrer, sich die entsprechende Information für deren Gültigkeitszeitraum zu merken und präsent zu halten.

Dabei ist laut *Schneider (1995)* die Blickzuwendung zu Verkehrszeichen zunächst ein unbewusster Prozess der Informationsauswahl aus der Fülle der optischen Reize. Bei diesem Vorgang spielt der Informationsbedarf nach dem Fahrtzweck und die situationsbedingte Dringlichkeit der Blickzuwendung zu Informationen aus dem Verkehrsraum, insbesondere zu sich bewegenden Verkehrsteilnehmern, eine vorrangige Rolle gegenüber physikalischen und physiologischen Reizbedingungen, also gegenüber sonstigen Signalen, die von außerhalb oder auch innerhalb des Fahrzeuges auf den Fahrer einwirken. Der Informationsbedarf nach dem Fahrtzweck ist, z.B. bei der Suche nach einem bestimmten Ort, die geschriebene Information auf einem Wegweiser. Man würde in diesem Fall also eher nach einem Wegweiser schauen als auf ein Parkverbotsschild zu achten.

Johannsson & Rumar (1966) stellen fest, dass es nicht die Ausnahme, sondern eher die Regel ist, dass Autofahrer Verkehrszeichen übersehen. Als möglichen Grund dafür nennt *Cohen (1994)* die Aufmerksamkeitszuwendung an die primäre Information, wobei er das Informationssystem der Verkehrszeichen als sekundäres Informationssystem beschreibt. Die primäre Information, das Fahren an sich, kann schon allein zur Überbeanspruchung führen. Dafür spricht die Diskrepanz zwischen der hohen Informationsmenge im Verkehrsraum und der Verarbeitungskapazität des Menschen. Das Verhältnis zwischen der bewusst wahrgenommenen Information und der in der Umwelt vorhandenen entspricht nach *Keidel (1970)* etwa 1:10 000 000. Weil der Fahrer nicht die komplette dargebotene Informationsfülle berücksichtigen kann, muss er das Wichtigste herausfiltern. Hierbei spielt nach *Cohen (1994)* die subjektive Einschätzung der Reizrelevanz, welche der Aufmerksamkeitszuwendung vorausgeht, eine wichtige Rolle.

Nach *Cohen (1987)* kann ein Objekt gelegentlich auch im peripheren Gesichtsfeld erkannt werden. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit einer bewussten Wahrnehmung durch Fixation des betreffenden Objekts am größten. Der Mensch kann jedoch nur durchschnittlich drei Stellen pro Sekunde fixieren. Falls mehr relevante Objekte

vorliegen, an denen er in der gleichen Zeit vorbeifährt, dann übersieht er diese mit hoher Wahrscheinlichkeit.

Ob der Fahrer seinen Blick auf Verkehrszeichen, Straßenelemente, Verkehrsteilnehmer oder sonstige Objekte lenkt, hängt von folgenden Faktoren ab:

- seinem Informationsbedarf
- der subjektiv geschätzten Verkehrsrelevanz vorliegender Objekte im gegebenen Zeitpunkt und Kontext
- von den Gegenständen, die um die Aufmerksamkeit des Fahrers konkurrieren
- dem vorangegangenen Input

Möri & Abdel-Halim (1981) untersuchen in ihrem Experiment die Dauer für das vollständige Erkennen von Verkehrszeichen und mit welcher Erkennungsrate diese wahrgenommen werden. Die Zeitdauer, die im Mittel zum vollständigen Erkennen eines Verkehrsschildes benötigt wird, bezeichnen sie als NT, was für „necessary time to recognize“ steht. Auf Basis der Zeitdauer, die für jedes Schild individuell ist, leiten sie drei Erkennungsraten ab. Wird ein Verkehrszeichen übersehen, wird dies als „Nicht-Erkennen“ (NR = non-recognition) dekliniert. Als „teilweises Erkennen“ (PR = partial recognition) bezeichnen sie den Fall, wenn der Fahrer auf ein Schild schaut, es aber nicht lange genug ansieht, um die Information auf dem Schild wahrzunehmen. Der dritte Fall wird beschrieben als der ideale Fall des „wirklichen Erkennens“ (TR = total recognition). Dieser tritt ein, wenn die Zeit, die der Fahrer das Schild anblickt, mindestens der Zeit entspricht, die nötig ist, um das Schild zu erkennen und die Information darauf wahrzunehmen. Eine vollständige Übersicht über die gefundenen Ergebnisse für freie Fahrt ohne Hindernisse gibt Tabelle 2.1-3.

Tabelle 2.1-3: Zeiten, die für verschiedene Arten und Positionen von Schildern notwendig sind, um die enthaltene Information zu erkennen (NT); TR = total recognition; PR = partial recognition; NR = non-recognition; (nach Möri & Abdel-Halim, 1981)

Funktion und Position des Schildes	NT in Sekunden	TR in %	PR in %	NR in %
Regulierende Schilder	0,312	13,3	34,5	52,2
Geschwindigkeitsbegrenzung	0,343	28,9	42,2	28,9
Parkverbot	0,271	5,8	24,4	69,8
Umkehrpfeile neben Ampeln	0,363	12,9	50,0	37,1
Den Fahrer führende Schilder	0,592	13,6	46,6	39,8
Schilder an Fußgängerüberwegen	0,436	15,4	44,2	40,4
Schilder neben Ampeln	0,383	14,0	46,5	39,8
Schilder am Straßenrand	0,308	10,5	26,3	63,2
Blaue Schilder über der Straße	0,784	20,8	56,3	22,9
Straßennummernschilder	0,370	0,0	35,7	64,3
Durchschnitt über alle	0,421	11,2	41,0	47,8

In ihrem Experiment unterteilen Möri & Abdel-Halim (1981) die Verkehrsschilder in (Verkehrs-) regulierende und den Fahrer führende Schilder (Ortsangaben o. Ä.). Um die ersteren wahrzunehmen, braucht der Mensch im Durchschnitt 0,312s. Allerdings nur, wenn diese eine einprägsame und leicht wieder erkennbare Form haben. Für

führende Schilder geben sie eine Spanne von 0,308 - 0,784s an, mit einem Mittel bei 0,529s, da hierbei die Informationen oft gelesen werden müssen.

Hinsichtlich des Erkennens von Schildern ergibt sich, dass Geschwindigkeitsbegrenzungsschilder die höchste Erkennungsrate haben. Sie werden in über zwei Drittel der Fälle zumindest teilweise oder vollständig wahrgenommen. Betrachtet man das Ergebnis der Erkennungsrate für die Gesamtheit aller Verkehrszeichen zeigt sich allerdings, dass nahezu die Hälfte vom Fahrer überhaupt nicht gesehen wird.

Weiterhin haben sich *Möri & Abdel-Halim (1981)* mit dem Einfluss von anderen Verkehrsteilnehmern auf die Erkennungsrate von Verkehrsschildern beschäftigt. Sie stellen fest, dass sich die TR-Rate für alle Schilder verringert, wenn man hinter einem anderen PKW herfährt. Den negativsten Einfluss auf das Erkennen von Verkehrszeichen haben LKWs. Bei der Folgefahrt hinter einem LKW steigt die NR-Rate auf 65,9%.

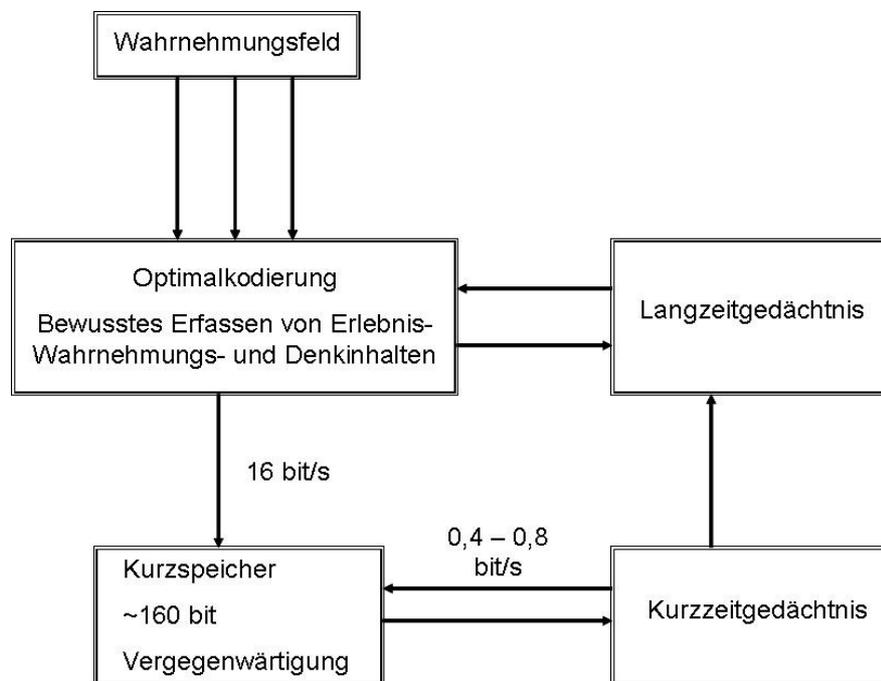


Abbildung 2.1-11: Vereinfachtes Modell des Informationswechsels beim Menschen (nach Koschlig, 1974)

Der Fahrer muss aber nicht nur das Verkehrszeichen erkennen, sondern sich auch die aufgenommene Information über deren Gültigkeitsdauer merken und präsent halten. In Abbildung 2.1-11 ist ein vereinfachtes Modell des Informationswechsels beim Menschen nach *Koschlig (1974)* dargestellt. Daraus kann man entnehmen, dass nach einer Wahrnehmung die bewusst erfassten Informationen aus dem Wahrnehmungsfeld in den Kurzspeicher gelangen. Dort werden sie vergegenwärtigt, irrelevante Informationen werden verworfen, wichtige werden in den so genannten Arbeitsspeicher, oder auch Kurzzeitgedächtnis genannt, gelegt, wo sie nach *Heinecke (2003)* für 15 bis 30s gespeichert werden und wieder zerfallen. Das zeigt, dass Informationen, die sich der Fahrer nicht permanent wieder ins Bewusstsein ruft, nach einer recht kurzen Zeit nicht mehr zur Verfügung stehen. Diese Erkenntnis wird von *Kumar & Kim (2005)* bestätigt. Bei der von ihnen durchgeführten Umfrage geben 84% der Befragten an, dass sie sich manchmal der vorherrschenden Geschwindigkeitsbeschränkung nicht bewusst sind. 40% sind manchmal überrascht,

dass sich die bestehende Geschwindigkeitsbeschränkung von der die sie annehmen unterscheidet.

Darüber hinaus muss der Fahrer, neben dem reinen Einhalten der Sollgeschwindigkeit, seine Istgeschwindigkeit auch fortlaufend und möglichst vorausschauend an die sich permanent ändernde Führungsgröße anpassen muss. So eine vorausschauende und rechtzeitige Adaption hat, neben der Anpassung vor Kurven und Knotenpunkten, immer dann zu erfolgen, wenn die Sollgeschwindigkeit aufgrund von Verkehrszeichen verringert wird. Ein Simulatorexperiment von *Lange et al. (2006a)* zeigt, dass diese Aufgabe dem Fahrer nicht einwandfrei gelingt. Demnach fahren die Probanden im Mittel mit einem Geschwindigkeitsüberschuss von über 8 km/h zu schnell in Sollgeschwindigkeitssenkungen, wie beispielsweise Ortschaften, ein.

Anhand der vorgelegten Analyse bei der Generierung der Sollgeschwindigkeit und der dabei zu berücksichtigenden Einflussgrößen, leitet sich der nachfolgend aufgeführte Bedarf an Unterstützung ab:

- Anzeige der Sollgeschwindigkeit
- Voranzeige von Änderungen in der Sollgeschwindigkeit
- Anzeige von relevanten Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen zur Verbesserung des Situationsbewusstseins

Der Fahrer muss, neben dem Bilden der Führungsgröße, über Gas- und Bremspedal so auf die Längsdynamik des Fahrzeuges einwirken, dass er die Nachführgröße, die Istgeschwindigkeit, der Sollgeschwindigkeit optimal anpasst. Um die Differenz zwischen Führungsgröße und Nachführgröße so gering wie möglich zu halten, muss der Fahrer zum einen sein absolutes Geschwindigkeitsniveau abschätzen, zum anderen aber auch Geschwindigkeitsänderungen, die zu einer Abweichung von der Sollgeschwindigkeit führen, über seine Sinneskanäle sensieren.

Die Bewegungen des eigenen Körpers, aber auch die von anderen Personen, werden zu großen Teilen visuell wahrgenommen. Dabei kommt es darauf an, ob es sich bei der wahrgenommenen Bewegung um die des gesamten Gesichtsfeldes, oder um eine lokale innerhalb des Gesichtsfeldes handelt (siehe hierzu Abbildung 2.1-12). Bewegungen des gesamten Gesichtsfeldes signalisieren die eigene Fortbewegung oder die des Kopfes beim Umherschauen. Lokale Bewegungen hingegen vermitteln Objektbewegungen inklusive der Bewegung anderer Personen und Bewegungen der eigenen Körperteile.

Optisches Fließen kann gut beobachtet werden, wenn man z.B. mit dem Auto über eine Brücke fährt, wie in Abbildung 2.1-13 dargestellt. Man sieht ein bewegtes Feld, einen Gradienten der Bewegung, bei dem die Geschwindigkeit im Vordergrund hoch ist, und im Hintergrund geringer wird. Dabei gibt es nach *Gibson (1979)* einen Punkt, in dem keine Bewegung sichtbar ist. Der Punkt ist das Zentrum des Auseinanderfließens („focus of expansion“ - FOE; in Abbildung 2.1-13 der Punkt A). Er liefert Informationen über die Zielrichtung, auf die sich der Beobachter hinbewegt. Darüber hinaus liefert das optische Fließen auch die Information über die Richtung, in die sich ein Beobachter fortbewegt.

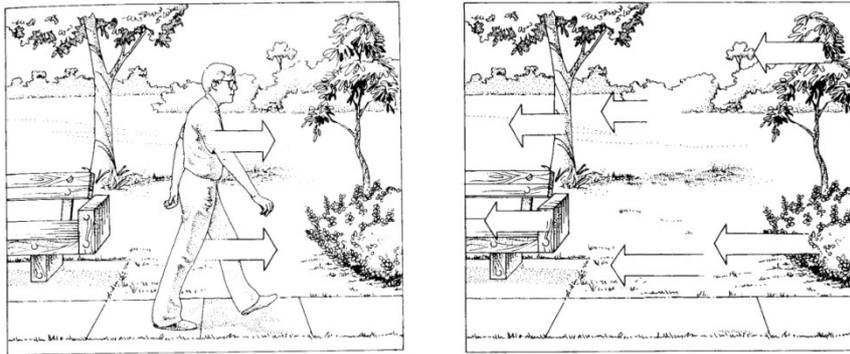


Abbildung 2.1-12: links: Wahrnehmung der Objektbewegung. Die Person bewegt sich entsprechend der Pfeile von links nach rechts durch das Gesichtsfeld des Beobachters, der Hintergrund jedoch bleibt stationär; rechts: Wahrnehmung der eigenen Fortbewegung. Wenn ein Beobachter von links nach rechts geht, und dabei links in die Umgebung schaut, fließt die Szene im Gesichtsfeld des Beobachters in Pfeilrichtung an ihm vorbei (aus Goldstein, 2002)

Beim Führen eines Fahrzeuges sind für Geschwindigkeitswahrnehmung neben dem visuellen Kanal auch noch der akustische, haptische und kinästhetische Sinn beteiligt. *Bubb (1977a)* untersucht, wie gut der Mensch in der Lage ist das Geschwindigkeitsniveau zu schätzen und welche Sinneskanäle daran maßgeblich beteiligt sind. Dabei findet er, dass der mittlere Fehlschätzbereich für Geschwindigkeiten bei 10 km/h liegt (siehe hierzu Abbildung 2.1-14). Niedrige Geschwindigkeiten (< 80 km/h) werden generell für kleiner gehalten als sie sind. Höhere Geschwindigkeiten (> 80 km/h) werden relativ genau, jedoch leicht zu hoch geschätzt. Dabei fiel auf, dass Geschwindigkeiten um 80, 100 und 120 km/h besonders genau geschätzt werden können. Ferner konnte *Bubb (1977a)* bei den Versuchen den so genannten „Autobahneffekt“ nachweisen, bei dem der Fahrer seinen Wahrnehmungsapparat an das hohe Geschwindigkeitsniveau auf der Autobahn adaptiert und danach in der Ausfahrt die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit für niedriger hält, als sie ist.

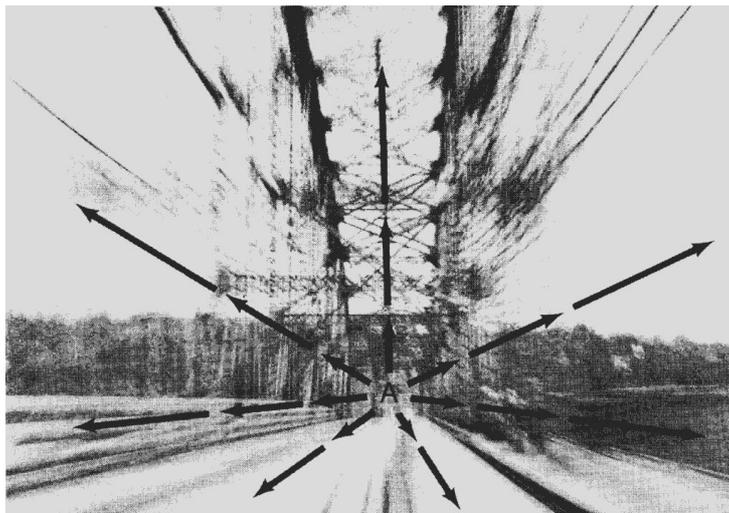


Abbildung 2.1-13: Das optische Fließen der Umgebung wie es von einem Pkw aus gesehen werden kann, der über eine Brücke auf einen Punkt A zufährt; das Fließen ist in der Nähe zum Auto schneller (wie durch die größere Unschärfe angedeutet) und es erstreckt sich auf das gesamte visuelle Feld, mit Ausnahme des Punktes A (aus Goldstein, 2002)

Im aufgeführten Experiment wurde die Geschwindigkeitswahrnehmung auch bei sensorisch eingeschränkter Wahrnehmung untersucht. Dafür wurde zusätzlich zu den Versuchen mit voller Informationsaufnahme mit Probanden getestet, wie gut sie Geschwindigkeiten wahrnehmen können, wenn

- man ihnen die Augen verbindet
- die Ohren zuhält
- die Augen verbindet und die Ohren zuhält.

Hierbei wurde außerdem die Fahrpraxis der Testpersonen berücksichtigt. Die durchschnittlichen absoluten Fehler und die prozentuale Fehlersteigerung gegenüber der Fahrt mit voller Information sind in Tabelle 2.1-4 dargestellt.

Die Beobachtungen lassen den Schluss zu, dass offensichtlich der erfahrene Fahrer, der auf Grund seiner Fahrpraxis ein gutes und einigermaßen richtiges Gefühl für die Geschwindigkeit entwickelt hat, dafür die ganze Fülle der Informationen verarbeitet. Infolgedessen ist er bei einer Reduzierung der Anzahl der Informationskanäle am stärksten beeinträchtigt. Der unerfahrene Fahrer versucht sich dagegen eher auf einen Informationskanal zu konzentrieren und erreicht bei Informationsreduzierung verbesserte Ergebnisse, da er im Normalfall von der Informationsmenge überfordert ist.

Aus seinen Experimenten leitet *Bubb (1977a)* ab, dass die akustische Information eine genaue Bestimmung des Geschwindigkeitsniveaus gewährleistet, Geschwindigkeits-differenzen zum Ausgangsniveau erfolgen aus der Sichtinformation unter Einbeziehung der kinästhetischen Wahrnehmung.

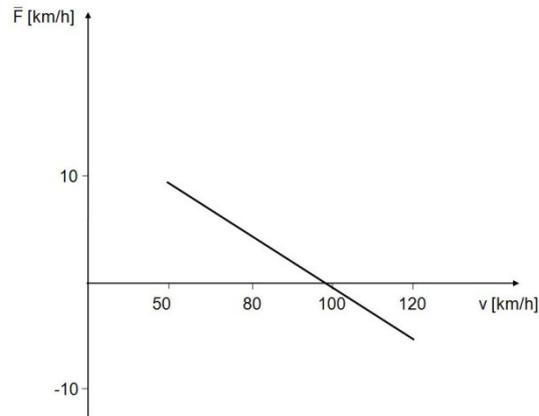


Abbildung 2.1-14: Mittlerer Schätzfehler \bar{F} [km/h] in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v [km/h] bei Selbstfahrversuchen

Untersuchungen von *Rockwell & Snider (1965)* ergeben, dass bestimmte Schwellwerte überschritten werden müssen, damit eine Änderung der Geschwindigkeit wahrgenommen werden kann, wenn der Geschwindigkeitswechsel unterhalb der kinästhetischen Wahrnehmungsschwelle stattgefunden hat. Diese beträgt nach *Steward (1971)* für Beschleunigungen $0,08 \text{ m/s}^2$. Die in Tabelle 2.1-5 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass der Mensch bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 56 km/h , die Zunahme der Geschwindigkeit erst dann visuell wahrnimmt, wenn die Differenz zum Ausgangsniveau über 8 km/h ist. Eine Geschwindigkeitsabnahme von diesem Niveau aus wird bereits ab einer Differenz

von ca. 5 km/h festgestellt. Eine Ausgangsgeschwindigkeit von 104 bzw. 105 km/h liefert ähnliche Ergebnisse.

Tabelle 2.1-4: Durchschnittlicher absoluter Fehler und prozentuale Fehlersteigerung bei der Geschwindigkeitsschätzung gegenüber dem Versuch mit maximaler Information (aus Bubb, 1977a)

		Volle Information		ohne Sicht		ohne Ton		ohne Sicht und Ton	
		unerfahren	erfahren	unerfahren	erfahren	unerfahren	erfahren	unerfahren	erfahren
Selbstfahrer	abs. Fehler km/h	9,87	8,98	--	--	11,79	9,35	--	--
	Fehlersteigerung %	0	0	--	--	19%	9%	--	--
Beifahrer	abs. Fehler km/h	13,16	8,84	10,36	10,36	11,97	9,89	11,25	9,9
	Fehlersteigerung %	0	0	-21%	17%	-9%	12%	-15%	12%
Simulator	abs. Fehler km/h	6	8,79	8,36	10,53	8,91	11,21	--	--
	Fehlersteigerung %	0	0	39%	20%	49%	28%	--	--

Schweigert (2003) bestimmt in seiner Arbeit rechnerisch, wie oft der Fahrer, in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit, auf den Tacho blicken müsste, um ein ungewolltes Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit um mehr als 20% sicher zu vermeiden, wenn das Fahrzeug unterhalb der kinästhetischen Wahrnehmungsschwelle beschleunigt. Dabei ergibt sich für eine Geschwindigkeit von 50 km/h, die in geschlossenen Ortschaften einzuhalten ist, eine Ablesehäufigkeit von mindestens 2-mal pro Minute. Außerorts kommt er bei Geschwindigkeiten zwischen 80 und 100 km/h auf einen Wert ca. 1 Tachoblick pro Minute. Befragungsergebnisse von Kumar & Kim (2005) ergeben, dass dem Fahrer in vielen Fällen die Kontrolle seiner Geschwindigkeit nicht immer sicher gelingt. Demnach geben 68% der Befragten an, dass sie sich manchmal beim unbeabsichtigten Überschreiten ihrer Wunschgeschwindigkeit ertappen. Dies zeigt die enorme Wichtigkeit der permanenten Überprüfung der Istgeschwindigkeit. Daraus lässt sich als Forderung für die Anzeige der Istgeschwindigkeit Folgendes ableiten:

- Anzeige der Istgeschwindigkeit sollte nah am zentralen Blickfeld sein und muss schnell, sicher und ermüdungsfrei abgelesen werden können

Die vorangehenden Betrachtungen decken auf, dass die Wahl einer angepassten Geschwindigkeit und deren permanente Überprüfung eine nicht zu unterschätzende Aufgabe für den Fahrer darstellt. Das liegt zum einen daran, dass sich der Fahrer bei der Längsführung, im Gegensatz zur Querführung, die Führungsgröße selbst bilden muss. Ferner hat er parallel dazu die Nachführgröße, also die Istgeschwindigkeit, mit den durch seinen Wahrnehmungsapparat gegebenen Ungenauigkeiten zu überwachen.

Tabelle 2.1-5: Schwellwerte für die Wahrnehmung eines Geschwindigkeitswechsels bei gegebener Ausgangsgeschwindigkeit und Beschleunigung unterhalb der kinästhetischen Wahrnehmungsschwelle (nach Rockwell & Snider, 1965)

Ausgangsgeschwindigkeit	Geschwindigkeitszunahme	Geschwindigkeitsabnahme
56 km/h	8,188 - 11,322 km/h	4,637 - 6,433 km/h
104 km/h	5,535 - 8,807 km/h	-
105 km/h	-	6,431 - 10,348 km/h

Die Analyse der menschlichen Informationsaufnahme, -verarbeitung und – umsetzung beim Führen eines Fahrzeuges auf der Führungsebene deckt klar die bestehenden Probleme auf. Es wird deutlich, dass der Fahrer sehr viele Größen abschätzen und Vorgänge antizipieren und vorausplanen muss. Ferner wird auch eine enorme Anforderung an sein Gedächtnis gestellt. Er muss viele Fakten wissen und sich Informationen, die auf Verkehrszeichen dargestellt werden, erfassen und sich diese für deren Gültigkeitsdauer merken.

In der nachstehenden Tabelle 2.1-6 ist noch einmal der anhand der theoretischen Betrachtung aufgelistete Assistenzbedarf im Überblick dargestellt.

Tabelle 2.1-6: Übersicht über den abgeleiteten Bedarf an Fahrerassistenz

Längsführung	Optimale Rückmeldung der Istgeschwindigkeit
	Anzeige der Sollgeschwindigkeit
	Voranzeige von Änderungen in der Sollgeschwindigkeit
	Anzeige von relevanten Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen zur Verbesserung des Situationsbewusstseins
	Sicheres Heranführen an den Sollabstand
	Anzeige des einzuhaltenden Sollabstandes
	Schnelle Rückmeldung über sich aufbauende Differenzgeschwindigkeiten
Querführung	Unterstützung beim Einschätzen der Querablage
	Technische Voranzeige der Nachführgröße
	Verhindern des Abkommens von der Fahrbahn

2.2 Unfalldatenanalyse

Im vorhergehenden Kapitel wurden, anhand eines Entscheidungsmodells für einfache Fahrsituationen außerhalb geschlossener Ortschaften, deutlich die menschlichen Fähigkeiten aber auch Schwächen beim Erfüllen der Fahraufgabe auf der Führungsebene gezeigt. Aus dieser theoretischen Betrachtung der menschlichen Informationsverarbeitung leitet sich ein Unterstützungsbedarf ab, der im Folgenden anhand von Unfalldaten und -statistiken nachgewiesen werden soll. Ferner soll herausgearbeitet werden, welche Personengruppen, Straßenverhältnisse und Straßentypen zu welchem Anteil an der Entstehung von Unfällen beteiligt sind.

Eine mögliche Quelle zur Analyse von Unfällen sind die Statistiken des Statistischen Bundesamtes, welche auf den von der Polizei an der Unfallstelle aufgenommenen Daten aufbauen. Diese enthalten jedoch lediglich 50 bis maximal 200 Parameter, was nicht ausreicht für eine genaue Analyse von Unfällen zur Bewertung von Maßnahmen der aktiven Sicherheit. Diese polizeilich aufgenommenen Daten haben jedoch den Vorteil, dass sie bundesweit erhoben werden und somit statistisch abgesichert und repräsentativ sind.

Eine gute Lösung bieten hier so genannte In-Depth-Studien. Dabei handelt es sich um lokal begrenzte, prospektive Analysen realer Unfälle durch Experten direkt im Anschluss an das Vorkommnis am Unfallort. Im Rahmen dieser Studien erfolgt eine umfassende Aufnahme und Dokumentation von technischen,

verkehrspsychologischen und medizinischen Aspekten, anhand derer das Unfallgeschehen analysiert und rekonstruiert werden kann.

Die für die folgende Unfalldatenanalyse herangezogenen Daten entstammen der GIDAS-Datenbank. Das Akronym GIDAS steht für German in Depth Accident Study. Im Rahmen dieses Projektes, das im Jahre 1973 aus Aktivitäten der Medizinischen Hochschule Hannover entstand, werden Unfalldaten aus den Großräumen Hannover und, seit dem Jahr 1999, Dresden erfasst. Die Aufnahme der Unfalldaten im Großraum Dresden erfolgt durch die Technische Universität Dresden. Die Expertenteams in den beiden Erhebungsgroßräumen fahren immer dann an den Unfallort, wenn während der Erhebungsschicht bei einem im Großraum Hannover und Dresden stattfindenden Unfall mehr als eine Person verletzt wird.

Der große Vorteil der GIDAS-Datenbank ist, dass jeder Unfall zwischen 500 und 3000 Angaben enthält und somit sehr hochauflösend beschrieben ist. Folglich können der Unfallhergang und die den Unfall auslösenden Ursachen sehr genau analysiert werden.

Zunächst wird auf die Unfalltypen und ihre Auftretenshäufigkeiten eingegangen. Dabei wird für jede der beiden Hauptunfalltypen aufgezeigt, was die zugrundeliegenden Ursachen für die Entstehung des Unfalls sind. Im Weiteren wird dann gezielt auf Unfälle eingegangen, die auf Fehler in der Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung zurückzuführen sind.

Die Definition des Unfalltyps erfolgt nach dem Unfalltypenkatalog des GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft) und des Instituts für Straßenverkehr in Köln. Demnach bezeichnet der Unfalltyp den Verkehrsvorgang (z.B. Fahren in einer Kurve) bzw. die Konfliktsituation (z.B. Fahrzeug/Fußgänger von rechts), woraus der Unfall entstanden ist. Dieser Verkehrsvorgang ist die Phase des Verkehrsgeschehens, in der Fehlverhalten oder ein anderer Grund den weiteren Ablauf unkontrollierbar machte. Zur Bestimmung des Unfalltyps ist somit nur die Konfliktsituation entscheidend, die zu dem Unfall geführt hat. Irrelevant ist jedoch die Unfallart, also ob und wie die Verkehrsteilnehmer kollidiert sind (z.B. Frontalzusammenstoß). Der Vorteil des Unfalltyps besteht darin, dass er, im Gegensatz zu den Statistiken, die auf polizeilich erfassten Unfalldaten aufbauen, die Ursache erfasst und nicht nur den Effekt. Die Kenntnis dieser Ursache ist von großer Bedeutung, da nur so die Entstehung eines Unfalles verstanden und in Zukunft verhindert werden kann. Wichtig ist, dass eine Berechnung der Unfallarten aus den Unfalltypen oder umgekehrt nicht möglich ist. Beide Begriffe müssen, wie bei der oben vorgenommenen Definition, inhaltlich sauber getrennt werden.

In Abbildung 2.2-1 ist der prozentuale Anteil aller nach dem Unfalltypenkatalog kategorisierten Unfalltypen dargestellt. Dabei nimmt der Unfalltyp „Einbiegen-/Kreuzenunfall“ mit 27,4% den größten Anteil ein. Die Hauptunfallursache dieses Unfalltyps ist mit 56,6% das Missachten der Vorfahrt von anderen Fahrzeugen sowie mit 10% das Missachten von Ampeln. Dies ist wahrscheinlich auf ein Nicht-zur-Kennzeichen-Nehmen des entsprechenden Verkehrszeichens bzw. der Lichtanlage oder auf das Übersehen bzw. Falscheinschätzen der Geschwindigkeit von anderen Verkehrsteilnehmern zurückzuführen.

Die nächsthäufigen Unfalltypen sind der „Unfall im Längsverkehr“ mit 21,4%, der „Fahrerunfall“ mit 20% und der „Abbiegeunfall“ mit 16,4%. Die vier Hauptunfalltypen

machen mit zusammen 84,2% den größten Anteil am Unfallgeschehen aus. Einen nur geringen Prozentsatz nehmen die Unfalltypen „Überschreitenunfall“¹ mit 4,7% und „Unfall durch ruhenden Verkehr“ mit 4,1% sowie die sonstigen Unfälle mit 5,9% ein.

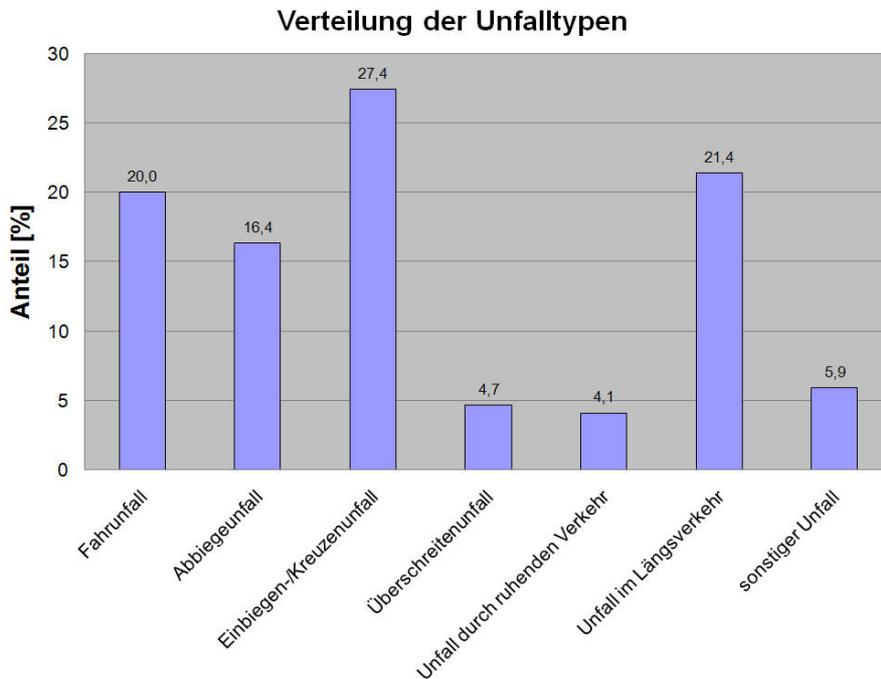


Abbildung 2.2-1: Verteilung der Unfälle auf die Unfalltypen über alle Unfälle

Dieses Ergebnis ändert sich erheblich, wenn man nur, wie in Abbildung 2.2-2 dargestellt, diejenigen Unfälle betrachtet, bei denen es mindestens einen Getöteten gibt. Dann geht der Anteil des Unfalltyps „Einbiegen-/Kreuzenunfall“ von vormals 27,4% auf nur noch 11,8% zurück. Das ist ein Zeichen dafür, dass dieser Unfalltyp vermehrt innerorts mit einer geringeren Geschwindigkeit und somit einem geringeren Verletzungsrisiko stattfindet. Aus demselben Grund nimmt der Anteil des Unfalltyps „Abbiegeunfall“ von 16,4% auf nur noch 5,5% ab. Somit kristallisieren sich bei den Unfällen mit Getöteten zwei Hauptunfalltypen heraus, die nahezu zwei Drittel aller Unfälle ausmachen, der „Fahrnfall“ mit 43,2% und der „Unfall im Längsverkehr“ mit 20,8%. Will man also die Anzahl der im Straßenverkehr Getöteten reduzieren, muss man mit Systemen der aktiven Sicherheit primär bei den Unfalltypen „Fahrnfall“ und „Unfall im Längsverkehr“ ansetzen.

Der „Fahrnfall“ ist nach dem Unfalltypenkatalog des GDV folgendermaßen definiert: Der Unfall wurde ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug (wegen nicht angepasster Geschwindigkeit oder falscher Einschätzung des Straßenverlaufs, des Straßenzustandes o. Ä.), ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben. Infolge unkontrollierter Fahrzeugbewegungen kann es dann aber zum Zusammenstoß mit anderen Verkehrsteilnehmern gekommen sein.

¹ Um einen Überschreitenunfall handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem die Fahrbahn überschreitenden Fußgänger und einem Fahrzeug ausgelöst wurde – sofern das Fahrzeug nicht abgelenkt ist. (Wer einer Straße mit abknickender Vorfahrt folgt, ist kein Abbieger)

Zu den „Fahrnfällen“ gehören aber nicht solche Unfälle, bei denen der Fahrer, infolge eines Konfliktes mit einem anderen Verkehrsteilnehmer, einem Tier oder einem beweglichen Hindernis auf der Fahrbahn sowie infolge plötzlichen körperlichen Unvermögens oder plötzlichen Schadens am Fahrzeug, die Gewalt über das Fahrzeug verloren hat.

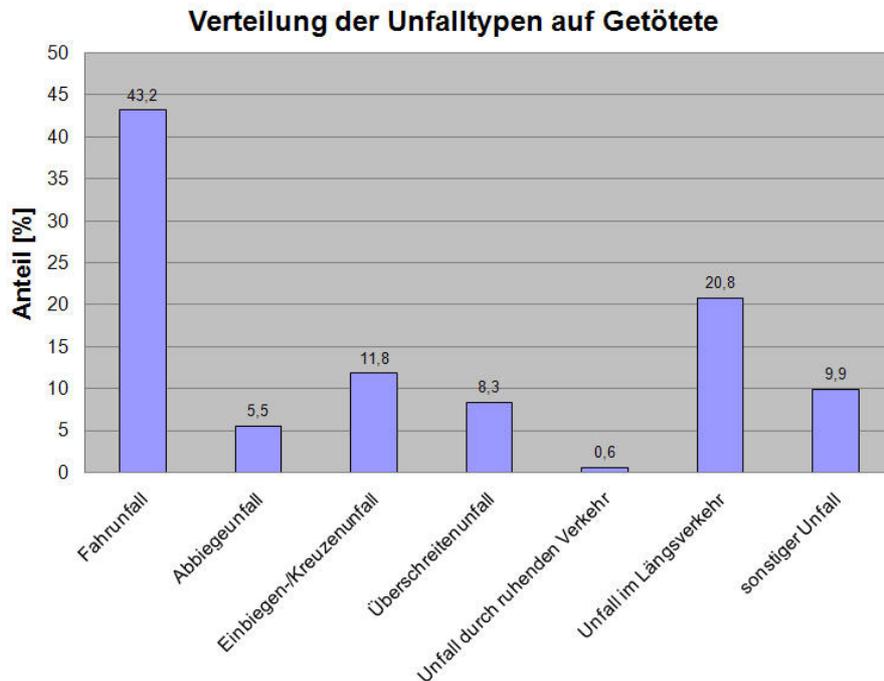


Abbildung 2.2-2: Verteilung der Unfälle auf die Unfalltypen über alle Unfälle mit Getöteten

Nach der Kategorisierung des Unfalltypenkataloges des GDV gibt es 22 Untertypen des „Fahrnfalls“, von denen allerdings nur die in Tabelle 2.2-1 dargestellten drei mit einem Gesamtanteil von ca. 90% relevant sind. Das ist der „Fahrnfall in einer Linkskurve (Typ 101)“ mit einem Anteil von 17,3%, der „Fahrnfall in einer Rechtskurve (Typ 102)“ mit 29,8% und der „Fahrnfall auf gerader Strecke (Typ 141)“ mit dem größten Anteil von 43,3%. Weniger relevant sind beispielsweise die Untertypen „abknickende Vorfahrten“, „Gefälleeinfluss“ oder „Straßenunebenheiten“.

Tabelle 2.2-1: Die drei Hauptuntertypen des Unfalltyps Fahrnfall

Typ 101 - Linkskurve	Typ 102 - Rechtskurve	Typ 141 – Gerade Strecke
Anteil: 17,3%	Anteil: 29,8%	Anteil: 43,3%

Geht man gezielt auf die Ursachen der „Fahrnfälle“ mit mindestens einer getöteten Person ein, ergibt sich das in Tabelle 2.2-2 gezeigte Ergebnis. Über die Hälfte aller „Fahrnfälle“ ist demnach auf nicht angepasste Geschwindigkeit oder auf das

Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zurückzuführen. Für 23,9% sind andere Fehler des Fahrers, wie beispielsweise eine Fehleinschätzung der Situation oder mangelnde Konzentration, die Ursache.

Die Ergebnisse zum „Fahrnfall“ zeigen, dass zur Reduzierung dieses Unfalltyps ein Assistenzsystem benötigt wird, das dem Fahrer eine angepasste Geschwindigkeit für die momentane Situation kommuniziert und das seine Situationswahrnehmung verbessert.

Tabelle 2.2-2: Unfallursachen des Unfalltyps Fahrnfall

Ursachen	Anteil
unangepasste Geschwindigkeit	48,9%
andere Fehler des Fahrers	23,9%
Alkohol mit Einschränkung der Verkehrstüchtigkeit	5,7%
Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	5,7%
andere	15,9%

Der zweithäufigste Unfalltyp bei den Getöteten im Straßenverkehr ist der „Unfall im Längsverkehr“. Nach der Definition des Unfalltypenkatalog des GDV handelt es sich dann um einen „Unfall im Längsverkehr“, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern ausgelöst wurde, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, sofern dieser Konflikt nicht die Folge eines Verkehrsvorganges war, der einem anderen Unfalltyp entspricht.

Der Unfalltyp „Unfall im Längsverkehr“ besteht aus 36 Untertypen. Von diesen machen jedoch die in Tabelle 2.2-3 abgebildeten fünf Untertypen über 55% aller Unfälle aus. Tabelle 2.2-3 zeigt, dass die Auffahrunfälle mit einem Anteil von 37,65% über ein Drittel aller „Unfälle im Längsverkehr“ ausmachen.

Tabelle 2.2-3: Die fünf Hauptuntertypen des Unfalltyps Unfall im Längsverkehr

Auf selber Spur vorausfahrendes Fahrzeug			Auffahren auf stehendes Fzg.	Sich begegnende Fahrzeuge
Typ 601	Typ 602	Typ 603	Typ 611	Typ 681
Anteil: 27,85%			Anteil: 9,8%	Anteil: 17,6%

Eine Analyse der Ursachen, die zu einem „Unfall im Längsverkehr“ führen, ergibt das in Tabelle 2.2-4 dargestellte Ergebnis. Eine der Hauptunfallursachen ist, mit einem Anteil von 13%, wiederum eine nicht angepasste Geschwindigkeit. Ebenso spielt die Unterschreitung des Sicherheitsabstandes mit einem Beitrag von 8,7% eine wichtige Rolle.

Wie schon beim „Fahrnfall“ liefern auch beim „Unfall im Längsverkehr“ die anderen Fehler des Fahrers, wie z.B. eine Fehleinschätzung der Situation oder

Unaufmerksamkeit und sonstige geistige Mängel, mit einem Anteil von 32,6% einen enormen Beitrag am Unfallgeschehen.

Will man also die „Unfälle im Längsverkehr“ mittels eines Assistenzsystems reduzieren, muss dieses den Fahrer neben der Wahl einer für die Situation angepassten Geschwindigkeit auch beim Einhalten des richtigen Sicherheitsabstandes unterstützen. Ferner muss es, wie schon beim Unfalltyp „Fahrerunfall“, bei der richtigen Einschätzung der vorherrschenden Situation Hilfe leisten.

Tabelle 2.2-4: Unfallursachen des Unfalltyps Unfall im Längsverkehr

Ursachen	Anteil
andere Fehler des Fahrers	21,7%
unangepasste Geschwindigkeit	13,0%
falsche Fahrbahn benutzt	10,9%
sonstige geistige Mängel	10,9%
Fahrstreifenwechsel	8,7%
Rechtsfahrgebot missachtet	8,7%
Sicherheitsabstand unterschritten	8,7%
Überholen trotz unklarer Verkehrslage	4,3%
Fehler beim Wiedereinordnen	4,3%
andere	15,9%

Im weiteren Verlauf der Unfalldatenanalyse wird gezielt auf diejenigen Unfälle eingegangen, die auf Fehler in der Geschwindigkeits- und Abstandshaltung oder auf ein unbeabsichtigtes Verlassen der Spur zurückzuführen sind. Wie man der Abbildung 2.2-3 entnehmen kann, machen diese Unfallursachen, berücksichtigt man die Gesamtheit aller vorkommenden Unfälle, einen Anteil von 28% aus. Dabei spielen die Unfälle, die aufgrund eines Fehlers in der Wahl der Geschwindigkeit passieren, mit 16,7% die größte Rolle.

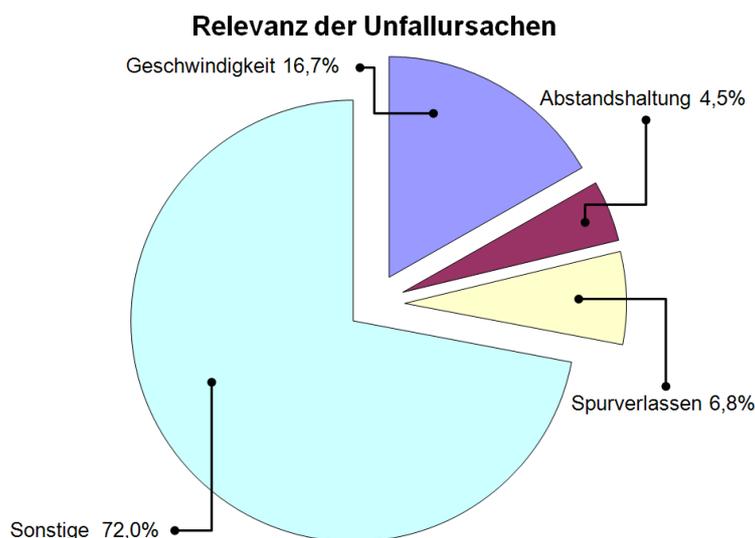


Abbildung 2.2-3: Relevanz der Unfallursachen über alle Unfälle

Betrachtet man nur die Unfälle mit mehr als einem Getöteten, dann belaufen sich diese drei Unfallursachen auf einen Anteil von nahezu 40% ein. Ursache dafür ist das überproportionale Ansteigen der Unfälle die auf überhöhter oder nicht

angepasster Geschwindigkeit beruhen. Ferner nimmt dann auch der Anteil der Unfälle wegen unbeabsichtigten Verlassens der Spur auf über 10% zu.

In der nachfolgenden detaillierten Analyse dieser drei Unfallursachen soll gezeigt werden, mit welchem Anteil unterschiedliche Personengruppen, Straßenverhältnisse und Straßentypen an deren Entstehung beteiligt sind. Die in den nachstehenden Tabellen und Abbildungen dargestellten Ergebnisse entstammen wiederum der GIDAS-Datenbank. Die abgebildeten Werte sind jedoch nicht die Rohdaten aus der Datenbank, sie sind vielmehr hinsichtlich der untersuchten Fragestellung noch zusätzlich normiert. Erst dadurch lassen sich sinnvolle Schlussfolgerungen aus den Rohdaten ziehen. Die vorgenommene Normierung wird kurz am Beispiel, inwieweit das Geschlecht die Unfallhäufigkeit beeinflusst, über die Gesamtheit aller Unfälle vorgestellt. Betrachtet man die Rohdaten aus der Datenbank, ergibt sich, dass Männer 69,6% aller Unfälle und Frauen lediglich 29,1% der Unfälle verursachen. Aufgrund dieser Werte würde man fälschlicherweise schlussfolgern, männliche Autofahrer verursachen prozentual mehr Unfälle als Frauen. Bezieht man jedoch die von Männern und Frauen jährlich gefahrenen Kilometer mit ein, ändert sich aufgrund der Tatsache, dass von den Frauen nur 31,7% der gesamten Jahreskilometer zurückgelegt werden, das Ergebnis grundsätzlich. Dann ergibt sich das in Tabelle 2.2-5 dargestellte Bild. Dieses zeigt, über alle Unfälle gesehen, nahezu Gleichstand, mit einer Unfallbeteiligung von 52,6% bei den Männern und 47,4% bei den Frauen. Ein ähnliches Resultat ergibt sich auch für die Unfallursachen „überhöhte Geschwindigkeit“ und „Fehler in der Abstandshaltung“. Lediglich bei den Unfällen, die auf ein unbeabsichtigtes Verlassen der Spur zurückzuführen sind, ergibt sich ein deutlicher Unterschied zugunsten der Frauen, die an dieser Unfallursache mit lediglich 37,8% beteiligt sind.

Ein sehr interessantes Ergebnis liefert die Betrachtung des Alterseinflusses auf die Unfallbeteiligung (siehe Tabelle 2.2-5 und Abbildung 2.2-4). Zur Normierung der Rohwerte wurde die jährliche Fahrleistung der entsprechenden Alterskategorie verwendet. Wie man an dem Verlauf über „Alle Unfälle“ sehen kann, ergibt sich eine Art Badewannenkurve. Demnach besteht ein verstärktes Unfallrisiko bei jungen Fahrern im Alter von 18 bis 31 Jahren und dann wieder bei den über 61-Jährigen. Dieses Ergebnis lässt sich recht einfach erklären. Die Unfälle bei den jungen Fahrern lassen sich auf die noch nicht vollständig ausgebildeten inneren Modelle, also auf fehlende Routine und Erfahrung und auf die verstärkte Risikobereitschaft zurückführen. Mit zunehmendem Alter steigen Routine und Erfahrung und die Risikobereitschaft sinkt. Ab einem gewissen Alter jedoch kommen die Einschränkungen im Wahrnehmungs- und Handlungsapparat zum Tragen und können durch die vorhandene Routine nicht mehr kompensiert werden, so dass es wieder zu einem deutlichen Anstieg der Unfallkurve ab einem Alter von über 61 Jahren kommt. Dieser Anstieg wird jedoch durch Erkenntnisse von *Vollrath (2007)* etwas relativiert. Wie die Untersuchung von Vollrath ergibt, hat der Grad an Mobilität einen enormen Einfluss auf die Unfallwahrscheinlichkeit. Er zeigt, dass ältere Fahrer weniger fahren als die jüngeren Verkehrsteilnehmer und es bei einer geringeren Fahrleistung über alle Altersgruppen hinweg zu einer Erhöhung des Unfallrisikos kommt. Ferner kann Vollrath nachweisen, dass ältere Fahrer im Vergleich zu den jüngeren Fahrern prozentual mehr Fahrten machen, bei denen sie in Situationen kommen, die für alle Fahrer ein erhöhtes Unfallrisiko bedeuten.

Tabelle 2.2-5: Einfluss von Geschlecht und Alter auf alle Unfälle sowie auf die drei Unfallursachen

		Alle Unfälle	Geschwindigkeit	Abstandshaltung	Spurverlassen
Geschlecht und Alter	Anteil in [%]	100	16,7	4,5	6,8
Männlich	Anteil in [%]	52,6	55,7	58,2	62,2
Weiblich	Anteil in [%]	47,4	44,3	41,8	37,8
>=18...21	Anteil in [%]	28,4	44,7	22,2	36,2
>=21...25	Anteil in [%]	18,0	23,4	16,8	23,0
>=25...31	Anteil in [%]	10,0	9,0	12,5	12,5
>=31...41	Anteil in [%]	6,8	5,7	7,0	5,1
>=41...51	Anteil in [%]	6,1	3,9	5,4	5,1
>=51...61	Anteil in [%]	7,3	3,6	7,0	4,4
>=61...71	Anteil in [%]	8,2	4,0	7,8	3,1
>=71	Anteil in [%]	15,3	5,7	21,3	10,4

Eine Ausnahme stellt die Betrachtung der Unfälle dar, die auf überhöhte oder nicht angepasste Geschwindigkeit zurückzuführen sind. An dieser Unfallursache sind die 18- bis 25-Jährigen mit einem übermäßigen Anteil von 68,1% beteiligt. Im Gegensatz zu den anderen Unfallursachen kommt es hier jedoch nicht mehr zu einem deutlichen Anstieg bei den über 61-Jährigen.

Betrachtet man das Ergebnis der Unfallbeteiligung in Abhängigkeit vom Alter, dann widerspricht dies klar der momentanen Strategie der Fahrzeugindustrie. Dort werden neuartige Fahrerassistenzsysteme, die eine Verbesserung der aktiven Sicherheit zum Ziel haben, zunächst in den hochpreisigen Luxusfahrzeugen als teure Sonderausstattung verbaut. Diese Fahrzeuge werden aber aufgrund ihres hohen Preises in überwiegendem Maße von den 40- bis 60-Jährigen gekauft, die, statistisch gesehen, diese Systeme am wenigsten benötigen. Dies hat zur Folge, dass das vorhandene Potential dieser Assistenzsysteme zur Reduzierung der Unfallzahlen und der im Straßenverkehr Getöteten bei weitem nicht ausgeschöpft wird. Dafür müsste die Markteinführungsstrategie gänzlich geändert werden und diese Systeme sofort nach Serienreife auch zu einem günstigen Preis im Niedrigpreissegment angeboten werden. Über eine entsprechend höhere Absatzmenge in diesem Segment könnte sich der Verkauf trotz einer niedrigeren Gewinnspanne als wirtschaftlich erweisen. Dies zeigt ein einfaches Rechenbeispiel anhand der Verkaufszahlen des Audi A8 und des Audi A3. Im A8, der sich pro Monat in Deutschland ca. 500-mal verkauft, wird der Abstandsregeltempomat ACC zu einem Preis von 1950 Euro angeboten. Nimmt man für das ACC an, dass die Herstellungskosten ca. 1000 Euro betragen, könnte dieses im Audi A3, der monatlich über 7000-mal verkauft wird, zu einem Preis von unter 1100 Euro offeriert werden. Somit bliebe, unter der Annahme, dass die Ausstattungsrate mit dem Assistenzsystem in beiden Fahrzeugsegmenten gleich ist, der Gesamtgewinn konstant. Ein weiterer positiver Effekt dieser Strategie wäre, dass durch die höheren Absatzzahlen im Gegenzug auch die Herstellungskosten weiter fallen.

In Tabelle 2.2-6 ist gezeigt, welchen Einfluss die Straßenverhältnisse auf die Entstehung von Unfällen haben. Zur Normierung wurde hier die Anzahl der Tage ohne Regen sowie die Anzahl der Regen-, Schnee- und Frosttage herangezogen. Wie die Betrachtung über alle Unfälle zeigt, passieren diese zu 55,7% auf trockener Fahrbahn. Das Ergebnis ändert sich deutlich, wenn man die Unfälle betrachtet, die auf überhöhte oder nicht angepasste Geschwindigkeit zurückzuführen sind. Diese

finden mit einem Anteil von 73,8% statt, wenn der Reibbeiwert aufgrund der Straßenverhältnisse vermindert ist. Das beweist, dass bei Unfällen die auf Fehler in der Geschwindigkeitshaltung zurückzuführen sind, verstärkt eine falsche Einschätzung der Situation und somit ein Fehler im Abschätzen von dynamischen Größen stattfindet. Diese Erkenntnis deckt sich sehr gut, mit der in der theoretischen Betrachtung in Kapitel 2.1.

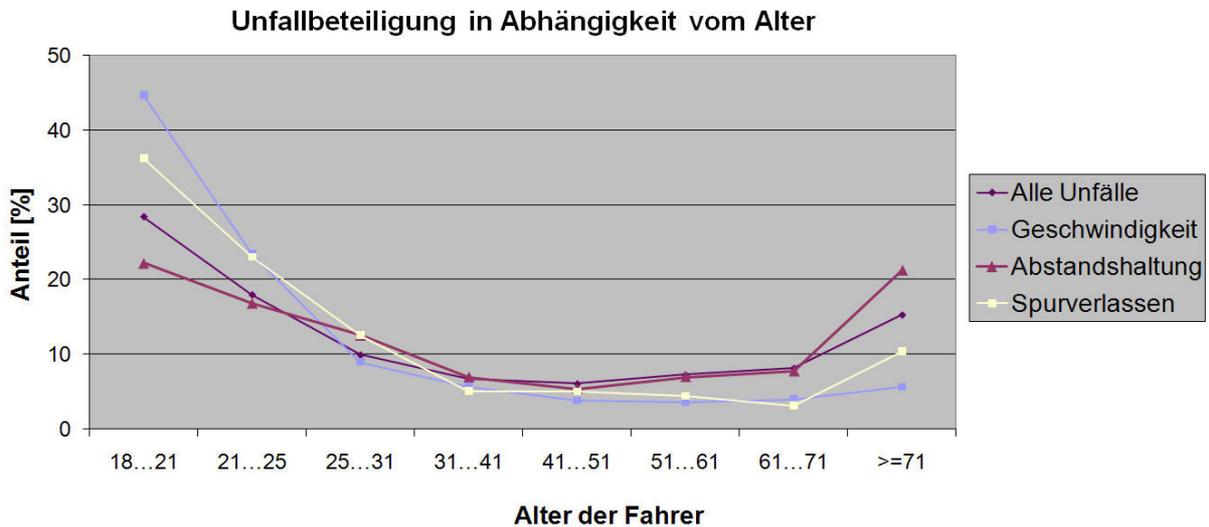


Abbildung 2.2-4: Unfallbeteiligung in Abhängigkeit vom Alter über alle Unfälle und die drei Unfallursachen

Die Unfälle aufgrund von Fehlern in der Abstandshaltung weichen ebenso vom Bild über alle Unfälle ab. Wie man Tabelle 2.2-6 entnehmen kann, finden diese mit einem Anteil von 65,3% zumeist auf trockener Fahrbahn statt. Dies zeigt, dass von den Fahrern bei trockener Fahrbahn offensichtlich zu geringe Abstände gefahren werden und das Verzögerungspotential des eigenen Fahrzeuges entweder überschätzt oder nicht vollständig ausgenutzt wird. Das Ergebnis bestätigt wieder die Überlegungen aus dem vorangegangenen Kapitel.

Im Gegensatz zu den anderen beiden Unfallursachen, weichen die Unfälle aufgrund von unbeabsichtigtem Verlassen der Spur nicht vom Bild über alle Unfälle ab.

Tabelle 2.2-6: Einfluss der Straßenverhältnisse auf alle Unfälle sowie auf die drei Unfallursachen

		Alle Unfälle	Geschwindigkeit	Abstandshaltung	Spurverlassen
Straßenverhältnisse	Anteil in [%]	100	16,7	4,5	6,8
Trocken	Anteil in [%]	55,7	26,2	65,3	54,6
Feucht	Anteil in [%]	15,4	18,3	13,4	15,8
Nass	Anteil in [%]	15,2	21,5	18,0	10,4
Schnee	Anteil in [%]	9,1	21,4	2,3	13,0
Raureif/Eis	Anteil in [%]	4,6	12,7	0,9	6,1

Der Einfluss des Straßentyps auf die Entstehung von Unfällen ist in Tabelle 2.2-7 abgebildet. Um die Rohdaten zu normieren, wurde der prozentuale Anteil der gefahrenen Kilometer auf dem jeweiligen Straßentyp verwendet. Anhand der Daten über alle Unfälle ist zu sehen, dass 52,5% der Unfälle innerorts und 47,5% außerhalb von Ortschaften stattfinden. Dieses Ergebnis ändert sich deutlich bei den Unfällen,

die aufgrund eines Fehlers in der Wahl der Geschwindigkeit passieren. Sie finden zu drei Viertel außerhalb von Ortschaften, bevorzugt auf Bundes- sowie Landes- und Kreisstraßen, statt. Diese Tatsache zeigt wiederum deutlich die Defizite der Fahrer bei der Wahl einer für die Verkehrssituation adäquaten Geschwindigkeit. Entgegen der Annahme, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten passende und bei hohen Geschwindigkeiten zu geringe Abstände gefahren werden, ereignen sich 41% aller Unfälle, die auf Fehler in der Abstandshaltung zurückzuführen sind, auf Stadtstraßen mit niedrigem Geschwindigkeitsniveau. Auf Bundesautobahnen, auf denen das höchste Geschwindigkeitsniveau herrscht, passieren dagegen lediglich 11% der Unfälle aufgrund von Fehlern in der Abstandshaltung. Dieses zunächst widersprüchliche Ergebnis lässt sich jedoch verstehen, wenn man betrachtet, wie entscheidend die Dauer der menschlichen Situationseinschätzung und die daraus folgende Reaktion, in Abhängigkeit vom entsprechenden Geschwindigkeitsniveau, für die Unfallvermeidung ist. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h, wie sie auf den meisten Stadtstraßen vorgeschrieben ist, beträgt der Anhalteweg bei einem Reibbeiwert von $\mu = 0,75$ und einer Reaktionszeit von 1s ca. 27m. Dabei macht der Reaktionsweg 14m und der Bremsweg 13m aus. Dies zeigt, dass hier der menschlichen Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung der entscheidende Anteil an der Unfallvermeidung zukommt. Bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h beträgt der Anhalteweg bei gleichen Randbedingungen ca. 109m, wobei auf den Reaktionsweg 33m und auf den Bremsweg 76m entfallen. Daran kann man erkennen, dass bei höheren Geschwindigkeiten der maßgebende Anteil zur Unfallvermeidung nicht der menschlichen Situationserkennung, sondern einer auf die erkannte Situation angepassten Reaktion zufällt. Ebenso in diese Betrachtung passt, dass mit einem Anteil von 34,1% die zweithöchste Anzahl an Unfällen, aufgrund eines Fehlers in der Abstandshaltung, auf Bundesstraßen vorkommt. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind dies Auffahrunfälle, die beim langweiligen und wenig fordernden Kolonnenfahren hinter einem langsamen LKW, was eine Reduktion der Aufmerksamkeit des Fahrers zur Folge hat, bei einem Geschwindigkeitsniveau zwischen 60 und 80 km/h passieren.

Tabelle 2.2-7: Einfluss des Straßentyps auf alle Unfälle sowie auf die drei Unfallursachen

		Alle Unfälle	Geschwindigkeit	Abstandshaltung	Spurverlassen
Straßentyp					
	Anteil in [%]	100	16,7	4,5	6,8
Bundesautobahn	Anteil in [%]	8,2	13,2	11,0	8,3
Bundesstraße	Anteil in [%]	18,6	26,9	34,1	21,8
Landes- und Kreisstraße	Anteil in [%]	20,7	35,4	13,6	41,0
Stadtstraße	Anteil in [%]	52,5	24,6	41,4	28,9

Das Ergebnis bei den Unfällen aufgrund von unbeabsichtigtem Verlassen der Spur weicht ebenso von dem über alle Unfälle ab. Wie man in Tabelle 2.2-7 sehen kann, finden diese mit einem Anteil von 41% zumeist auf Landes- und Kreisstraßen statt. Daraus ergibt sich, dass der Fahrer vor allem auf den engeren und kurvenreicheren Landes- und Kreisstraßen Probleme bei der Spurhaltung hat. Diese Erkenntnis wird von dem Ergebnis von *Gründl (2005)* gestützt, dessen Analyse ein erhöhtes Risiko für ein unbeabsichtigtes Abkommen von der Fahrspur beim Fahren bei Dunkelheit ergibt, da vor allem Landes- und Kreisstraßen, im Gegensatz zu Stadtstraßen, wenig bis gar nicht beleuchtet sind. Dies zeigt wiederum, in guter Übereinstimmung mit der theoretischen Analyse, die Probleme des Fahrers, die exakte Position sowie die sich

in Abhängigkeit des Lenkwinkels und der Geschwindigkeit ergebende Bewegungstrajektorie seines Fahrzeuges auf der Straße richtig einzuschätzen.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse von Unfalldaten aus der GIDAS-Datenbank wird der prozentuale Anteil der Unfalltypen nach dem Unfalltypenkatalog des GDV sowohl über alle Unfälle als auch für Unfälle mit mindestens einem Getöteten dargestellt. Für die Unfälle mit mindestens einem Getöteten werden für die beiden Hauptunfalltypen „Fahrerunfall“ und „Unfall im Längsverkehr“ die Unfallursachen angegeben, wobei sich zeigt, dass ein hoher Prozentsatz der Unfälle auf nicht angepasste Geschwindigkeit, Fehler in der Abstandshaltung und menschliche Wahrnehmungsfehler zurückzuführen ist. Im Weiteren wird dann gezielt auf Unfälle eingegangen, deren Ursachen Fehler in der Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung sind. Die detaillierte Analyse dieser drei Unfallursachen zeigt, zu welchem Anteil unterschiedliche Personengruppen, Straßenverhältnisse und Straßentypen an deren Entstehung beteiligt sind.

Betrachtet man die Ergebnisse der Unfalldatenanalyse im Überblick, bestätigen sich eindeutig die im vorangegangenen Kapitel, anhand einer theoretischen Betrachtung der Erfüllung der Führungsaufgabe, aufgedeckten Defizite des Menschen bei der Wahl einer angepassten Geschwindigkeit und eines sicheren Abstandes sowie bei der Spurhaltung und der Situationseinschätzung. Die Fehler in der Situationseinschätzung sind in vielen Fällen darauf zurückzuführen, dass dem Fahrer offensichtlich aufgrund des Übersehens von Verkehrszeichen bzw. wegen einer Fehleinschätzung von wahrgenommenen Größen, die nötigen Informationen nicht oder fehlerhaft präsent sind.

2.3 Ergonomischer Lösungsansatz

Im Rahmen dieses Kapitels wird zunächst auf die bestehende Marktsituation bei den Fahrerassistenzsystemen eingegangen. Dabei wird speziell die Fahrer-Fahrzeug Interaktion beim Fahren mit einem ACC Adaptive Cruise Control näher durchleuchtet. Danach wird eine Interaktionsmetapher für Fahrerassistenzsysteme abgeleitet, die sowohl die Stärken des Menschen als auch die der Technik so miteinander kombiniert, dass die jeweiligen Schwächen kompensiert werden.

Die vorangegangene Analyse der menschlichen Fähigkeiten aber auch Defizite bei der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung beim Führen eines Fahrzeuges sowie die Analyse der Unfalldaten aus der GIDAS-Datenbank zeigen deutlich den Bedarf an Systemen, die den Fahrer unterstützen. Aus diesem Grund gibt es seitens der Fahrzeugindustrie einen immensen Entwicklungsaufwand, der zu der mittlerweile großen Zahl an Assistenzsystemen, die sich bereits auf dem Markt befinden und die bald auf den Markt kommen werden, führt. Einen Überblick über diese Systeme liefert Tabelle 2.3-1.

Man kann der Tabelle in der Spalte „assistiert bei“ entnehmen, dass die Assistenzsysteme genau an den Schwachpunkten angreifen, die in den beiden vorangegangenen Kapiteln aufgezeigt wurden. Sie verdeutlicht aber auch, dass diese Systeme, wie bereits angesprochen, singuläre Insellösungen mit einer jeweils eigenen Fahrer-Fahrzeug Interaktionsstrategie darstellen. Anhand eines Vergleichs der Systeme ACC Adaptive Cruise Control, LKA Lane Keeping Assistant und SWA Spurwechselassistenten hinsichtlich der Punkte „Art der Assistenz“, „Geforderte Einstellungen des Fahrers“, „Interaktionskanal Regler – Fahrzeug“ und „Systemgrenzen“ wird dies im Folgenden detaillierter gezeigt. Das ACC ist ein System, das die Längsführung des Fahrzeuges autonom nach den Vorgaben des Fahrers durchführt. Er gibt dem Assistenzsystem seine gewünschte Geschwindigkeit und den einzuhaltenden Abstand vor und der Abstandsregeltempomat versucht, diese Vorgaben innerhalb seiner gegebenen Grenzen völlig selbstständig zu erfüllen. Der Lane Keeping Assistant von Honda, den es vorerst nur für Rechtslenkerfahrzeuge gibt, stellt ein Zittersystem aus unterstützend und autonom handelnd dar. Das System könnte das Fahrzeug völlig selbstständig in der Spur halten und unterstützt den Fahrer auch permanent mittels eines haptischen Moments am Lenkrad. Der Fahrer muss jedoch ein Fünftel des Lenkmomentes beisteuern, ansonsten schaltet sich die Spurhalteunterstützung von selbst ab. Der Spurwechselassistent ist dagegen ein informierendes und warnendes System. Es zeigt dem Fahrer stets in Form eines Symbols in der Nähe des entsprechenden Außenspiegels an, ob er die Spur wechseln kann oder nicht. Führt er entgegen der Empfehlung des Systems dennoch einen Spurwechsel durch, wird er über ein Vibrieren am Lenkrad über die bestehende Gefahr gewarnt.

Tabelle 2.3-1: Art der Assistenz und Form der Interaktion mit dem Fahrer von auf dem Markt verfügbaren und bald auf den Markt kommenden Assistenzsystemen (erweitert nach Wolf et al., 2005)

Fahrerassistenzsystem	assistiert bei	Art der Assistenz	Geforderte Einstellungen des Fahrers	Interaktionskanal Regler - Fahrer	Rückmeldung der Nichtregelbarkeit (Übernahmeaufforderung)	Systemgrenzen
ACC Active Cruise Control	Abstandshaltung Geschwindigkeits- haltung	autonom (nach Vorgabe)	an/aus Sollgeschwindigkeit Sollabstand	optisch kinästhetisch	optisch & akustisch	30 - 180 km/h
ACC Stop & Go	Abstandshaltung Geschwindigkeits- haltung	autonom (nach Vorgabe)	an/aus Sollgeschwindigkeit Sollabstand	optisch kinästhetisch	optisch & akustisch	0 - 180 km/h
LDW Lane Departure Warning	Ungewolltes Spurverlassen	warnend	an/aus Warnzeitpunkt	optisch (Blinken) akustisch (Warnton) haptisch (Lenkrad-, Sitzvibration)	optisch	60 - 180 km/h
LKA Lane Keeping Assistant	Spurhaltung	fast autonom handelnd (80%)	an/aus	haptisch (Lenkmoment) akustisch (Warnton)	optisch	60 - 180 km/h
Verkehrszeichen assistent	Wahrnehmen von Verkehrszeichen	informierend	an/aus	optisch	--	--
SWA Spurwechselassistent	Spurwechsel- vorgängen	informierend & warnend	an/aus	optisch (Farbcodierung/Blinken) haptisch (Lenkradvibration)	--	> 65 km/h
Night Vision	Dunkelheit Schlechte Sicht	informierend	an/aus Displayeinstellungen (Helligkeit/Kontrast)	optisch	--	--
Collision Warning (Kollisionswarnung)	Abstandshaltung	warnend	--	optisch akustisch	--	--
Collision Avoidance (Kollisionsvermeidung)	Abstandshaltung	autonom	--	kinästhetisch	--	--

Ein großes Problem sind zudem die für den Fahrer nicht transparenten unterschiedlichen Systemgrenzen. Ein herkömmliches ACC kann die Geschwindigkeit und den Abstand nur zwischen 30 und 180 km/h regeln. Fällt die Geschwindigkeit aufgrund eines vorausfahrenden Fahrzeuges unter die 30 km/h Schranke, gibt das ACC einen Warnton aus und deaktiviert sich. Beim ACC Stop & Go ist diese Einschränkung nach unten nicht mehr vorhanden. Der Lane Keeping Assistant kann den Fahrer dagegen nur zwischen 60 und 180 km/h bei seiner Spurhaltung unterstützen, der Spurwechselassistent lässt sich dagegen erst ab einer Geschwindigkeit von 65 km/h aktivieren. Da diese Assistenzsysteme von den Herstellern als getrennte Sonderausstattungen angeboten werden, verfügen sie alle, neben den unterschiedlichen Formen der Assistenz und der ungleichen Systemgrenzen, auch über einen eigenen Schalter zum An- und Ausschalten. Das hat zur Folge, dass sich der Fahrer jeden einzelnen Assistenten separat, ab der richtigen Geschwindigkeit zuschalten muss, was unnötigen Bedienungsaufwand mit der daraus resultierenden Ablenkung von der Fahraufgabe erzeugt.

Vergleicht man das Fahren ohne Assistenz mit dem Fahren mit ACC, können dadurch die Probleme aufgezeigt werden, die durch die Teilautomatisierung der Fahraufgabe durch das ACC entstehen.

In Abbildung 2.3-1 ist der Fahrer-Fahrzeug Regelkreis für das normale Fahren ohne Assistenzsystem für ein Fahrzeug mit Automatikgetriebe dargestellt. Wie man dort sehen kann, betätigt der Fahrer über seine oberen Extremitäten das Lenkrad und über seine unteren Extremitäten Gaspedal und Bremse. Um beispielsweise am

Lenkrad einen entsprechenden Lenkwinkel ϕ_{Lenk} zu erzeugen, muss er zunächst mit den Armen eine Kraft am Lenkrad aufbringen. Über die Golgi-Elemente, die die Dehnung der Sehnen erfassen, misst der Mensch dann die Höhe der Kraftentwicklung des Muskels. Aus dieser am Lenkrad aufgebrauchten Lenkkraft F_{Lenk} resultiert daraufhin der Lenkwinkel ϕ_{Lenk} . Die Änderung der Lenkwinkelstellung ermittelt der Mensch über die Muskelspindeln, welche die Dehnung bzw. Stauchung der Muskeln erfassen. Mit den aufgrund der Kraftausübung auf die Fahrzeugbedienelemente erzeugten Größen ϕ_{Lenk} , x_{Gas} und x_{Bremse} wirkt der Fahrer auf die Fahrdynamik ein, mit dem Ziel, die sich ihm stellende Fahraufgabe unter den gegebenen Umweltbedingungen zu erfüllen. Das Ergebnis dieser Handlungen sind die Geschwindigkeit und Position des Fahrzeuges. Dieses Resultat nimmt der Fahrer zum einen direkt über seine am Fahrprozess beteiligten Sinnesorgane wahr (siehe Tabelle 2.1-1). Zum anderen wird ihm über das optische Display, dem Tachometer, die momentane Istgeschwindigkeit rückgemeldet. Mittels dieser Informationen und des Abgleichs mit seiner Aufgabenstellung ändert der Fahrer die Bedienelementposition oder behält deren Stellung bei. Im Gegensatz zum Gas- und Bremspedal überträgt das mechanisch mit den Vorderrädern verbundene Lenkrad nicht nur Informationen vom Fahrer auf das Fahrzeug, sondern vermittelt auch in umgekehrter Richtung über die von den Vorderrädern zurückkommende Kraft F_{VR} Informationen über den Fahrzeugzustand. Dagegen sind, wie man in Abbildung 2.3-1 sehen kann, das Gas- und das Bremspedal völlig von der Fahrdynamik entkoppelt.

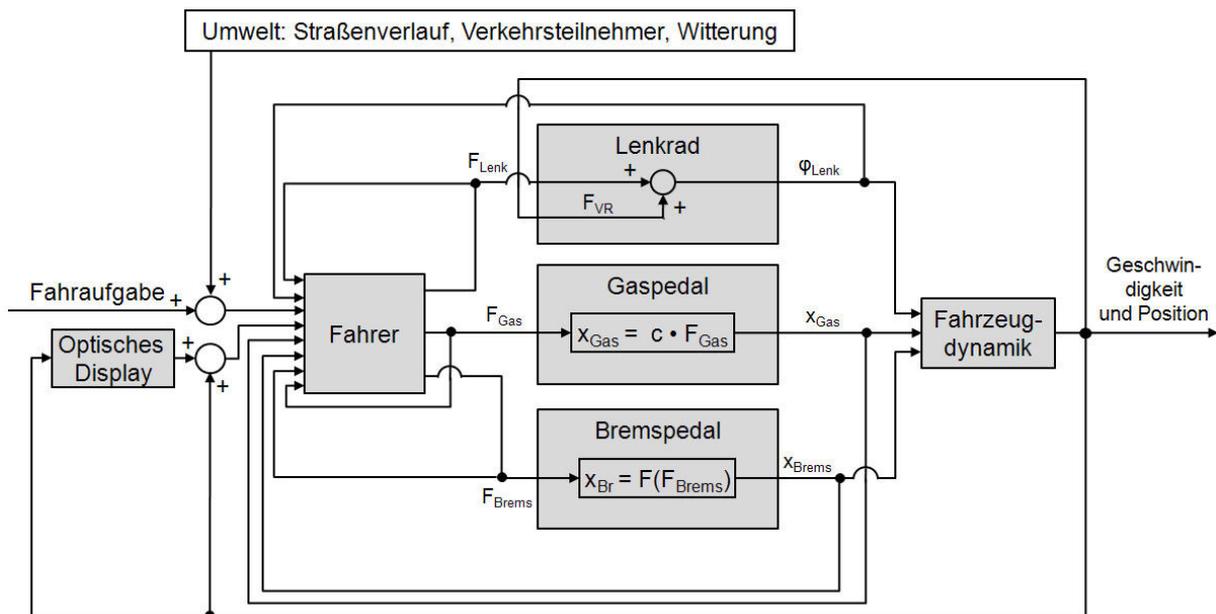


Abbildung 2.3-1: Fahrer-Fahrzeug Regelkreis für ein Fahrzeug mit Automatikgetriebe ohne Assistenzsystem

In Abbildung 2.3-2 ist der Fahrer-Fahrzeug Regelkreis für das Fahren mit einem ACC dargestellt. Dieser ist um einiges komplexer und vor allem durch eine schwierige

Interaktionslogik zwischen Fahrer, ACC-Regler und Fahrzeugdynamik, welche im Folgenden näher erläutert wird, ² gekennzeichnet.

Der ACC-Regler ist parallel zum Fahrer wirksam und muss, wie dieser auch, auf Basis von Sensorinformationen ein Umweltmodell erstellen und den Fahrzeugzustand erfassen. Um nach seiner Aktivierung die Längsführung des Fahrzeugs, in den ihm gesetzten Grenzen, übernehmen zu können, benötigt der ACC-Regler noch zusätzlich die Vorgaben des Fahrers bzgl. der zu fahrenden Wunschgeschwindigkeit und des einzuhaltenden Wunschabstandes bei Folgefahrt. Das Setzen dieser beiden Größen sowie das Aktivieren und Deaktivieren des Systems erfolgt über das ACC-Bedienelement. Die vorgenommenen Einstellungen sowie der Systemzustand werden dem Fahrer optisch über den Rückmeldekanal ACC_{Anz} angezeigt.

Gibt der Fahrer über den Kanal ACC_{On/Off} den Einschaltbefehl, werden die Schalter zwischen Gaspedal und Fahrzeugdynamik sowie Bremspedal und Fahrzeugdynamik in die untere Stellung umgelegt und das ACC-System übernimmt die Längsführung (siehe Abbildung 2.3-2). Daraufhin kann der ACC-Regler über die Ausgangsgrößen ACC_{Gas} und ACC_{Brems} auf die Fahrdynamik zugreifen und das Fahrzeug selbstständig beschleunigen und verzögern. Der Fahrer befindet sich dann bzgl. der Längsführung in einer rein monitiven Rolle. Damit er die ACC-Automatik überwachen kann, werden ihm neben den getroffenen Einstellungen auch wichtige Informationen über den Systemzustand rückgemeldet. Das ist zum einen die Information, ob das ACC ein vorausfahrendes Fahrzeug erkannt hat und somit auf den eingestellten Wunschabstand regelt. Zum anderen ist das die Warnausgabe, wenn die Bremsverzögerung ACC_{Brems} des ACC-Reglers die Grenze der maximal möglichen Verzögerung von -3 m/s^2 erreicht hat und das ACC somit nicht mehr stark genug abbremsen kann, um die Kollision mit einem langsameren vorausfahrenden Fahrzeug zu verhindern. Sollte dies der Fall sein, ist die Rückmeldung besonders wichtig, da in diesem Moment die beiden Schalter vom ACC in die obere Stellung gebracht werden und sich das System somit selbstständig deaktiviert, was zur Folge hat, dass der Fahrer dann sofort die Längsführung übernehmen muss. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer Übernahmeaufforderung.

Ein kurzzeitiges Betätigen des Bremspedals führt, ebenso wie das Erreichen der maximal möglichen Verzögerung, zum sofortigen Deaktivieren des ACC-Systems. Im Gegensatz zum Bremspedal schaltet ein Drücken des Gaspedals das ACC-System nicht aus. Betätigt der Fahrer im ACC-Betrieb das Gaspedal, wird dieser Beschleunigungswunsch x_{Gas} mit der entsprechenden Größe ACC_{Gas} des ACC-Reglers verglichen. Solange der Vergleich ergibt, dass der Beschleunigungswunsch des Fahrers größer ist als der korrespondierende Wert des ACC-Reglers, wird der Schalter zwischen Gaspedal und Fahrzeugdynamik temporär umgelegt und der Fahrer überstimmt die Beschleunigungsvorgabe des ACCs.

Gibt der Fahrer dem ACC-Regler mittels des ACC-Bedienelementes über den Kanal ACC_{On/Off} den Ausschaltbefehl, werden die beiden Schalter zwischen Gaspedal und

² An dieser Stelle ist es wichtig anzumerken, dass sich bei einem mit ACC ausgestatteten PKW das normale Führen des Fahrzeuges bei deaktiviertem ACC nicht von dem bei einem herkömmlichen Fahrzeug ohne diesem Assistenzsystem unterscheidet.

Fahrzeugdynamik sowie Bremspedal und Fahrzeugdynamik in die obere Stellung gebracht. Dadurch erhält der Fahrer wieder vollen Zugriff auf die Fahrzeugdynamik.

Anhand der Ausführungen zum Fahren mit ACC ist leicht ersichtlich, dass diese komplexe Funktionslogik für den Fahrer nicht immer transparent und verständlich ist. Ferner muss der Fahrer auch weiterhin, wie beim herkömmlichen Fahren, die Querführung erledigen, um das Fahrzeug auf der Straße zu halten und Kollisionen mit stehenden und bewegten Hindernissen zu vermeiden.

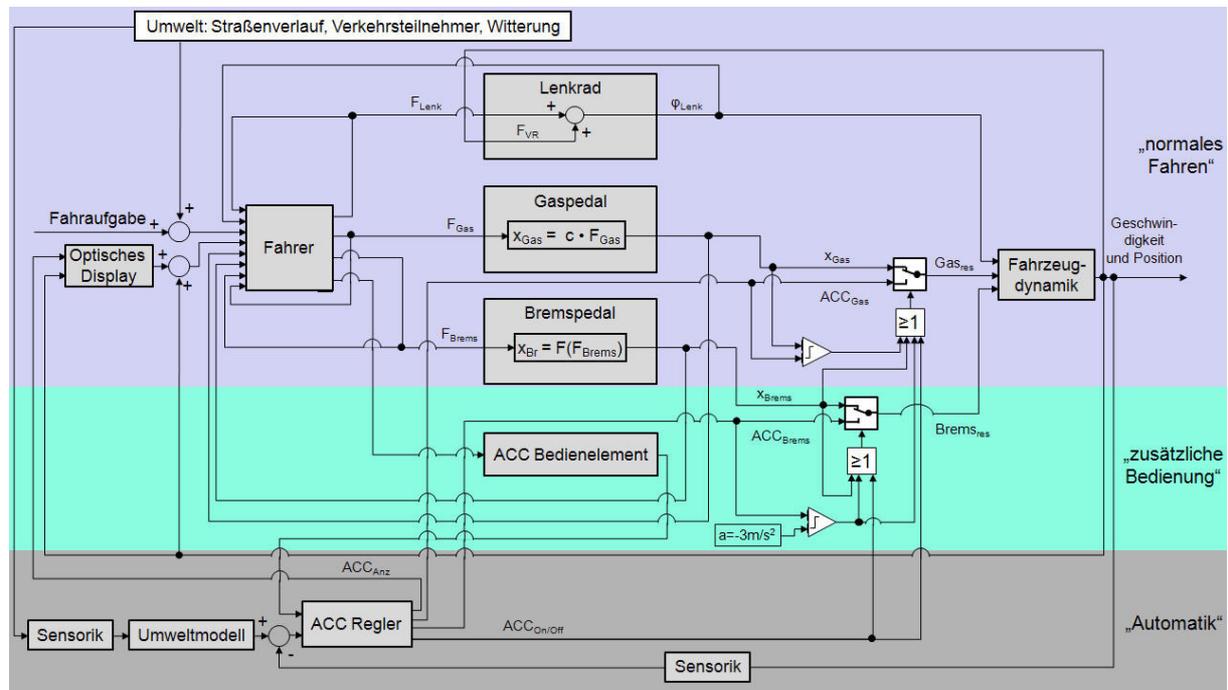


Abbildung 2.3-2: Fahrer- Fahrzeug Regelkreis für das Fahren mit einem ACC

Demzufolge ist die vorliegende ACC Auslegung ein wenig integratives Konzept. Vielmehr stellt es eine „entweder Fahrer oder Assistenzsystem Realisierung“ dar, bei der durch das Umlegen der Schalter zwischen Gas- bzw. Bremspedal und Fahrzeugdynamik entschieden wird (siehe Abbildung 2.3-2), wer von den beiden die Längsführung des Fahrzeuges regelt. Ist das ACC aktiviert, drängt es den Fahrer in eine rein beobachtende Funktion. Klassifiziert man das ACC hinsichtlich des Automatisierungsgrades nach dem in Tabelle 2.3-2 abgebildeten Schema nach *Endsley & Kiris (1995)*, ist der Abstandsregeltempomat bzgl. der Längsführung eine „überwachte Automatik“. Dieser mit Stufe „4“ zweithöchste Grad der Automatisierung bedeutet, dass die Maschine, also das ACC, entscheidet und handelt, der Mensch lediglich Vetorecht besitzt.

Aus diesem hohen Grad an Automatisierung resultieren die nachstehend aufgeführten typischen Automatisierungsprobleme (nach *Endsley & Kiris (1995)*, *Bainbridge (1987)*, *Parasuraman (1979)*):

- Übungsverlust
- Vigilanzproblematik wegen Unterforderung
- Verlust des Situationsbewusstseins
- Übernahmeproblematik
- Gefahr des übermäßigen Vertrauens in die Automatik („Overreliance“)

Tabelle 2.3-2: Automatisierungsstufen und Grad der Kontrolle von Mensch und Maschine

Grad der Automatisierung		Rollen	
		Mensch	Maschine
Keiner	1	Entscheiden, Handeln	--
Entscheidungsunterstützung	2	Entscheiden, Handeln	Vorschlagen
Zustimmungspflichtige Automatisierung	3	Zustimmen	Entscheiden, Handeln
Überwachte Automatik	4	Veto	Entscheiden, Handeln
Vollautomatisierung	5	--	Entscheiden, Handeln

Neben diesen allgemein bekannten Schwierigkeiten bei der Automatisierung, deckt eine Felduntersuchung von *Lange (2007)* speziell für das ACC gültige Probleme auf, die sich aus den Sensoreinschränkungen und der mangelnden Antizipationsfähigkeit des Regelalgorithmus ergeben. Im Rahmen dieser Studie wird für definierte Szenarien das normative Fahrerverhalten mit dem Verhalten des ACC-Systems verglichen. Da der ACC-Sensor lediglich eine Reichweite von ca. 150m hat, reagiert das Assistenzsystem zwischen 5 und 10s später auf vorausfahrende Fahrzeuge als dies der Mensch tut. Ein weiteres Defizit ist die mangelnde Antizipationsfähigkeit des Reglers. Dies zeigt ein Szenario auf einer zweispurigen Autobahn: Ein zwischen 100 und 120 km/h schnelles Fahrzeug überholt einen LKW, schert danach vor diesem ein und macht die linke Spur wieder frei. Ein nachfolgender Fahrer erkennt frühzeitig, dass der linke Fahrstreifen gleich wieder frei sein wird und beschleunigt auf das bald die Spur wechselnde Fahrzeug zu. Das ACC dagegen wartet ab, bis der Spurwechsel vollständig vollzogen ist und beginnt erst dann mit dem Beschleunigungsvorgang. Durch dieses gegensätzliche Verhalten entsteht für den zeitlichen Beginn des Beschleunigungsvorgangs ein Unterschied von bis zu 6s. Ebenso wird in einem Szenario, das „fliegendes Überholen“ genannt wird, das Fahrerverhalten durch das ACC negativ beeinflusst. Hier fährt der Fahrer mit Differenzgeschwindigkeit auf ein Fahrzeug auf, um es dann zu überholen. Da das ACC nicht weiß, dass der Fahrer gleich die Spur wechseln wird, um das vorausfahrende Fahrzeug zu überholen, bremst das System ab, um einen sicheren Abstand einzuhalten. Nachdem der Fahrer dieses Reglerverhalten gelernt hat, schert er bei den weiteren Überholvorgängen viel eher aus, um nicht unnötig abgebremst zu werden und besetzt somit zu lange die andere Fahrspur.

Wie Untersuchungen von *Weinberger (2001)*, *Hogema et al. (1997)* oder *Nirschl & Eckl (1994)* ergeben, gibt es neben den aufgezeigten Problemen und Nachteilen aber durchaus positive Effekte des Abstandsregeltempomaten auf die Verkehrssicherheit. Demnach werden durch das Fahren mit ACC beispielsweise größere Sekundenabstände eingehalten und die Anzahl kritischer Sekundenabstände wird reduziert.

Die oben aufgedeckten Probleme und Schwachstellen, die eine derart starke Automatisierung der Fahraufgabe trotz nicht perfekter Sensorik und Regelalgorithmen, wie dies beim ACC der Fall ist, mit sich bringt, sind dennoch nicht von der Hand zu weisen. *Wickens et al. (2004)* fordern deshalb die Wahl eines geeigneten Automatisierungsgrades, falls die Automatik nicht perfekt funktioniert. Parallel dazu hat die vorangegangene Betrachtung der Assistenzsysteme, die sich auf dem Markt befinden und der Systeme, die bald auf den Markt kommen, gezeigt, dass diese singuläre Insellösungen mit einer jeweils eigenen Fahrer-Fahrzeug

Interaktionsstrategie darstellen, sodass diese Einzelsysteme nur schlecht zur Gewinnung sicherheitstechnischer Synergieeffekte miteinander kombiniert werden können. Ferner sieht man an Assistenzsystemen wie Actice Cruise Control, Lane Keeping Assistant, Lane Departure Warning, Spurwechselassistent, Collision Warning und Collision Avoidance, dass eine strikte Trennung in Systeme zur Längs- und Querführungsassistenz vorgenommen wird. Diese technisch getroffene Unterteilung widerspricht der von *Bubb (1993a)* formulierten Tatsache, dass die Fahraufgabe eine einzige zweidimensionale Aufgabe ist. Ergebnisse von *Buld et al. (2002)* bestätigen dies. Demnach führt eine alleinige Unterstützung in der Längsführung durch ein ACC zu einer Abnahme der Spurhaltegröße.

Die Analyse macht klar, dass zukünftig ein Paradigmenwechsel stattfinden muss, um die Anzahl der Verkehrsunfälle mit Maßnahmen der aktiven Sicherheit effektiv zu reduzieren.

Im Folgenden wird ein Konzept für Fahrerassistenz vorgestellt, bei dem Mensch und Maschine ein gemeinsames System bilden, dessen Gesamtleistung es zu optimieren gilt. Dabei sollen die jeweiligen Stärken von Mensch und Technik so kombiniert werden, dass der Fahrer zur Erhöhung der Fahrsicherheit bei den in Kapitel 2.1 aufgezeigten Schwachstellen in der menschlichen Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung optimal unterstützt wird. Unabdingbar ist, dass anstelle der isolierten Einzellösungen mit einer strikten Trennung in Einzelsysteme zur Längs- oder Querführungsassistenz eine transparente Fahrer-Fahrzeug Interaktionsmetapher tritt, bei der die Systemaktionen jederzeit nachvollziehbar und verständlich sind. Dies hat neben einem positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit des Mensch-Maschine Systems, einen enormen Einfluss auf den Gefallens- und Akzeptanzaspekt. Ein ebenso wichtiges Kriterium ist es, den Fahrer durch die Unterstützung auf der einen Seite zu entlasten, ihn andererseits aber im Regelkreis zu halten, um nicht die vorab aufgeführten Automatisierungsprobleme hervorzurufen. Dafür muss der richtige Kompromiss zwischen den beiden Maxima „Keine Automatisierung“ und „Vollautomatisierung“ gefunden werden.

Aufbauend auf den bisherigen Ausführungen ergeben sich folgende Anforderungen an die Interaktionsmetapher:

- Nutzen der Stärken der Technik
- Nutzen der Stärken des Menschen
- Integration von Längs- und Querführung
- Richtiger Grad an Automatisierung
- Entlastung des Fahrers
- Einheitliche und transparente Fahrer-Fahrzeug Interaktion
- Berücksichtigung des Gefallens- und Akzeptanzaspektes
- Kein unnötiger Bedienungsaufwand zur Systemkonfiguration
- Eindeutiger Zugriff auf die Fahrzeugdynamik

In Abbildung 2.3-3 ist der Fahrer-Fahrzeug Regelkreis gezeigt, der den definierten Anforderungen Rechnung trägt. Die grundlegende Idee dieser Interaktionsstrategie ist es, nicht das Entweder-oder-Prinzip des ACCs zu verwenden, sondern ein kooperatives Zusammenspiel zwischen Fahrer und Assistenzsystem zu ermöglichen,

bei dem beide Partner ohne Übernahmetechnik im Dauereingriff sind. Bei dieser Form der Fahrerassistenz ist der Fahrer aktiv in den Regelkreis eingebunden und jederzeit „Herr der Lage“. Demnach entspricht der Grad der Automatisierung dieser Interaktionsmetapher nach Tabelle 2.3-3 der Stufe 2 und gilt somit als „Entscheidungsunterstützung“. Eine Untersuchung von *Endsley & Kiris (1995)* ergibt, dass das Situationsbewusstsein bei den Automatisierungsgraden 2 und 3 deutlich besser ist als auf der Stufe 4, auf der sich ein heutiges ACC befindet.

Wie Abbildung 2.3-3 erkennen lässt, werden für die Fahrer-Fahrzeug Interaktion die herkömmlichen Fahrzeugbedienelemente Gaspedal, Bremspedal und Lenkrad verwendet. Dies widerspricht zwar der vorstehend aufgeführten Tatsache, dass die Fahraufgabe eine einzige zweidimensionale Aufgabe ist, da demnach für eine systemergonomisch optimale Lösung auch ein einziges zweidimensionales Stellteil zum Führen des Fahrzeuges verwendet werden müsste (siehe hierfür *Bolte (1991)*, *Penka (2000)* und *Eckstein (2001)*). Es werden jedoch bewusst die herkömmlichen Fahrzeugbedienelemente verwendet, da dadurch eine schnellere Markteinführung und –durchdringung des im Folgenden vorgestellten Assistenzkonzeptes ermöglicht wird.

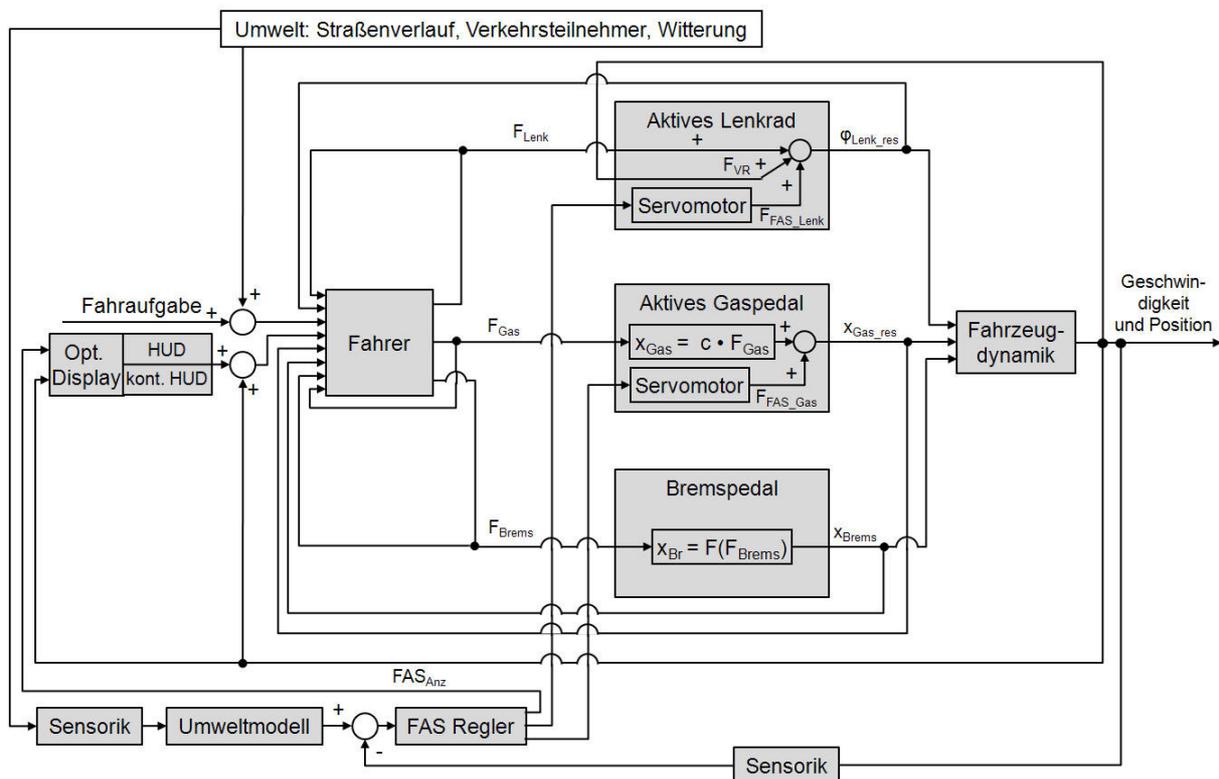


Abbildung 2.3-3: Fahrer- Fahrzeug Regelkreis für das unterstützte Fahren mit der einheitlichen Interaktionsmetapher

In Abbildung 2.3-3 ist zu sehen, dass sowohl der Fahrer als auch der FAS Regler Informationen über die Umwelt und die Fahrzeugdynamik aufnehmen. Beim Fahrer erfolgt dieser Vorgang über die am Fahrprozess beteiligten Sinneskanäle mit der in Kapitel 2.1 gezeigten Genauigkeit und Güte. Dem FAS Regler steht hierfür Sensorik, wie beispielsweise Kameras oder Radar- und Lidarsensoren zur Verfügung, anhand derer durch entsprechende Datenfusion ein Umweltmodell erstellt wird. Aufbauend auf diesen Eingangsgrößen und der daraus abgeleiteten Situationseinschätzung, werden auszuführende Handlungssequenzen abgeleitet.

Der generelle Ansatz der hier vorgestellten Interaktionsmetapher ist, dass der FAS Regler dem Fahrer sowohl seine Situationseinschätzung als auch seine abgeleiteten Handlungssequenzen über die optischen und haptischen Schnittstellen rückmeldet, jedoch nie am Fahrer vorbei in die Fahrzeugdynamik eingreift. Dabei zeigt ihm das System *haptisch an, was er tun soll* und erklärt ihm *optisch, warum er dies tun soll*.

Die haptische Interaktion mit dem Fahrer findet über das Lenkrad und das Gaspedal statt. Im Sinne der kooperativen Interaktion wirken sowohl der Fahrer, mit den Kräften F_{Lenk} und F_{Gas} , als auch der FAS Regler, mit Hilfe von entsprechenden Servomotoren, über einen gemeinsamen Summenpunkt auf die beiden Fahrzeugbedienelemente ein, woraus der Lenkwinkel $\phi_{\text{Lenk_res}}$ und der Gaspedalweg $x_{\text{Gas_res}}$ resultieren. Parallel zur haptischen Ausgabe wird dem Fahrer über den Kanal FAS_{Anz} eine situationsadäquate optische Rückmeldung gegeben, die die Handlung des FAS Reglers erklärt.

Über die beiden Interaktionskanäle werden dem Fahrer stets objektiv messbare Grenzen dargeboten. Die haptischen Rückmeldungen sind so ausgelegt, dass sich der Fahrer sowohl, was die Längsführung angeht als auch was die Querführung betrifft innerhalb der erlaubten Schranken frei bewegen kann und ihm das Erreichen der entsprechenden Grenze über einen Kraftanstieg verdeutlicht wird. Parallel dazu werden dem Fahrer die vorherrschenden Grenzen stets optisch vor Augen geführt.

Für die Akzeptanz eines solchen Systems ist es vor allem wichtig, dass der Fahrer entweder den Vorschlag des FAS Reglers akzeptieren oder ihn bewusst, durch das Aufbringen einer Zusatzkraft, überstimmen kann. Allerdings macht ihm das System nach der Übertretung, mit einer leicht erhöhten Rückstellkraft, den Regelverstoß permanent deutlich. Durch diese kooperative Interaktion zwischen Mensch und Technik bleibt die letzte Entscheidungsgewalt stets beim Fahrer. Diese Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine berücksichtigt den ergonomischen Lösungsvorschlag von *Bubb (1993a)* für so genannte *monitive*, also automatisierte, Systeme. *Monitiv* bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die beobachtende Rolle des Menschen. Demnach soll zur Vermeidung von Automatisierungsproblemen, wie *Monotonie* und *Übungsverlust*, „Handbedienung mit technischem Sicherheitskorridor“ eingesetzt werden.

Der Vorteil des vorgestellten Konzeptes liegt darin, dass dabei sowohl die technischen Fähigkeiten in der Messung von Führungsgrößen als auch die menschlichen Stärken, was die Situationseinschätzung und Antizipation betrifft, genutzt werden. Diese Redundanz macht das Mensch-Maschine System stabiler gegenüber technischen Erkennungsfehlern, menschlichen Messungenauigkeiten und äußeren Störgrößen. Ein weiterer Pluspunkt ist, dass durch den parallelen Dauereingriff von Fahrer und FAS-Regler über einen gemeinsamen Summenpunkt die am Beispiel des ACC aufgezeigte Übernahmeproblematik gänzlich entfällt. Ferner entspricht die multimodale Schnittstellengestaltung auch der Forderung von *Bubb (1993a)*, dass eine Rückmeldung immer über so viele Sinneskanäle wie möglich gegeben werden sollte. Zudem hat die multimodale Rückmeldung den Vorteil, dass sie dem Fahrer ein besseres Situationsgefühl liefert (*Bubb, 1977b* und *Holst, 1957*).

Nachfolgend zeigt eine Berechnung der Systemzuverlässigkeiten bzw. Fehlerwahrscheinlichkeiten der drei vorgestellten Fahrer-Fahrzeug Regelkreise, dass das vorgestellte Interaktionskonzept, bei dem Fahrer und Assistenzsystem kooperierend über einen Summenpunkt auf die Fahrzeugdynamik einwirken, zu einer

Erhöhung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems führt. Dafür werden für die Fehlerwahrscheinlichkeitsmaße der Systemelemente Fahrzeug, Fahrer und FAS Regler die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten Werte angenommen.

Tabelle 2.3-2: Fehlerwahrscheinlichkeitsmaße der Systemelemente Fahrzeug, Fahrer und FAS Regler

Fehlerwahrscheinlichkeit des Fahrzeuges:	$F_{\text{Fahrzeug}} = 10^{-5}$
(dies ist eine Annahme, die üblicherweise für heutige hochzuverlässige technische Systeme angemessen ist)	
Fehlerwahrscheinlichkeit des Fahrers:	$F_{\text{Fahrer}} = 10^{-3}$
(dies entspricht einer üblichen Annahme für hochgeübte Tätigkeiten)	
Fehlerwahrscheinlichkeit des FAS Reglers:	$F_{\text{FAS}} = 10^{-2}$
(diese Annahme trägt der Tatsache Rechnung, dass Fahrerassistenzsysteme beim heutigen Entwicklungsstand nur unter günstigen Umständen in der Lage sind die Situation hinreichend genau zu erkennen)	

Eine Übersicht über die vereinfachten Schaltbilder der drei vorgestellten Fahrer-Fahrzeug Regelkreise gibt Abbildung 2.3-4. Auf der Basis dieser drei Verschaltungen der Systemelemente wird für jeden Regelkreis die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit bestimmt.

Beim normalen nicht-assistierten Fahren handelt es sich um eine serielle Verschaltung von Fahrer und Fahrzeug. Die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit F_{normal} für das normale Fahren berechnet sich wie nachstehend gezeigt zu 10^{-3} .

$$\begin{aligned}
 F_{\text{normal}} &= 1 - (1 - F_{\text{Fahrer}}) \times (1 - F_{\text{Fahrzeug}}) \\
 &= 1 - (1 - 10^{-3}) \times (1 - 10^{-5}) \\
 &= 10^{-3}
 \end{aligned}$$

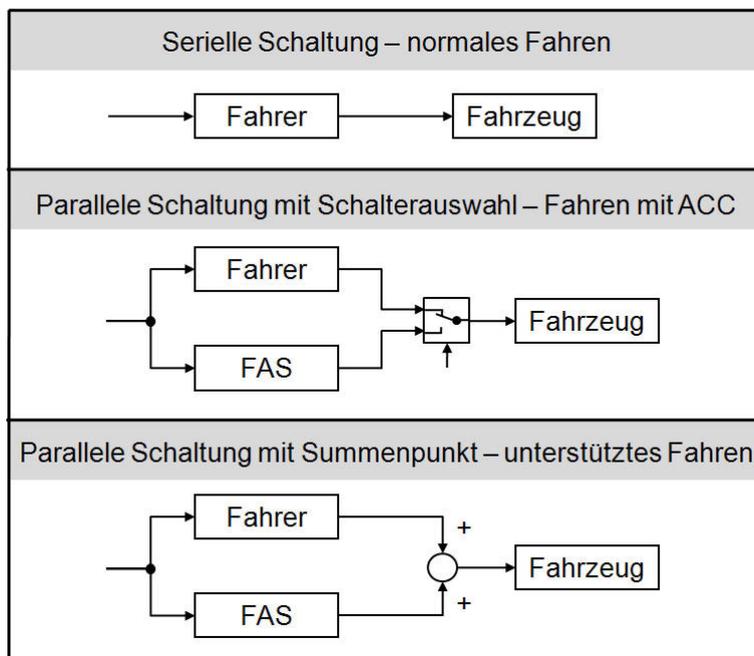


Abbildung 2.3-4: Übersicht über die drei vereinfachten Schaltbilder von normalem Fahren, Fahren mit ACC und dem unterstützten Fahren

Das Fahren mit dem ACC stellt eine parallele Schaltung mit Schalterauswahl dar. Bei dieser Form der Verschaltung werden die beiden Zweige Fahrer – Fahrzeug und FAS – Fahrzeug getrennt betrachtet. Der erste Zweig entspricht wieder dem normalen Fahren, für den sich eine Fehlerwahrscheinlichkeit $F_{\text{Fahrer - Fahrzeug}}$ von 10^{-3} errechnet. Der zweite gibt die Fehlerwahrscheinlichkeit für das Fahren mit dem ACC wieder, wofür sich ein Wert $F_{\text{FAS - Fahrzeug}}$ von 10^{-2} ergibt.

$$\begin{aligned} F_{\text{Fahrer - Fahrzeug}} &= 1 - (1 - F_{\text{Fahrer}}) \times (1 - F_{\text{Fahrzeug}}) \\ &= 1 - (1 - 10^{-3}) \times (1 - 10^{-5}) \\ &= 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{FAS - Fahrzeug}} &= 1 - (1 - F_{\text{FAS}}) \times (1 - F_{\text{Fahrzeug}}) \\ &= 1 - (1 - 10^{-2}) \times (1 - 10^{-5}) \\ &= 10^{-2} \end{aligned}$$

Die unabhängige Berechnung der Fehlerwahrscheinlichkeit der beiden Zweige lässt die Zuverlässigkeit der Schalterauswahl außer Acht. Eine Berücksichtigung der Schalterauswahl hätte jedoch ohnehin nur zur Folge, dass die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit, die nie geringer sein kann als der schlechteste Zweig, weiter zunehmen würde. Selbst unter der Annahme einer idealen Schalterauswahl ergibt sich für die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit ein Wert, der nur minimal kleiner als 10^{-2} ist.

Bei dem in Abbildung 2.3-3 dargestellten unterstützten Fahren liegt eine parallele Verschaltung mit Summenpunkt vor. Die Berechnung der Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit $F_{\text{Summenpunkt}}$ ergibt einen Wert von 2×10^{-5} .

$$\begin{aligned} F_{\text{Summenpunkt}} &= 1 - (1 - F_{\text{Fahrer}} \times F_{\text{FAS}}) \times (1 - F_{\text{Fahrzeug}}) \\ &= 1 - (1 - 10^{-5}) \times (1 - 10^{-5}) \\ &= 2 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Dies zeigt, im Gegensatz zu der Form der Verschaltung beim ACC, dass nur durch den Dauereingriff von Fahrer und Assistenzsystem, ohne das Vorhandensein einer Übernahmetechnik, das redundante Vorhandensein beider Systeme wirksam wird.

Wie die Berechnung der Gesamtfehlerwahrscheinlichkeiten für die drei unterschiedlichen Schaltungsarten zeigt, nimmt diese bei der vorgestellten Form der Fahrerassistenz, bei der Fahrer und Assistenzsystem parallel arbeiten und über einen gemeinsamen Summenpunkt auf die Fahrzeugdynamik einwirken, den kleinsten Wert an. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass dieses System die höchste Zuverlässigkeit aufweist. Dagegen hat das System mit einer parallelen Schaltung mit Schalterauswahl, was dem Fahren mit dem ACC entspricht, paradoxerweise die höchste Fehlerwahrscheinlichkeit und somit die geringste Zuverlässigkeit.

2.4 Verknüpfung von Lösungsansatz und Bedarf an Assistenz

In diesem Abschnitt wird, aufbauend auf ergonomischen Grundlagen der Mensch-Maschine Interaktion sowie auf Erkenntnissen aus der Forschung im Bereich der Fahrerassistenzsysteme, gezeigt, wie mit der vorgestellten kooperativen Interaktionsmetapher, die in Kapitel 2.1 abgeleiteten Bedarfe an Fahrerassistenz gedeckt werden können. Die konkrete hardware-, software- und regelungstechnische Umsetzung der nachfolgend beschriebenen Lösungen und deren Integration in den Fahrsimulator wird in Kapitel 3.3 erläutert.

Wie in Abbildung 2.3-3 zu sehen ist, erfolgt die Interaktion mit dem Fahrer über den optischen und haptischen Sinneskanal. Dabei ist die grundlegende Idee, dem Fahrer *haptisch* anzuzeigen, *was er tun soll* und ihm diesen Handlungsvorschlag *optisch* zu erklären. Dafür stehen bei dem vorliegenden Interaktionskonzept als haptische Schnittstellen das Gaspedal und das Lenkrad zur Verfügung, die zu diesem Zweck als so genannte aktive Bedienelemente (siehe hierzu auch *Bubb (2001)* und *Penka (2000)*) ausgeführt werden müssen.

Bei den optischen Ausgaben zur Erklärung der Handlungsvorschläge handelt es sich um Rückmeldungen für die primäre Fahraufgabe. Daher empfiehlt sich als optisches Anzeigeelement das Head-Up-Display (HUD). In diesem kann der Fahrer, wie *Gengenbach (1997)* am Beispiel von Geschwindigkeitsinformationen zeigt, Rückmeldungen mit durchschnittlich 454ms fast 200ms schneller ablesen, als wenn sie in einer herkömmlichen Tachometeranzeige dargestellt werden. Weiterhin wird das HUD, wie von *Weintraub & Ensing (1992)* vorgeschlagen, zweigeteilt. In dem einen Teil, der weiterhin als HUD bezeichnet wird, können dem Fahrer Status- und Zustandsinformationen, wie beispielsweise die aktuelle Istgeschwindigkeit, angezeigt werden. Der andere Teil wird nach *Bubb (1975)* als „kontaktanaloges HUD“ bezeichnet. Dieser Bereich wird verwendet, um der Realität Informationen in augmentierter Form zu überlagern. Beispiele für derartige augmentierte Anzeigen werden in *Assmann (1985)* und *Gorjestani et al. (2003)* gezeigt. In der Arbeit von *Assmann (1985)* wird eine Bremsweganzeige der realen Umgebung kontaktanalog überlagert. Dabei sieht der Fahrer über das kontaktanaloge HUD in der entsprechenden Entfernung, in der das Fahrzeug bei einer Vollbremsung zum Stehen kommen würde, einen Balken auf der Straße liegen.

Die Analyse der menschlichen Informationsaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe beim Führen eines Fahrzeuges in Kapitel 2.1, hat hinsichtlich der Bildung einer Sollgeschwindigkeit sowie dem Erkennen von Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen folgenden Assistenzbedarf ergeben:

- Optimale Rückmeldung der Istgeschwindigkeit
- Anzeige der Sollgeschwindigkeit
- Voranzeige von Änderungen in der Sollgeschwindigkeit
- Anzeige von relevanten Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen zur Verbesserung des Situationsbewusstseins

Wie in Kapitel 2.1 demonstriert wird, ist eine optimale Rückmeldung der Istgeschwindigkeit unabdingbar, damit der Fahrer diese leicht wahrnehmen und mit seiner innerlich gebildeten Führungsgröße für die Geschwindigkeit vergleichen kann. Nach *Gish & Staplin (1995)* erfolgt die Darstellung im HUD idealerweise in einer

Entfernung von 2,5 bis 4m vor dem Fahrzeug und 6 bis 10° unterhalb der Horizontalen. Nach *Ward, Parkes, & Crone (1995)* bleibt dort die Hintergrundfarbe relativ konstant (grauer Fahrbahnbelag) und es befinden sich nur selten andere Objekte in diesem Bereich. Ferner sollten die dargestellten Zeichen zur Sicherstellung der Lesbarkeit nach *DIN EN ISO 15008:2003* eine Mindesthöhe von 24 Bogenminuten oder mehr haben.

Die Analyse in Kapitel 2.1 ergibt, dass das Erkennen von Verkehrszeichen und das Präsentieren der über die Schilder aufgenommenen Information für den Menschen einen enormen Aufwand mit hohem Fehlerpotential darstellt. Deshalb sollten dem Fahrer die relevanten Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen in intuitiver und schnell ablesbarer Form angezeigt werden. Nach *Green et al. (1994)*, *Dingus et al. (1997)* und *Campbell et al. (2004)* hat die Darstellung solcher Informationen in Symbolform zu erfolgen. Die Symbole sind dabei den realen Verkehrszeichen in Form und Aussehen nachzuempfinden. Das garantiert neben einem schnellen Ablesen auch eine sehr hohe Wiedererkennungssicherheit. Da es sich bei den Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen um Informationen für die primäre Fahraufgabe handelt, sollten sie, ebenso wie die Istgeschwindigkeit, im HUD rückgemeldet werden. Damit der Fahrer mit einer einzigen und möglichst kurzen Blickabwendung von der Fahraufgabe sowohl diese Informationen als auch die Istgeschwindigkeit aufnehmen kann, sollten die Anzeigen gruppiert werden. Da es sich bei den Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen aber lediglich um statische Zustandsinformationen handelt, können sie weiter entfernt von der Horizontalen, unterhalb der sich dynamisch verändernden Istgeschwindigkeit, abgebildet werden. Es ist allerdings zu beachten, dass der Fahrer nicht mit zu viel und unnötiger Information überflutet werden darf, damit der Sicherheitsgewinn durch die Anzeige nicht wieder durch deren Ablenkungspotential von der Fahraufgabe kompensiert wird. Deshalb muss gezielt untersucht werden, welche Informationen für den Fahrer sinnvoll und wichtig sind und wie viel gleichzeitig angezeigt werden darf.

Die Analyse zeigt, dass hinsichtlich der Geschwindigkeitshaltung Assistenzbedarf bei der Bildung der Führungsgröße (Sollgeschwindigkeit) sowie bei deren rechtzeitiger und vorausschauender Anpassung besteht. Als Führungsgröße wird die durch Verkehrszeichen vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit verwendet. Andere Ansätze, wie beispielsweise das v_{85} , scheinen wenig zielführend. Die v_{85} beschreibt für einen Streckenabschnitt die Geschwindigkeit, die 85% der Fahrzeugführer bei nasser, sauberer Straße fahren oder unterschreiten. Ergebnisse von *König et al. (2002)* und *Marstaller et al. (2002)* ergeben, dass von den Probanden eine v_{85} -Regelung für die Sollgeschwindigkeit eines ACC vor allem dann kritisch gesehen wird, wenn sie eine höhere Geschwindigkeit als die gesetzlich vorgeschriebene vorschlägt. Ferner zeigen deren Messungen einen deutlichen Unterschied zwischen der berechneten v_{85} und der von Probanden tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit. Der Vorteil in der Verwendung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit als Führungsgröße für die Geschwindigkeitshaltung, und liegt darin, dass sie, im Gegensatz zur v_{85} , eine für den Fahrer leicht nachzuvollziehende Größe ist, da ihm das Fahrzeug etwas vorschlägt, was ohnehin durch Verkehrszeichen vorgegeben wird.

Entsprechend der Interaktionsmetapher wird dem Fahrer die Führungsgröße für die Geschwindigkeitshaltung optisch und haptisch rückgemeldet. Die optische Anzeige der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erfolgt, wie bei den Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen, in Symbolform im HUD. Diese beiden Werte sollten möglichst nahe

beieinander dargestellt werden, da ein besonders starker Zusammenhang zwischen der aktuellen Istgeschwindigkeit und der Sollgeschwindigkeit besteht.

Da der Fahrer die Geschwindigkeit über das Gaspedal regelt, erfolgt über dieses die haptische Rückmeldung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Hinsichtlich der Kraft der haptischen Ausgabe sind zwei Punkte zu beachten. Sie muss zum einen so hoch sein, dass sie sehr gut wahrgenommen wird, zum anderen darf sie jedoch nicht zu stark sein, damit sie der Fahrer noch komfortabel überstimmen kann.

Nach *Schmidtke (1989b)* können Frauen im Mittel maximal 329N und Männer durchschnittlich höchstens 458N in Richtung des in Abbildung 2.4-1 dargestellten Kraftvektors aufbringen. Die maximal zulässige Betätigungskraft für ein Gaspedal liegt jedoch nach *Schmidtke (1989a)* nur bei 90N. Messungen an einem BMW E60 Seriengaspedal ergeben eine maximale Betätigungskraft von ca. 30N. Somit wird für die Stärke der haptischen Rückmeldung der von *Schmidtke (1989a)* als Maximalwert für die Betätigung eines Gaspedals angegebene Wert von 90N gewählt. Dieser Kraftsprung von 60N sollte damit vom Fahrer einerseits deutlich wahrgenommen werden, andererseits sollte der Vorschlag des Fahrzeuges dadurch auch noch komfortabel übersteuert werden können.

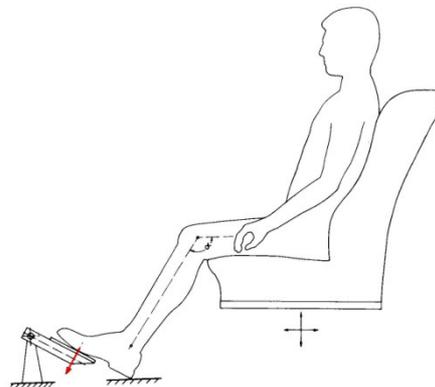


Abbildung 2.4-1: Positionierung bei der Stellkraftüberprüfung des rechten menschlichen Fußes; Neigungswinkel des Knies $\alpha = 120^\circ$; gemessener Kraftvektor rot eingezeichnet (nach Rühmann & Schmidtke, 1985)

Die haptische Rückmeldung am Gaspedal wird idealerweise so ausgelegt, dass der Fahrer seinen Fuß an diesem Kraftsprung, oder auch Druckpunkt, anlehnen kann und dadurch regelkonform geführt wird. So hält er ohne großes Zutun stets die erlaubte Geschwindigkeit ein, bleibt aber dennoch im Regelkreis und kann sofort auf mögliche Erkennungsfehler des Systems reagieren. Empfindet er die vorgeschlagene Geschwindigkeit als zu hoch, braucht er nur den Fuß vom Druckpunkt zurückzunehmen und kann so die Geschwindigkeit innerhalb der erlaubten Grenzen nach seinen eigenen Vorstellungen regeln. Ebenso ist ein Übertreten jederzeit durch ein Überdrücken des Druckpunkts möglich. Die Kraft-Weg-Kennlinie ist dabei so auszulegen, dass nach dem Überdrücken die Kraft fast wieder auf das Ausgangsniveau zurückgeht. Ein leicht höheres Kraftniveau ist jedoch sinnvoll, um dem Fahrer zu verdeutlichen, dass er gerade gegen die gesetzlichen Vorgaben verstößt. *Hjälmdahl et al. (2002)*, *Várhelyi et al. (2003)* und *Hjälmdahl (2004)* untersuchten in einem Realversuch, im Stadtgebiet von Lund, den Einfluss eines Gaspedals, dessen Gegendruck ansteigt, wenn der Fahrer Gefahr läuft, das erlaubte Geschwindigkeitslimit zu überschreiten. Hierzu wurde das komplette Stadtgebiet von Lund inklusive sämtlicher Geschwindigkeitsbeschränkungen fein

digitalisiert. Die Experimente zeigen, dass das „Active Accelerator Pedal AAP“ einen positiven Einfluss auf das Fahrerverhalten hat. Das Fahren mit dem AAP hat zur Folge, dass die mittlere Geschwindigkeit abnimmt und die Standardabweichung der Geschwindigkeit reduziert wird.

Mit Hilfe des beschriebenen Druckpunkts kann auch die Voranzeige von Änderungen in der erlaubten Höchstgeschwindigkeit erfolgen. Dazu kann sich die Position des Druckpunktes in entsprechender Entfernung vor einer Änderung der Führungsgröße so anpassen, dass eine rechtzeitige Angleichung der Istgeschwindigkeit erfolgt, wenn der Fahrer den Vorschlag des aktiven Gaspedals annimmt. Für die Transparenz dieser Systemaktionen ist jedoch eine parallele optische Ausgabe unabdingbar, die die Handlung des Fahrzeuges erläutert, damit der Fahrer diese nachvollziehen kann und ihr auch folgt. Diese Rückmeldung sollte wieder in Symbolform im HUD erfolgen.

In gleicher Art und Weise kann die Fahrer-Fahrzeug Interaktion gestaltet sein, wenn das Assistenzsystem eine Sollgeschwindigkeit vorschlägt, die von der Höchstgeschwindigkeit abweicht, die durch die Verkehrszeichen vorgegeben ist. Dies kann beispielsweise vor einer starken Kurve oder auf nasser Fahrbahn der Fall sein. Dann muss parallel zu der haptischen Ausgabe, die dem Fahrer zeigt, dass er die Geschwindigkeit reduzieren sollte, eine optische Rückmeldung erfolgen, die ihm erklärt, warum er so handeln soll. Wie derartige Symbole zu gestalten sind, kann man der Arbeit von *Peter (2005)* entnehmen.

Da der Fahrer neben der Geschwindigkeit auch den Abstand über das Gaspedal regelt, kann er damit auch bei der Abstandshaltung unterstützt werden. Die Analyse in Kapitel 2.1 hat folgenden Assistenzbedarf aufgedeckt:

- Sicheres Heranführen an den Sollabstand
- Anzeige des einzuhaltenden Sollabstandes
- Schnelle Rückmeldung über sich aufbauende Differenzgeschwindigkeiten

Diese drei Bedarfe können über den erläuterten Druckpunkt im Kraft-Weg Verlauf des Gaspedals gedeckt werden. Nähert sich der Fahrer an ein vorausfahrendes Fahrzeug an, kann er über den Druckpunkt mit einer sicheren Differenzgeschwindigkeit an dieses herangeführt werden. Befindet er sich in Folgefahrt, kann über den Druckpunkt ein sicherer Sollabstand zum Vorderfahrzeug rückgemeldet werden. Baut sich bei Folgefahrt, durch ein Abbremsen des Vorausfahrenden, eine Differenzgeschwindigkeit auf, kann diese dem Fahrer über ein Herauskommen des Druckpunktes sehr schnell rückgemeldet werden. Realversuche von *Brockmann et al. (1995)* zeigen, dass beim Fahren mit einem aktiven Gaspedal, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, der minimale und mittlere Sekundenabstand zum Vorausfahrenden steigen. Keine Verbesserung der Abstandshaltgüte für das Fahren mit dem aktiven Gaspedal findet dagegen *Mulder (2007)* in einem statischen Fahrsimulator.

Nachdem dem Fahrer über das Gaspedal der Sollabstand haptisch vorgegeben wird, muss dieser, zum besseren Verständnis und zur Überwachung der Regelvorgabe, auch optisch rückgemeldet werden. Nach *Bubb & Bolte (1990)* hat eine Anzeige so zu erfolgen, dass die angezeigte Größe mit aktuellen Zustandsgrößen der Fahrt unmittelbar verglichen werden kann. Der Sollabstand zeigt sich im optischen Umfeld als Weg, weshalb er dem Fahrer auch in Form einer Distanz angezeigt werden muss, das heißt, er ist im kontaktanalogen HUD darzustellen. Dieses bietet die

Möglichkeit, den Sollabstand der Realität direkt zu überlagern. Untersuchungen von *Assmann (1985)* über den Einfluss einer kontaktanalogen Bremsweganzeige auf das Fahrerverhalten, bei denen der Bremsweg als Balken über ein kontaktanalogenes HUD angezeigt wurde, zeigen ein insgesamt positives Ergebnis. Demnach werden mit der Anzeige bei Kolonnenfahrt die ungenügenden Abstände um bis zu 30% vergrößert und insgesamt wird häufiger und länger sicher gefahren.

Die kontaktanaloge Anzeige des Sollabstandes bietet dem Fahrer die Möglichkeit, die Vorgaben des Gaspedals optimal zu überwachen. Stimmen die Vorgaben des Gaspedals bei Folgefahrt, muss der kontaktanaloge Sollabstandsbalken direkt am Heck des vorausfahrenden Fahrzeuges liegen. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Fahrer bei der hier skizzierten Interaktionsmetapher immer im Regelkreis bleibt. Dadurch werden neben den technischen Stärken der sehr genauen Abstands- und Differenzgeschwindigkeitsmessung auch die menschlichen Stärken der frühzeitigen Situationserkennung und Antizipation mit genutzt. So kann der Fahrer beispielsweise, im Gegensatz zum Fahren mit ACC, trotz aktivierter Abstandshalteassistentz, frühzeitig auf ein vorausfahrendes oder einscherendes Fahrzeug reagieren, indem er einfach den Fuß vom Gaspedal nimmt. Es besteht auch die Möglichkeit, dass er durch ein Übersteuern des Druckpunktes auf ein vorausfahrendes Fahrzeug zubeschleunigt, wenn der Fahrer antizipiert, dass dieses bald die Fahrspur wechseln wird.

Weiterhin kann die kontaktanaloge Anzeige des Sollabstandes dazu verwendet werden, um den Fahrer bei der Querführung zu unterstützen. Nach der Analyse in Kapitel 2.1 besteht diesbezüglich folgender Assistenzbedarf:

- Unterstützung beim Einschätzen der Querablage
- Technische Voranzeige der Nachführgröße
- Verhindern des Abkommens von der Fahrbahn

Koppelt man den kontaktanalogen Abstandsbalken mit der Dynamik des Fahrzeuges, kann man über diesen die Voranzeige der Nachführgröße realisieren. Hierzu muss die Breite des Balkens gleich der Breite des Fahrzeuges sein. Außerdem muss der Balken entsprechend dem aktuellen Bahnradius, auf dem sich das Fahrzeug befindet, und der momentanen Istgeschwindigkeit seitlich ausgelenkt werden. Dadurch kann der Fahrer immer im zeitlichen Abstand des Sollabstandes sehen, wo sich das Fahrzeug mit dem aktuellen Lenkwinkel hinbewegen wird. Ferner wird er durch diese Anzeige auch bei der Einschätzung der seitlichen Ablage unterstützt. Möglicherweise ist es hierfür sinnvoll, die seitlichen Begrenzungslinien des Abstandsbalkens bis zu den beiden vorderen Außenkanten des Fahrzeuges zu verlängern. Die beiden dadurch entstehenden Linien, die den so genannten Fahrschlauch seitlich begrenzen, müssen entsprechend der Bahnkurve, auf der sich das Fahrzeug befindet, gekrümmt werden. Dadurch kann der Fahrer stets die vom eigenen Fahrzeug überfahrene Fläche sehen. Innerhalb dieser dürfen sich keine sich bewegenden oder stehenden Hindernisse befinden, da es ansonsten zu einer Kollision mit diesen kommt.

In der Luftfahrtindustrie wird bereits seit Jahren ein ähnlicher Ansatz verfolgt. Allerdings wird dort mittels eines so genannten Flugschlauches der Pilot bei der Wegfindung und beim Manövrieren unterstützt (siehe hierzu auch *Bowman, 2004, Mader, 2004, Bailey, 2006* und *Kramer, 2006*). Dabei gibt der über ein HUD kontaktanalogen dargestellte Flugschlauch die Trajektorie vor, die der Pilot in

Abhängigkeit vom Flugzeugtyp und dessen Flugeigenschaften fliegen soll. Es hat sich gezeigt, dass diese Darstellung eine Verbesserung der Querführung und eine Verringerung der subjektiv empfundenen Belastung bewirkt.

Wie gezeigt, wird der Fahrer durch die kontaktanaloge Anzeige einerseits bei der Einschätzung der Querablage unterstützt. Andererseits wird ihm darüber eine Voranzeige der Nachführgröße gegeben. Somit muss noch das ungewollte Abkommen von der Fahrspur verhindert werden. Da der Fahrer seine Position auf der Fahrspur über das Lenkrad regelt, sollte darüber auch die haptische Spurhalteassistentz erfolgen. Die Grundidee der hier vorgestellten Interaktionsmetapher ist es, die haptischen Rückmeldungen so auszulegen, dass sich der Fahrer innerhalb der erlaubten Schranken frei bewegen kann und ihm das Erreichen der entsprechenden Grenze über einen Kraftanstieg verdeutlicht wird.

In der einschlägigen Fachliteratur kann man im Allgemeinen zwei Arten von Regelstrategien zur Spurhalteunterstützung unterscheiden. Nach der Klassifikation von *Penka (2001)* sind dies zum einen so genannte „Permanentsysteme“, die sofort, bei kleinen Abweichungen vom Sollkurs, korrigierend eingreifen. Zum anderen gibt es die als „Korridorsysteme“ bezeichneten Varianten. Bei diesen hat der Fahrer einen gewissen Freiraum oder auch Korridor, um den vom System berechneten Sollkurs, in dem er sich frei bewegen und seine laterale Position selbstständig wählen kann. Erst an den Rändern erfolgt ein Systemeingriff, der entweder in Form eines Lenkmomentes oder einer Lenkradvibration ausgeführt wird. In Abbildung 2.4-2 sind diese beiden Grundstrategien einander gegenübergestellt.

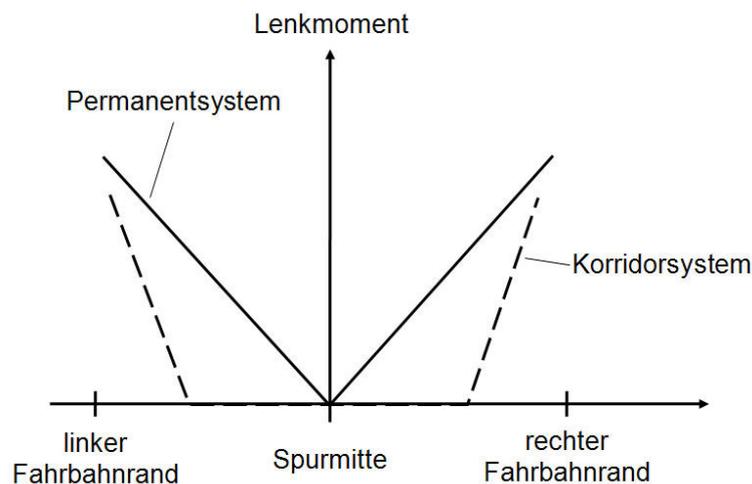


Abbildung 2.4-2: Vergleich der beiden Regelstrategien „Korridorsystem“ und „Permanentsystem“

Marstaller (2001) hat diese beiden Regelstrategien in einem Experiment an einem statischen Simulator miteinander verglichen. Dabei findet er für das „Permanentsystem“ im Vergleich zum „Korridorsystem“ bessere Time to Line Crossing Werte und Vorteile in der mittleren Querabweichung. Bei der subjektiven Probandenbewertung schneidet jedoch das „Korridorsystem“ besser ab.

Weitere Untersuchungen von *Schuhmann & Naab (1992)* und *Schuhmann (1994)*, im Realversuch auf einem Testgelände, bestätigen die von Marstaller gefundenen Ergebnisse zur Akzeptanz der Regelstrategien. In diesen beiden Feldexperimenten wird ebenfalls das „Korridorsystem“ gegenüber dem „Permanentsystem“ bevorzugt.

Eine umfangreiche Studie von *Mann (2007)*, in deren Rahmen ein integrierter Querführungsassistent zur Spurhalte- und Spurwechselassistentz in mehreren Ausprägungen im Realversuch untersucht wird, ergibt ebenfalls deutliche Akzeptanzvorteile für die Auslegungen mit Toleranzkorridor. Es zeigt sich auch, dass die Akzeptanz eines solchen Systems nachweisbar sinken kann, je autonomer es agiert.

Somit empfiehlt sich als Regelstrategie die Auslegung mit Toleranzkorridor, obwohl diese in der Untersuchung von *Marstaller (2001)* leichte Nachteile gegenüber dem „Permanentsystem“ in Bezug auf die Time to Line Crossing und die mittlere Querabweichung aufweist. Damit ein Spurhalteassistenzsystem jedoch seine positive Wirkung entfalten kann, muss es vom Fahrer genutzt werden und diese Nutzung hängt wiederum in sehr starkem Maß von der Akzeptanz ab.

Es bleibt noch die Frage, wie die haptische Rückmeldung des Korridorsystems bei Erreichen des Korridorrandes ausgelegt sein soll. Dabei stehen als mögliche Ausgabevarianten das Lenkmoment und die Lenkradvibration zu Verfügung. Die bereits genannte Untersuchung von *Mann (2007)* ergibt, dass Probanden gleich schnell auf Lenkmoment und Lenkradvibration reagieren und keine Präferenz für eine der Varianten vorhanden ist. *Sato et al. (1998)* stellen jedoch im Rahmen ihres Experiments zu verschiedenen Spurhalteassistenzsystemen fest, dass der Nachteil der taktilen Warnung über eine Lenkradvibration ist, dass damit keine Richtungsinformation im Sinne einer Handlungsanweisung an den Fahrer übermittelt werden kann. Aufgrund dieses Nachteils fällt für die hier vorliegende haptische Spurhalteunterstützung die Entscheidung auf das gerichtete Lenkmoment als Ausgabevariante.

Diese Regelstrategie mit Toleranzkorridor und Lenkmoment am Korridorrand entspricht auch der Grundidee der hier vorgestellten Interaktionsmetapher, da sich der Fahrer dabei innerhalb objektiver Grenzen frei bewegen kann und ihm erst deren Erreichen spürbar rückgemeldet wird. Damit das Lenkmoment vom Fahrer auch sicher gespürt wird, sollte nach *Buschardt (2003)* die Lenkmomentänderung deutlich größer als 0,8Nm sein.

Die haptische Rückmeldung am Lenkrad wird, wie auch bei den haptischen Ausgaben über das Gaspedal, zum besseren Verständnis mit einer optischen Anzeige kombiniert. Hierfür wird, wie von *Marstaller et al. (2002)* vorgeschlagen, eine Pfeilsymbolik verwendet, bei der die Spitze des erscheinenden Pfeils in die Richtung der zu erfolgenden Lenkkorrektur zeigt. Als Anzeigeort empfiehlt sich die jeweilige Seite neben dem kontaktanalogen Abstandsbalken, über den die Voranzeige der Nachführgröße erfolgt. Dadurch kann der Fahrer, ohne Blickabwendung von der Fahraufgabe, in intuitiver Form erkennen, warum das System von ihm eine Lenkkorrektur einfordert.

Sollte es trotz der Fahrerhilfen, die in diesem Kapitel beschrieben sind, dennoch zu einer unfallkritischen Situation kommen, steht neben einem autonomen Eingriff in die Fahrzeugführung noch der akustische Sinneskanal zur Verfügung. Über diesen kann der Fahrer sehr effektiv auf eine vorherrschende Gefahrensituation aufmerksam gemacht werden. Ein Feldexperiment von *Pohl & Ekmark (2003)* zeigt jedoch, dass akustische Rückmeldungen, besonders vor dem Akzeptanzaspekt, nur sehr gezielt und bewusst einzusetzen sind. Ihre Studie ergibt, dass akustische Ausgaben zur Spurhalteunterstützung als störend empfunden werden. Parallel zu den akustischen Warnausgaben können im HUD dargestellte Warnsymbole in kurzer Zeit

verdeutlichen, warum eine Gefahrensituation besteht. Nach *Yoo et al. (1999)* und *Tsimhoni (2000)* sollten diese 0° unter der Horizontalen und 5° links oder rechts von der zentralen Sicht angezeigt werden. Um die Aufmerksamkeit des Fahrers auf ein Symbol zu lenken, hat dieses nach *Lerner (1996)* mit einer Frequenz von 5Hz zu blinken. Simultan dazu kann über die Fahrzeugbedienelemente, die als aktive Stellteile ausgeführt sind, bereits die vom Fahrer nötige Aktion zur Entschärfung der Situation angestoßen werden. So kann das aktive Gaspedal beispielsweise bei einem drohenden Auffahrunfall den rechten Fuß des Fahrers vom Gaspedal wegdrücken und das nötige Umsetzen auf das Bremspedal herbeiführen. Gleichzeitig kann das aktive Lenkrad über ein gezieltes Lenkmoment schon eine möglicherweise nötige Ausweichreaktion veranlassen.

Das vorstehende Kapitel hat, aufbauend auf der Analyse der Unterstützungsbedarfe des Menschen und der Unfalldatenanalyse sowie der Defizite heutiger Assistenzsysteme, eine Interaktionsmetapher für ein Unterstützungssystem vorgestellt, bei dem der Fahrer stets „Herr der Lage“ bleibt und immer aktiv in den Regelkreis eingebunden ist. Dabei zeigt das System dem Fahrer *haptisch an, was er tun soll* und erklärt ihm *optisch, warum er dies tun soll*. Es greift aber nicht an ihm vorbei in die Fahrzeugdynamik ein. Bei dieser Auslegung bilden Mensch und Maschine ein kooperatives System, dessen Gesamtleistung es zu optimieren gilt.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die konkrete technische Umsetzung der vorgestellten Interaktionsmetapher und die Versuchsreihen zur empirischen Absicherung vorgestellt.

3 Versuchsaufbau

Das Kapitel stellt sämtliche im Rahmen dieser Arbeit weiter- und neuentwickelten Forschungs- und Assistenzsysteme vor. Dabei wird zunächst auf den statischen 1-kanaligen Fahrsimulator eingegangen, der zum Zwecke der durchgeführten Untersuchungen weiter ausgebaut und um eine Reihe von Fahrerassistenzsystemen ergänzt wurde. Daraufhin folgt die Beschreibung des neuen 3-kanaligen Fahrsimulators, der anstelle des 1-kanaligen aufgebaut wurde. Ferner wird das in den Versuchen eingesetzte Blickerfassungssystem Dikablis dargestellt. Eine genaue Darstellung sämtlicher im Rahmen dieser Arbeit entwickelter Fahrerassistenzsysteme beendet dieses Kapitel.

3.1 Aufbau des 1-kanaligen Fahrsimulators

Der für die Versuchsreihen weiterentwickelte statische 1-kanalige Fahrsimulator (siehe Abbildung 3.1-1) wurde im Jahre 1995 am Lehrstuhl für Ergonomie aufgebaut (vgl. hierzu *Penka (2000)*) und im Zuge des Kooperationsprojektes TUMMIC umgebaut und erweitert.

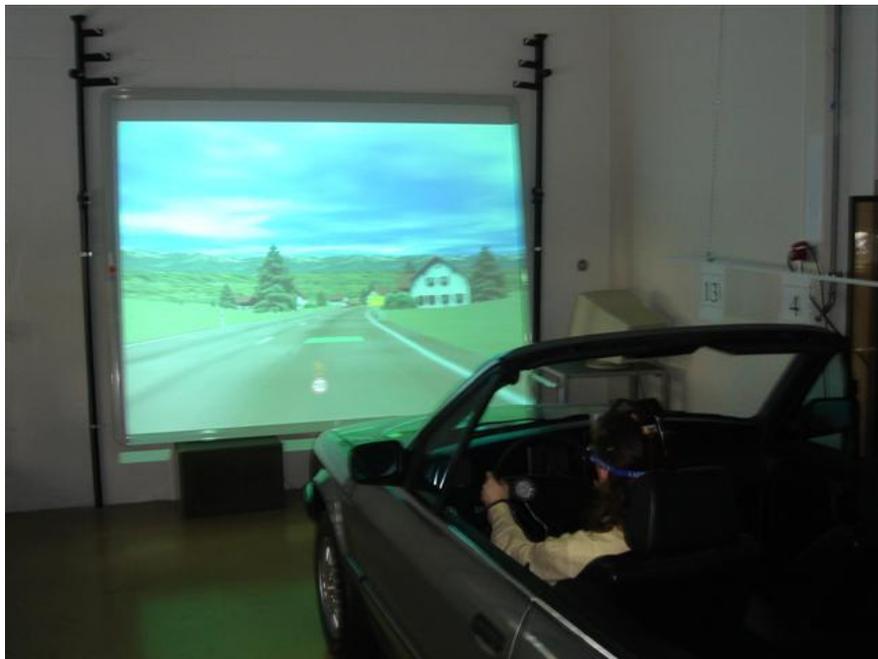


Abbildung 3.1-1: Darstellung des 1-kanaligen Fahrsimulators mit einem im Fahrzeug sitzenden Probanden

Es wird zunächst auf den mechanischen Aufbau des Simulators eingegangen, danach folgt die Darstellung der Softwarekomponenten. Diese sind die Datenbasis, die Fahrdynamik, die Fremdverkehrssimulation, die Software LabVIEW und die Anbindung des Komponentenframeworks DWARF.

3.1.1 Mechanischer Aufbau

Als Mock-Up dient ein BMW E30 Cabrio mit Automatikschaltung, das für den Einsatz im Fahrsimulator adaptiert wurde. Dafür wurden der Motor und das Getriebe des Fahrzeuges entfernt und der Lenkstrang aufgetrennt. An das Ende des durchtrennten Lenkstranges ist ein Drehmomentmotor angeflanscht, mit dessen Hilfe das, während der Fahrt auftretende, Lenkmoment simuliert wird. Die

Gaspedalstellung, die als Eingangsgröße für die Fahrdynamik dient, wird in der Einheit des aktiven Gaspedals (siehe Kapitel 3.4) mittels eines Potentiometers gemessen und als analoges Signal an den Fahrdynamik PC weitergeleitet. Ebenso werden die Bremspedalstellung und der Drehwinkel des Lenkrades als analoge Signale gemessen und im Fahrdynamik PC weiterverarbeitet.

Zur Sichterzeugung werden drei unterschiedliche Beamer verwendet. Die nachstehend beschriebene Datenbasis wird mittels eines Barco Reality 6200 Beamers in einer Farbtiefe von 24 Bit und einer Auflösung von 1280x1024 Bildpunkten auf eine 2,5 x 1,9m große Leinwand in einer Entfernung von 3,5m zum Fahrer projiziert. Mit einem zweiten Beamer der Marke NEC LT 265, der eine Auflösung von 1024 x 768 Bildpunkten hat, werden kontaktanaloge Inhalte, wie etwa eine Abstandshalteassistent, dargestellt. Das Bild dieses Projektors wird dem Bild der Fahrszene überlagert und zu diesem kalibriert. Dadurch hat der Proband den Eindruck, als würden die so dargestellten Inhalte mittels eines kontaktanalogen Head-Up-Displays angezeigt. Zur Darstellung von nichtkontaktanalogen Informationen wird ein dritter Beamer der Marke NEC LT 155 mit einer Auflösung von 1024 x 768 Bildpunkten eingesetzt. Mittels diesem wird dem Fahrer in der so genannten Statuszeile Rückmeldung über die aktuelle Istgeschwindigkeit gegeben. Es wird deswegen ein dritter Beamer verwendet, damit in diesem Anzeigebereich eine hoch auflösende Darstellung erreicht wird. Außerdem erfolgen in dieser Statuszeile noch die Anzeigen von diversen Fahrerassistenzsystemen, wie beispielsweise dem Verkehrszeichenassistenten oder dem ACC (Adaptive Cruise Control) sowie die Rückmeldung über den gesetzten Blinker. Ein Beispiel für die so entstehende Sicht ist in Abbildung 3.1-2 dargestellt.



Abbildung 3.1-2: Mit Hilfe von drei Beamern erzeugte Sicht des Fahrers mit dargestellter Datenbasis, kontaktanaloger Abstandshalteunterstützung und Verkehrszeichenassistent

3.1.2 Softwareseitiger Aufbau

In Abbildung 3.1-3 ist die Softwarearchitektur des Fahrsimulators nach dessen Weiterentwicklung dargestellt. Hierzu wurde die alte Architektur, bestehend aus dem Fahrdynamik PC und der Onyx, um den LabVIEW Rechner und das DWARF Framework erweitert. Um diese Erweiterung zu ermöglichen wird die serielle Schnittstelle zwischen dem Fahrdynamik PC und der Onyx abgehört und die dort übermittelten Daten von der Software LabVIEW eingelesen und dem DWARF Framework bereit gestellt. Somit stehen in DWARF die Fahrdynamik- und Positionsdaten des Eigenfahrzeuges zur Verfügung. Ferner werden die Positionsdaten der Fremdverkehrssimulation von der Onyx via TCP Protokoll an das DWARF Framework versendet, womit dort sämtliche benötigten Daten zur Realisierung von Fahrerassistenzsystemen vorliegen.

Die Aufgaben der einzelnen Softwarekomponenten werden in den folgenden Unterkapiteln genauer erläutert.

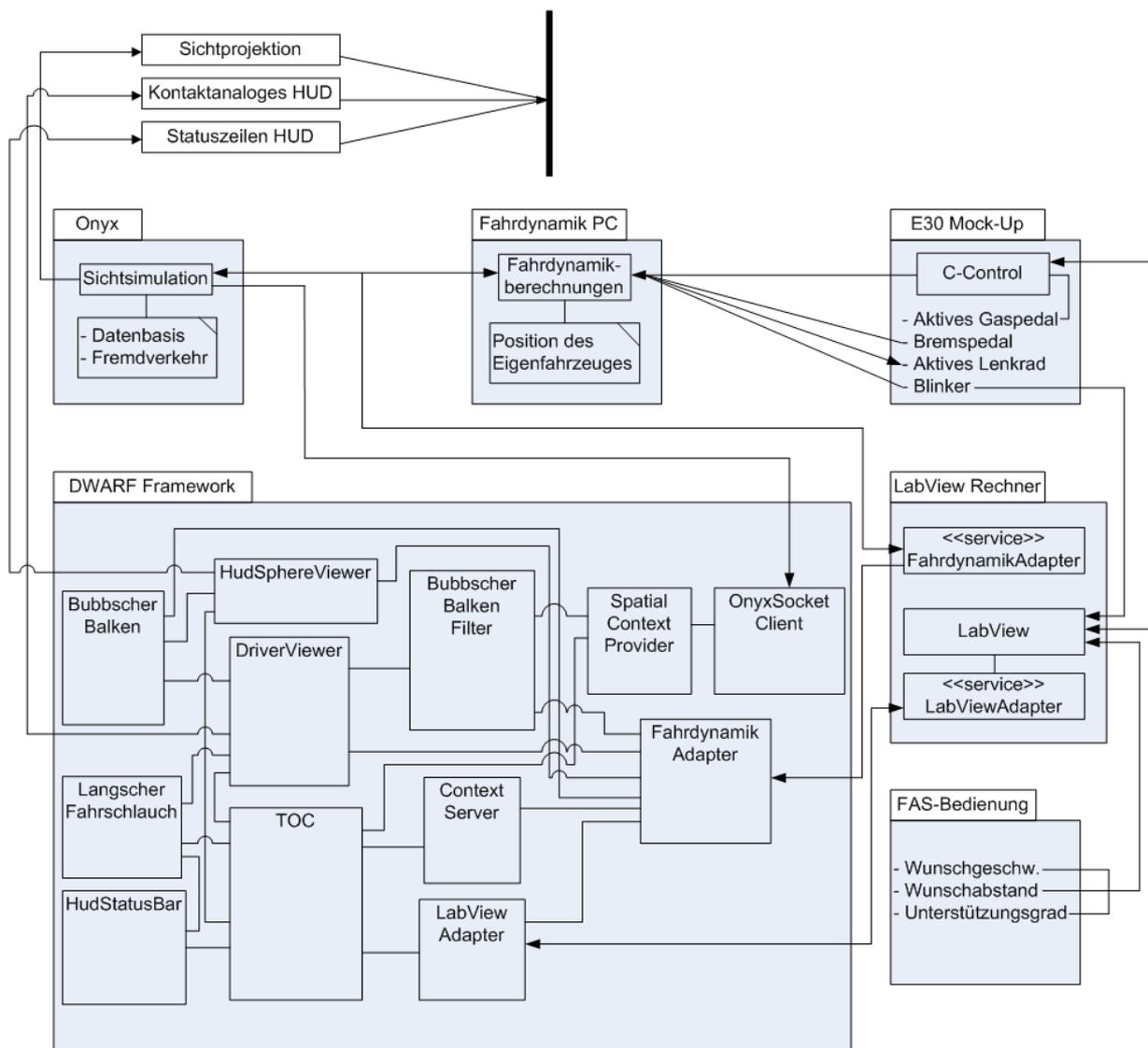


Abbildung 3.1-3: Softwarearchitektur des 1-kanaligen Fahrsimulators. Die Einzelkomponenten werden in den folgenden Unterkapiteln näher erläutert

3.1.2.1 Datenbasis

Die Datenbasis des Fahrsimulators (siehe Abbildung 3.1-4) ist ein ca. 15km langer Landstraßenrundkurs mit mehreren lang gezogenen Kurven und einigen Geraden sowie zwei kleinen Ortschaften. Dort sind auch die nachträglich integrierten Geschwindigkeitsbegrenzungen und Verkehrsschilder zu sehen.

Die Darstellung der Datenbasis erfolgt durch die Echtzeitrenderingsoftware RXrealtime der Firma Realax. Da zum Zeitpunkt des Simulatoreaufbaus die Grafikkarten von PCs noch nicht so leistungsfähig waren, wird die Datenbasis von einer Onyx Workstation von SGI mit zwei Prozessoren dargestellt.

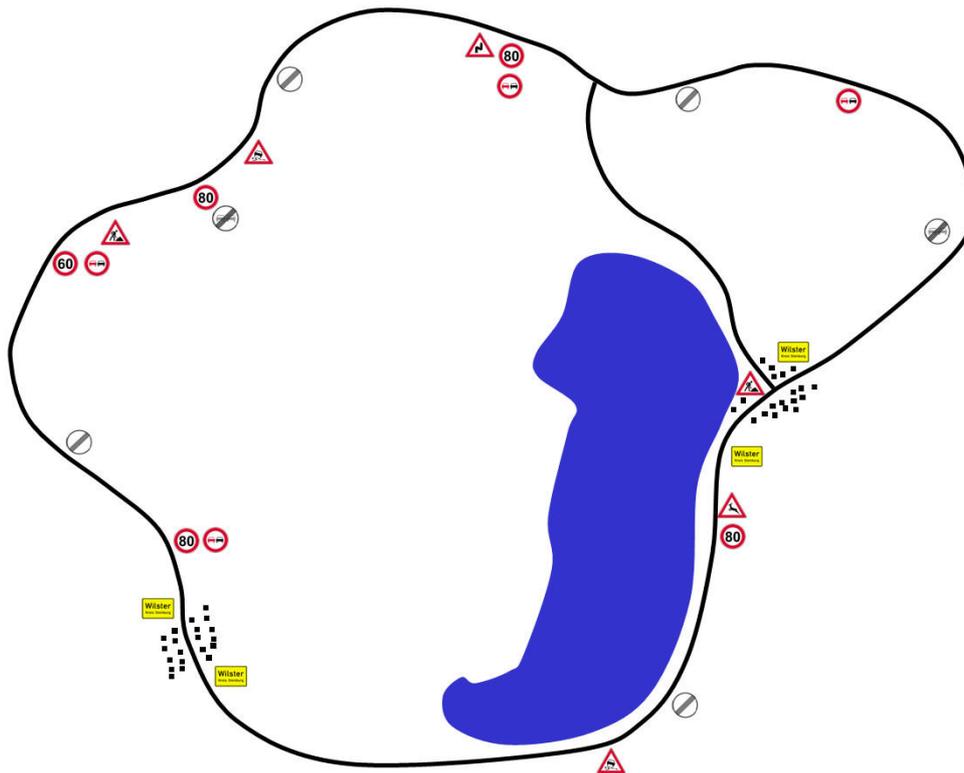


Abbildung 3.1-4: Landstraßenrundkurs des Simulators mit zwei kleinen Ortschaften und integrierten Verkehrsschildern

3.1.2.2 Fahrdynamik

Die Modellierung der Fahrdynamik erfolgt anhand eines Einspurmodells nach Mitschke ohne Querschleupf, das vom Fahrdynamik PC mit einer Zykluszeit von <30ms berechnet wird. Dieses vereinfachende Verfahren wurde verwendet, da der dafür notwendige Rechenaufwand gering ist und die Unterschiede zu einer aufwendigeren Fahrdynamikberechnung bis zu Querschleunigungen von ca. 4 m/s^2 kaum wahrgenommen werden.

3.1.2.3 Fremdverkehrssimulation

Neben dem eigenen Fahrzeug bewegen sich in der Datenbasis noch bis zu zehn Fremdfahrzeuge. Dies ist ausreichend, um ein mittleres Verkehrsaufkommen auf der Landstraße zu simulieren. Das Geschwindigkeitsverhalten der Fremdfahrzeuge ist in einer Beschreibungsdatei auf der Onyx abgelegt. In dieser finden sich Informationen über die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf dem momentan befahrenen Straßenabschnitt sowie über die erlaubte Höchstgeschwindigkeit am Ende dieses Abschnittes. Dadurch lassen sich beispielsweise realistische Verzögerungen der

Fremdverkehrsfahrzeuge vor einer Ortsdurchfahrt erreichen. Durch Bearbeiten der Beschreibungsdatei kann man ein beliebiges Geschwindigkeitsverhalten der Fremdfahrzeuge erzielen. Regeln für freie Fahrt ohne Vorderfahrzeug sowie für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern sind zudem in der Fremdverkehrssimulation hinterlegt.

3.1.2.4 LabVIEW

Als Schnittstelle zwischen Hardware und Software wird die Mess- und Steuerungssoftware LabVIEW eingesetzt, welche dem Nutzer eine grafische Programmieroberfläche bietet (siehe hierzu *Jamal R. und Hagestedt A. (2004)*). Die Software ermöglicht über Messkarten das Einlesen und auch Ausgeben von Analog- und Digitalsignalen. In LabVIEW erfolgt die Datenverarbeitung nur auf geringem Niveau ohne jegliche Logik. Die Software wird nur dazu verwendet, die Daten des BMW E30 Mock-Ups und der verbauten FAS Bedienelemente einzulesen sowie die Datenkommunikation zwischen dem Fahrdynamik PC und der Onyx abzuhören und in das Framework DWARF weiterzuleiten. Ferner erfolgt über LabVIEW ein aktiver Zugriff auf die Fahrzeugbedienelemente, wie es beispielsweise beim aktiven Gaspedal der Fall ist (siehe Abbildung 3.1-3). Durch LabVIEW wird jedoch nur die entsprechende Kraft bzw. der passende Weg eingestellt. Die hierzu nötige Verarbeitungslogik ist in dem nachstehend beschriebenen Framework DWARF umgesetzt.

3.1.2.5 DWARF

Das Komponentenframework DWARF für verteilte Rechnerarchitekturen (Weiteres in *Bauer et al. (2001)*) basiert auf dem Konzept von zusammenarbeitenden verteilten Services. Diese sind voneinander abhängig und haben so genannte „Needs“ und „Abilities“, welche von Service Managern verwaltet werden. Ein „Need“ bedeutet, dass der Service einen bestimmten Datentyp benötigt. „Ability“ meint, der Service stellt einen Datentyp zur Verfügung. Diese Architektur erlaubt es, fachlich getrennte Bausteine zu nutzen, die nach Bedarf miteinander, entsprechend ihrer „Needs“ und „Abilities“ verbunden werden können.

Über die Software LabVIEW werden DWARF sämtliche Simulations- und Mock-Up-Daten zugänglich gemacht. In DWARF selbst erfolgt daraufhin in den so genannten Services die Umsetzung der Verarbeitungslogik für die realisierten Fahrerassistenzsysteme, welche in Kapitel 3.3 näher erläutert werden. Die Ausgabe des Ergebnisses kann dann entweder optisch über einen Beamer oder haptisch über die Fahrzeugbedienelemente erfolgen (siehe Abbildung 3.1-3). Alternativ könnte man ebenso eine akustische Ausgabe über einen Lautsprecher realisieren, wie es für ein Kollisionswarnsystem bereits vorbereitet ist. Die nachstehende Liste zeigt die in DWARF realisierten Assistenzsysteme:

- Logik aktives Gaspedal
- Fahrschlauchdarstellung
- Optische Abstandshalteassistenz
- Optische Querführungsassistenz
- Verkehrszeichenassistenz
- Ausgabelogik der Fahrerassistenzsystembedienung

Ferner ist in DWARF ein Data Recorder umgesetzt, der in einer Taktung von 40ms sämtliche Fahrdynamikdaten in ein Textfile schreibt.

Tabelle 3.1-3: Kurze Beschreibung der in DWARF realisierten Services

Service	Beschreibung
TOC (TUMMIC Output Controller)	Grafische Oberfläche zur Konfiguration der Assistenzsysteme
Bubbscher Balken	Berechnet die kontaktanaloge Abstandsanzeige
Langscher Fahrschlauch	Berechnet die kontaktanaloge Abstandsanzeige mit seitlichen Begrenzungslinien
HudStatusBar	Berechnet die Anzeige in der HUD Statuszeile
LabVIEW Adapter	Empfängt Daten aus LabVIEW und stellt sie anderen Services zur Verfügung und versendet wiederum Daten nach LabVIEW
Fahrdynamik Adapter	Empfängt die Fahrdynamikdaten des Eigenfahrzeuges und stellt sie anderen Services zur Verfügung
DriverViewer	Führt die Darstellung der kontaktanalogen Anzeigen durch
HudSphereViewer	Stellt die Anzeigen in der HUD Statuszeile dar
ContextServer	Generiert auf Basis der Position des Eigenfahrzeuges eine Meldung, wenn z.B. an einem Verkehrszeichen vorbeigefahren wird
OnyxSocket Client	Empfängt die Positionsdaten der Fremdverkehrsfahrzeuge und stellt sie anderen Services zu Verfügung

Zum besseren Verständnis der Abbildung 3.1-3 werden in der Tabelle 3.1-3 die Aufgaben der wichtigsten DWARF Services kurz beschrieben. Eine genauere Darstellung der DWARF Services sowie deren Verschaltung untereinander kann in *Tönnis (2005a)* nachgelesen werden.

3.2 Aufbau des 3-kanaligen Fahrsimulators

Im Jahr 2006 wurde am Lehrstuhl für Ergonomie ein neuer Fahrsimulator (siehe Abbildung 3.2-1) entwickelt.



Abbildung 3.2-1: Der 3-kanalige Fahrsimulator am Lehrstuhl für Ergonomie

3.2.1 Mechanischer Aufbau

Für den Einsatz als Simulatorfahrzeug wurde ein BMW E64 umgebaut. Der Motor und das Getriebe wurden entfernt und der Lenkstrang aufgetrennt. Am Ende der Lenkstange ist ein Drehmomentmotor angeflanscht, mit dessen Hilfe das während der Fahrt auftretende Lenkmoment simuliert wird. Die Gaspedalstellung, wird in der Einheit des aktiven Gaspedals (siehe Kapitel 3.3) mit einem Potentiometer gemessen und via Messkarte über den LabVIEW PC registriert. Die Stellung des Bremspedals wird durch einen Druckaufnehmer über den im Bremskreislauf anliegenden Druck abgenommen und ebenfalls über eine Messkarte über den LabVIEW PC aufgenommen. Die Stellung des Lenkrades wird über den Lenkmomenten Server, der auch das Lenkmoment generiert, erfasst und an die Fahrdynamikberechnung übergeben. Über drei Beamer der Marke Christie D830 wird die 180° Sicht der Datenbasis erzeugt, die das Bild jeweils in einer Auflösung von 1280x1024 Bildpunkten auf eine 3,4 x 3,6m große Leinwand in einer Entfernung von 3,5m projizieren.



Abbildung 3.2-2: Anzeige der Istgeschwindigkeit sowie der Rückmeldungen des ACC Systems im HUD

Ein zweiter Beamer übernimmt die Darstellung von kontaktanalogen 3D HUD Informationen. Hierfür wird ein Projektor der Marke NEC LT 265 mit einer Auflösung von 1024 x 768 Bildpunkten verwendet, dessen Bild dem Bild der Fahrszene überlagert und zu diesem kalibriert wird. Dadurch entsteht für den Fahrer der Eindruck, als würden die so dargestellten Inhalte mittels eines kontaktanalogen Head-Up-Displays angezeigt. Ferner kann das als Zusatzausstattung im Fahrzeug verbaute 2D HUD als ganz normaler Monitor angesteuert werden. Dieses Display wird verwendet, um, wie in Abbildung 3.2-2 gezeigt, die Istgeschwindigkeit sowie Rückmeldungen von Fahrerassistenzsystemen anzuzeigen.

3.2.2 Softwareseitiger Aufbau

Die einzelnen Rechnermodule und die Netzwerkstruktur des Fahrsimulators sind in Abbildung 3.2-3 veranschaulicht. Die wichtigsten Softwaremodule wie die Datenbasis, das Fahrdynamikmodell, die Fremdverkehrssimulation, der LabVIEW PC, der Fahrsim-PC, der Lenkmomente Server und der Mock-Up PC werden nachstehend erläutert.

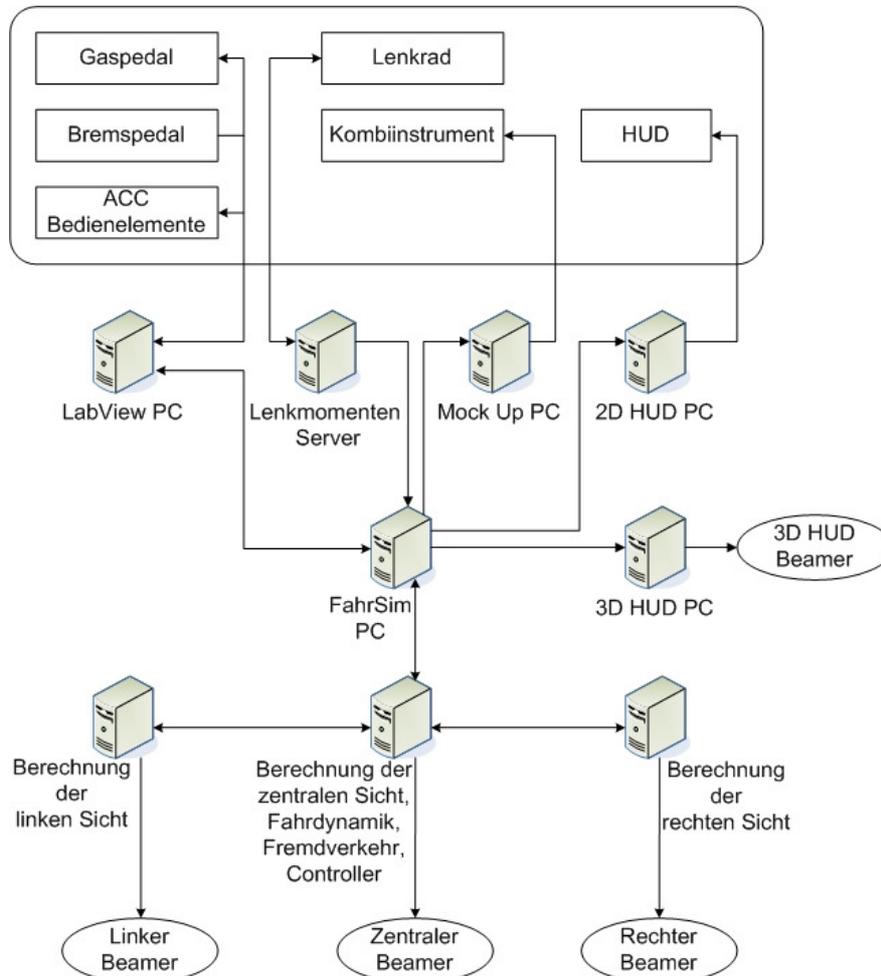


Abbildung 3.2-3: Softwarearchitektur des 3-kanaligen Fahrsimulators

3.2.2.1 Datenbasis

Die Datenbasis des Fahrsimulators (siehe Abbildung 3.2-4) besteht aus einem ca. 10 km langen Autobahnring, der rings um die simulierte Welt verläuft. Innerhalb des Autobahnringes befindet sich ein mehrere Kilometer langes Landstraßennetz, das auch die in der Landschaft vorhandenen Ortschaften miteinander verbindet. Bei der Entwicklung der Datenbasis wurde großer Wert darauf gelegt diese so zu gestalten, dass möglichst viele Fragestellungen für Fahrerassistenz- und -informationssysteme damit untersucht werden können. Ferner ist ein aufwendiges Höhenmodell hinterlegt, welches die Simulation erheblich realistischer erscheinen lässt.

Drei PCs (Sicht links, Sicht zentral, Sicht rechts) mit einem Windows Betriebssystem berechnen die Sicht von insgesamt 180°. Die drei Rechner sind untereinander über ein eigenes Netzwerk miteinander synchronisiert.

3.2.2.2 Fahrdynamik

Das Fahrdynamikmodell ist ein Vierrad-Fahrzeug, welches in Echtzeit Daten zur Bewegung der Fahrerkabine, zur Animation des sichtbaren Geländeausschnittes und zur Geräuschgenerierung liefert. Durch ein Fahrzeugmodell mit 19 Freiheitsgraden sowie einem integrierten Reifenmodell, kann auch ein in Grenzsituationen realistisches Fahrverhalten abgebildet werden.

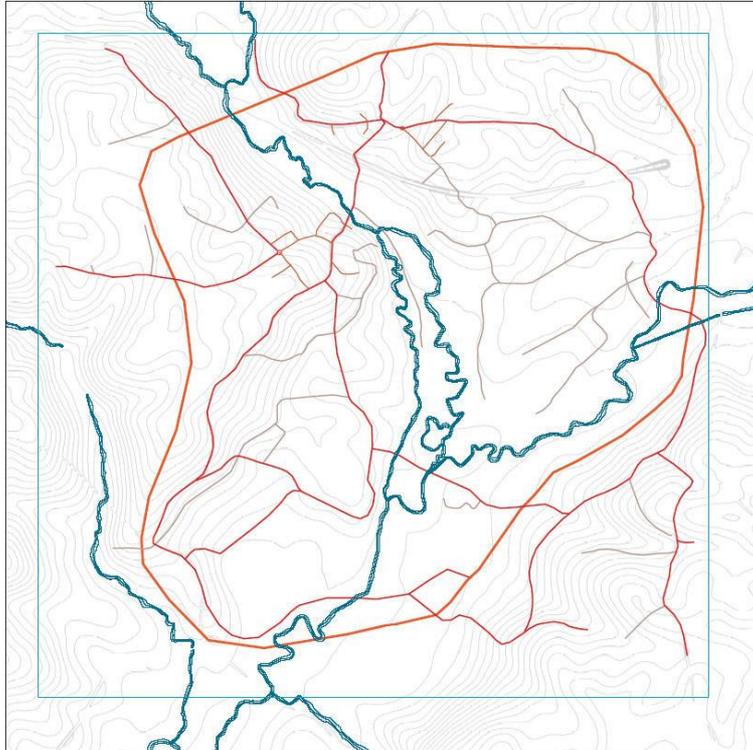


Abbildung 3.2-4: Datenbasis des Fahrsimulators mit Autobahnring und Landstraßennetz

3.2.2.3 Fremdverkehrssimulation

Mittels der Fremdverkehrssimulation können bis zu 100 weitere Fahrzeuge in der Datenbasis simuliert werden. Dabei gibt es unterschiedliche Typen an Fremdfahrzeugen. Die so genannten *autonomen Fahrzeuge* bewegen sich, wie echte Fahrzeuge auch, auf fest vordefinierten Routen von A nach B. Dabei beachten diese Fahrzeuge die geltenden Verkehrsregeln und sich gegenseitig. Es lassen sich dabei unterschiedliche Fahrertypen definieren. Ein aggressiver Fahrer fährt beispielsweise stets etwas schneller als erlaubt und ein zurückhaltender immer etwas langsamer. Weiterhin gibt es bis zu drei so genannten *bemannte Fahrzeuge*. Diese können über ein LogiTech Lenkrad von außen gesteuert werden und somit beliebige Aktionen durchführen. Außerdem kann diese Funktionalität dazu genutzt werden, mehrere Simulatoren untereinander zu vernetzen.

3.2.2.4 LabVIEW PC

Der LabVIEW PC, auf dem die Mess- und Steuersoftware LabVIEW läuft, dient als Schnittstelle zum aktiven Gaspedal, zum Bremspedal und zu den ACC Bedienelementen. Über diesen Rechner werden die Signale der Bedienelemente erfasst und an den FahrSim PC übergeben. Zudem werden über diesen Rechner aktive Rückmeldungen in Richtung der Bedienelemente ausgegeben.

3.2.2.5 FahrSim PC

Die zentrale Rolle in der Softwarearchitektur des Fahrsimulators übernimmt der FahrSim PC. Die Softwarestruktur ist dabei so modular ausgelegt, dass jede Art von Fahrerassistenzsystem in sehr kurzer Zeit realisiert werden kann. Der Rechner bildet die Schnittstelle zwischen allen Eingabeelementen (Gaspedal, Bremspedal, Lenkrad, FAS Bedienelemente) der Fahrdynamiksimulation und den Anzeigeelementen (Kombiinstrument, 2D HUD, 3D HUD). Dadurch wird es möglich, zentral auf einem Rechner die Logik aller Assistenzsysteme umzusetzen. Eine detaillierte Beschreibung des Datenflusses sowie der Softwarearchitektur findet sich in *Popiv (2006)*.

3.2.2.6 Lenkmomenten Server

Der Lenkmomenten Server übernimmt die Generierung des am Lenkrad, in Abhängigkeit des Fahrzustandes, spürbaren Momentes. Dazu wird die dort laufende Software mit den nötigen Ausgangsgrößen aus der Fahrdynamikberechnung versorgt. Anhand dieser Daten wird das Lenkmoment berechnet und am Drehmomentmotor eingestellt. Darüber hinaus kann über einen zweiten Kanal ein zusätzliches Moment, zu dem anhand der Fahrdynamikgrößen berechneten, addiert oder auch subtrahiert werden. Auf diesem Weg können haptische Rückmeldungen von Assistenzsystemen über das Lenkrad an den Fahrer ausgegeben werden.

3.2.2.7 Mock Up PC

Der Mock Up PC übernimmt einerseits die zum Betrieb des Fahrzeuges nötige Restbussimulation und stellt andererseits die Schnittstelle zwischen dem BMW E64 und dem FahrSim PC dar. Der Mock Up PC dekodiert die Bussignale der Fahrzeugbedienelemente (z.B. Blinkerhebel oder Scheibenwischer) und versendet sie über das Simulatornetzwerk an den FahrSim PC, wo sie weiterverarbeitet werden. Weiterhin werden die vom FahrSim PC kommenden Informationen in BUS Signale kodiert und dann beispielsweise am Kombiinstrument in Form des Tachometerzeigers eingestellt.

3.3 Beschreibung der entwickelten Fahrerassistenzsysteme

Im folgenden Kapitel werden die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Fahrerassistenzsysteme näher beschrieben. Dabei handelt es sich um folgende Entwicklungen:

- Haptische Längsführungsassistenz mittels eines aktiven Gaspedals
- Optische Geschwindigkeitshalteassistenz und Verkehrszeichenanzeige
- Optische Abstandshalteunterstützung und Voranzeige der Nachführgröße
- Haptische Querführungsassistenz mittels eines aktiven Lenkrads
- Optische Querführungsassistenz
- Semiautomatisierte Längsführungsassistenz mittels Adaptive Cruise Control

3.3.1 Haptische Geschwindigkeits- und Abstandshalteassistenz mittels eines aktiven Gaspedals

Die Funktion des aktiven Gaspedals ist es, den Fahrer bei seiner Längsführungsaufgabe zu unterstützen, ihn aber dennoch stets im Regelkreis zu halten. Dies erfolgt durch Aufschalten eines spürbaren Druckpunktes im Kraft-Weg-Verlauf des Gaspedals, der jederzeit vom Fahrer überdrückt werden kann. Über diesen Druckpunkt wird dem Fahrer entweder die erlaubte Geschwindigkeit, die eingestellte Wunschgeschwindigkeit oder der gesetzte Sekundenabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug bei Folgefahrt angezeigt.

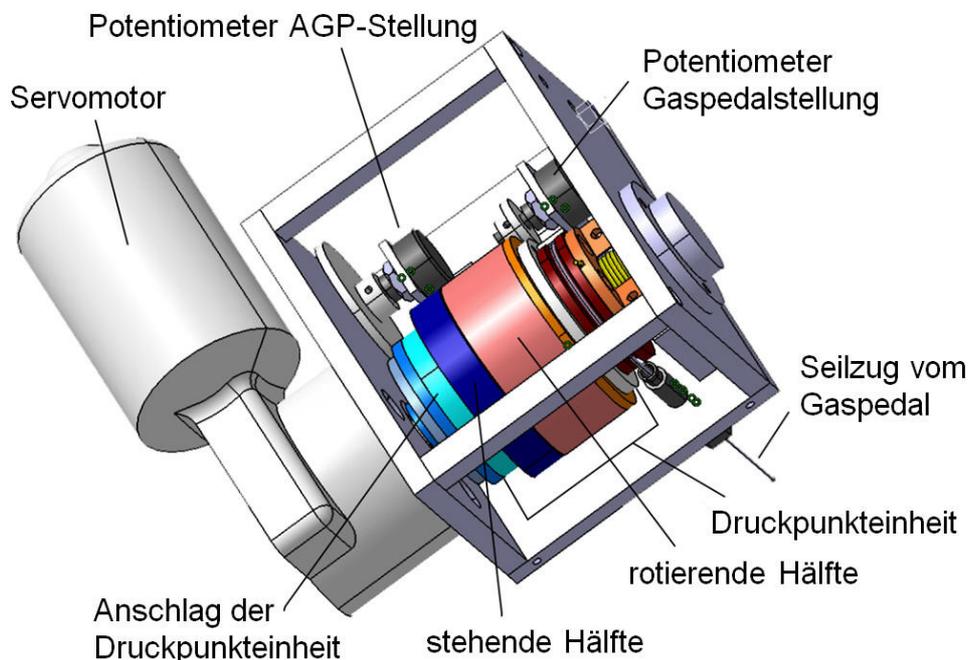


Abbildung 3.3-4: CATIA Konstruktionsmodell des aktiven Gaspedals

Das aktive Gaspedal kann sowohl im „intelligenten“ Modus betrieben werden, in dem es sich automatisch an die herrschenden Geschwindigkeitsbeschränkungen hält als auch im „dummen“ Modus, bei dem die Wunschgeschwindigkeit durch den Fahrer eingestellt werden muss.

Im Folgenden werden die technische Realisierung des aktiven Gaspedals (AGP) sowie die Funktionsdarstellung für den Fahrer näher beschrieben. Die technische Realisierung unterteilt sich in die beiden Komponenten Hardware und regelungstechnische Umsetzung. Im ersten Teil wird kurz die Konstruktion des aktiven Gaspedals beschrieben und im zweiten Teil wird auf die regelungstechnische Umsetzung der Funktionen eingegangen.

3.3.1.1 Hardware des aktiven Gaspedals

Um dem Fahrer eine zusätzliche Kraft am Gaspedal aufschalten zu können ist eine weitere Aktuatorik notwendig. Diese setzt sich aus einem Servomotor, zwei Potentiometern und aus der so genannten Druckpunkteinheit zusammen (siehe CATIA Modell in Abbildung 3.3-4 und mechanisches Ersatzmodell in Abbildung 3.3-5 und 3.3-6).

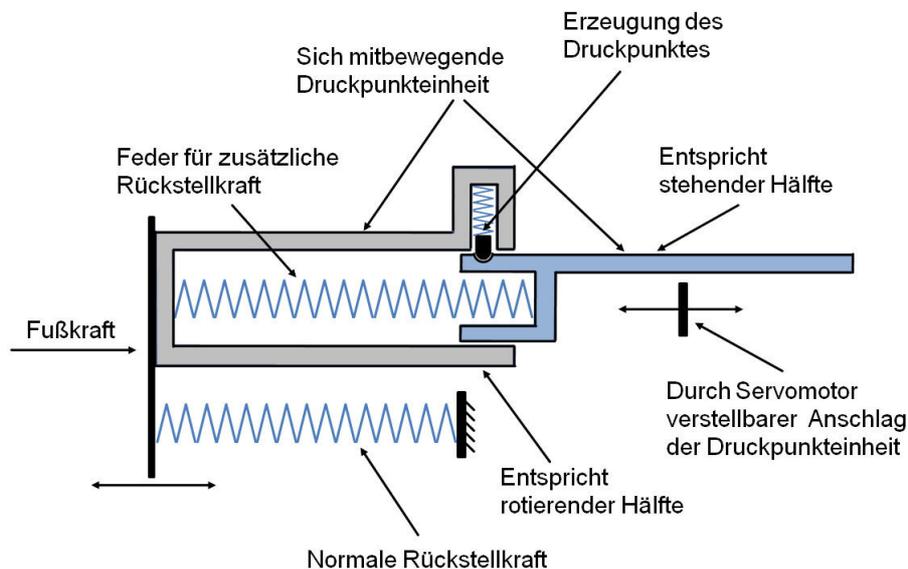


Abbildung 3.3-5: Mechanisches Ersatzmodell des aktiven Gaspedals in der Nullstellung

Die Komponenten des AGP, welche kompakt in einem Metallgehäuse verbaut sind, können an einer beliebigen Stelle im Fahrzeug platziert werden. Über einen Seilzug, der vom Gaspedal kommt, das vom Fahrer betätigt wird, wird die Druckpunkteinheit, die sich aus der rotierenden und der stehenden Hälfte zusammensetzt verdreht bzw. im mechanischen Ersatzmodell in Abbildung 3.3-5 nach rechts bewegt. Diese Stellung wird über ein Potentiometer erfasst und geht in die Fahrdynamiksimulation, wo sie als Eingangsgröße für den Beschleunigungswunsch des Fahrers dient. Über den Servomotor kann der Anschlagpunkt für die Druckpunkteinheit verstellt werden. Dieser bildet einen Anschlag für die stehende Hälfte der Druckpunkteinheit. Läuft diese, durch die Verdrehung vom Gaspedalseilzug in den Anschlag, muss die rotierende Hälfte von der stehenden Hälfte ausgekoppelt werden (siehe Abbildung 3.3-6).

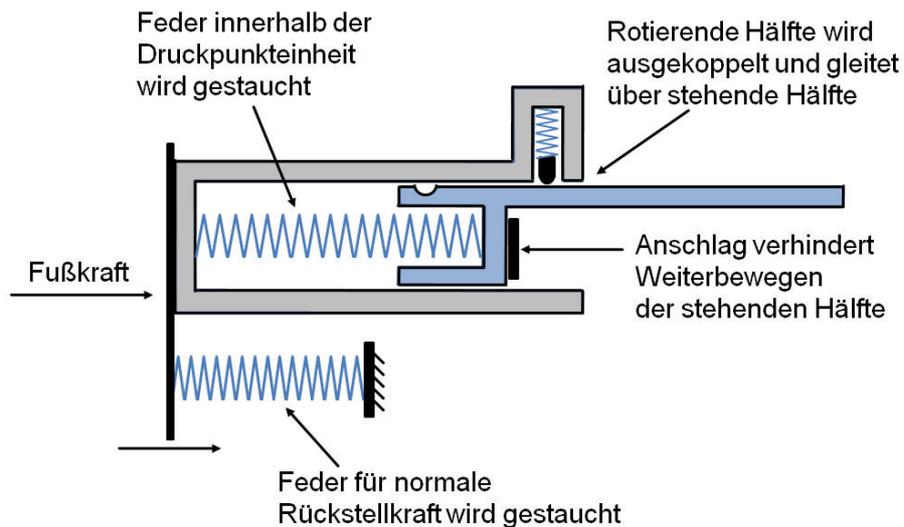


Abbildung 3.3-6: *Mechanisches Ersatzmodell des aktiven Gaspedals nachdem der Druckpunkt vom Fahrer ausgekoppelt wurde*

Hierzu ist durch den Fahrer eine zusätzliche Kraft am Gaspedal aufzubringen, die er dann als Druckpunkt wahrnimmt. Durch ein Federsystem innerhalb der Druckpunkteinheit wird die Verdrehung der beiden Hälften zueinander wieder egalisiert, wenn der Fahrer das Gaspedal ein Stück zurücknimmt. Der sich dadurch ergebende Kraft-Weg-Verlauf am Gaspedal ist in Abbildung 3.3-7 gezeigt. Der Druckpunkt kann über dem kompletten Gaspedalwinkel beliebig geregelt werden.

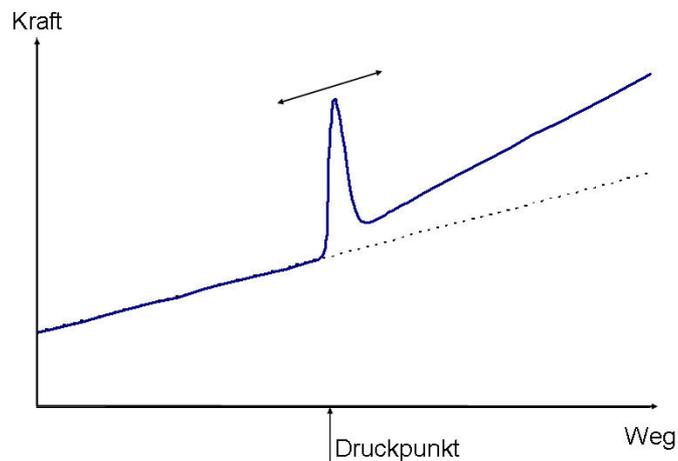


Abbildung 3.3-7: *Regelbarer Kraft-Weg Verlauf am aktiven Gaspedal*

3.3.1.2 Regelungstechnische Umsetzung

Nachstehend wird der Regelalgorithmus erläutert, durch den die Position des Druckpunktes über der Gaspedalstellung bestimmt wird. Zunächst wird anhand der Entfernung zum Vorausfahrenden entschieden, ob auf Geschwindigkeit oder auf Abstand geregelt wird (siehe Abbildung 3.3-8). Ist die Entfernung größer als 150m, erfolgt eine Regelung auf die durch die Straßenverkehrsordnung zulässige Geschwindigkeit bzw. auf die vom Fahrer eingestellte Wunschgeschwindigkeit. Ist die Distanz kleiner als 150m, wird auf einen Abstand von 1,5s zum Vorderfahrzeug geregelt. Bei der Geschwindigkeitsregelung wird eine Fahrzeugsollbeschleunigung a_{soll} anhand der Differenz zwischen der erlaubten bzw. der gesetzten Wunschgeschwindigkeit und der aktuellen Istgeschwindigkeit berechnet. Durch einen

iterativen Prozess über die Längsdynamik des Fahrdynamikmodells wird die Gaspedalstellung ermittelt, die der zuvor bestimmten Sollbeschleunigung in Abhängigkeit des momentanen Fahrzustandes entspricht. Diese Stellung wird dann dem Fahrer am AGP angezeigt. Erfolgt eine Regelung auf Abstand wird zunächst anhand des Abstandes zum Vordermann eine Solldifferenzgeschwindigkeit Δv_{soll} bestimmt. Addiert man diese zur Geschwindigkeit der Vorfahrenden v_{voraus} , so ergibt sich die Sollgeschwindigkeit v_{soll} des eigenen Fahrzeuges. Die Sollbeschleunigung a_{soll} ist dann eine Funktion aus der Differenz zwischen Sollgeschwindigkeit v_{soll} und der momentanen Istgeschwindigkeit v_{ist} . Nach Berechnung der Sollbeschleunigung a_{soll} wird die dazu zugehörige Gaspedalstellung wieder mittels des iterativen Prozesses über die Längsdynamik des Fahrdynamikmodells berechnet und am aktiven Gaspedal eingestellt.

Der Fahrer kann somit seinen Fuß an diesem Druckpunkt anlegen und wird jederzeit mit der richtigen Geschwindigkeit und einem sicheren Abstand zum Vorderfahrzeug durch den Verkehr geführt.

Eine Zusatzfunktion, die auf das AGP aufgeschaltet werden kann, ist das so genannte „bremsende Gaspedal“. Falls die Verzögerung durch die Fahrwiderstandskräfte nicht ausreicht, um beispielsweise einen Bremsvorgang eines vorausfahrenden Fahrzeuges auszugleichen, generiert diese Funktionalität ein zusätzliches Bremsmoment und leitet dieses in die Fahrdynamik ein. Dies geschieht allerdings nur, wenn das Gaspedal in der Nullstellung ist. Weiterhin ist die durch diese Funktionalität erreichbare Verzögerung auf -3 m/s^2 begrenzt. Sobald der Fahrer das Gaspedal leicht betätigt, überstimmt er diese Funktionalität und das zusätzliche Bremsmoment wird wieder deaktiviert.

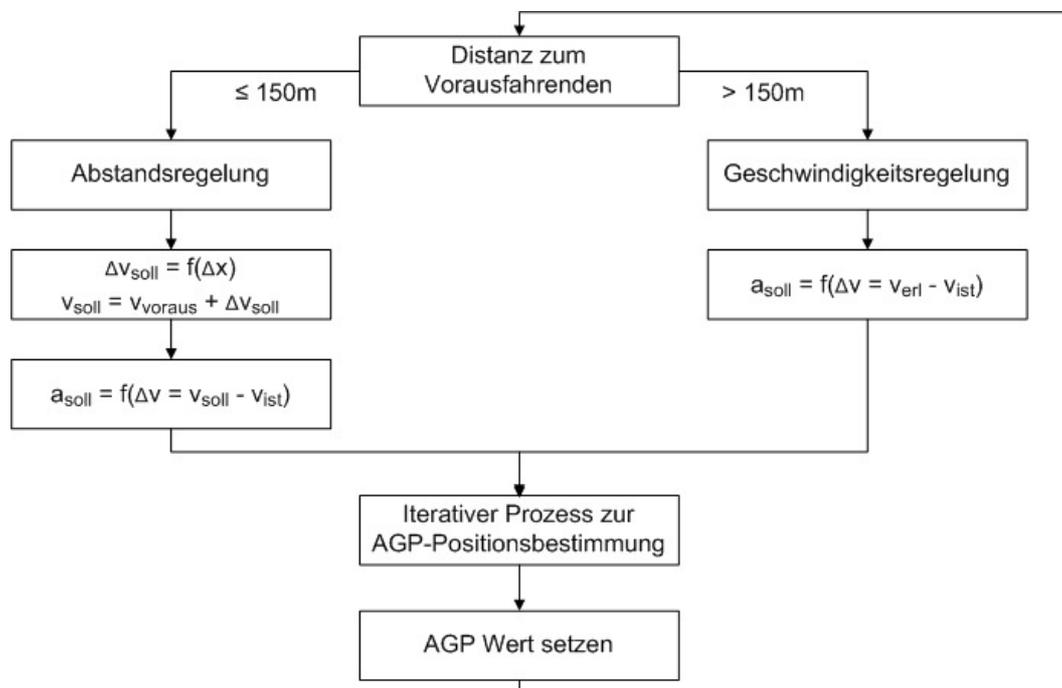


Abbildung 3.3-8: Visualisierung des Regelalgorithmus zur Berechnung der Druckpunktposition

Eine weitere integrierte Funktion im so genannten „intelligenten“ Modus des AGP erweitert den Antizipationsbereich des Fahrers und soll eine bessere Anpassung des Fahrverhaltens an die Verkehrssituation ermöglichen. Das wird dadurch erreicht,

dass dem Fahrer bereits frühzeitig am AGP angezeigt wird, wenn eine Herabsetzung der zulässigen Geschwindigkeit erfolgt. Dies geschieht in dem der Druckpunkt dem Fahrer in der richtigen Entfernung zu einer Geschwindigkeitsherabsetzung entgegenkommt, so dass das Fahrzeug, lediglich aufgrund der Fahrwiderstände, rechtzeitig auf die zulässige Geschwindigkeit verzögert. Diese Funktion ist gekoppelt mit der im Weiteren beschriebenen optischen Geschwindigkeitshalteassistenten.

3.3.2 Optische Geschwindigkeitshalteunterstützung und Verkehrszeichenassistenten

Mit Hilfe der optischen Geschwindigkeitshalteunterstützung und der Verkehrszeichenassistenten wird dem Fahrer die Aufgabe abgenommen, dass er jedes Verkehrszeichen wahrnehmen, verarbeiten und sich dessen Information merken muss. Dazu wird bei einer Vorbeifahrt an einem Verkehrszeichen dieses als Symbol im HUD für dessen Gültigkeitsdauer angezeigt. In Abbildung 3.3-9 ist auf der linken Seite gezeigt, wie dies für eine erlaubte Geschwindigkeit von 60 km/h und ein herrschendes Überholverbot aussieht. Um diese Funktion darstellen zu können, sind die absoluten Koordinaten der Verkehrszeichen in dem in Abbildung 3.1-3 gezeigten Kontext Provider hinterlegt. Durch die Vorbeifahrt an einem Verkehrszeichen wird ein entsprechender Event generiert, der die Anzeige des Zeichens auslöst. Wie man in Abbildung 3.3-9 sehen kann, wird das Symbol, das die erlaubte Höchstgeschwindigkeit angibt, direkt unterhalb der digitalen Rückmeldung der Istgeschwindigkeit angezeigt. Somit erfüllt dieses Anzeigekonzept die Forderungen aus Kapitel 2.4, wonach die beiden Werte möglichst nahe beieinander dargestellt werden sollten.



Abbildung 3.3-9: Darstellung der Verkehrszeichensymbolik im HUD

Bei der Anzeige der erlaubten Höchstgeschwindigkeit kann zwischen zwei Modi gewechselt werden. Im ersten Modus wird die Anzeige der Geschwindigkeit bei der Vorbeifahrt an dem realen Schild ausgelöst. Im zweiten Modus wird anhand der aktuellen Geschwindigkeit, der Entfernung zu dem kommenden Verkehrszeichen sowie einer mittleren Verzögerung durch die Fahrwiderstandskräfte berechnet, zu welchem Zeitpunkt der Fahrer seinen Fuß vom Gaspedal nehmen muss, um nur durch die Fahrwiderstandskräfte auf die kommende Geschwindigkeitsbeschränkung zu verzögern. Zu diesem Zeitpunkt wird dann wie in Abbildung 3.3-9 auf der rechten Seite zu sehen, die kommende Geschwindigkeitsbeschränkung in Form eines grau

eingefärbten Verkehrszeichens eingeblendet. Nimmt der Fahrer dann den Fuß vom Gas, erreicht er mit der richtigen Geschwindigkeit den neuen Geschwindigkeitsbereich. Sind die optische Geschwindigkeitshalteunterstützung und das aktive Gaspedal miteinander gekoppelt, dient die Anzeige des grau eingefärbten Symbols zusätzlich als Erklärung für die Handlungen des aktiven Gaspedals, dessen Druckpunkt dem Fahrer zeitgleich mit dem Erscheinen des Symbols entgegenkommt.

3.3.3 Optische Abstandshalteunterstützung und Voranzeige der Nachführgröße

Dieses Assistenzsystem verfolgt zwei Ideen. Mit Hilfe der kontaktanalogen Abstandshalteunterstützung soll der Fahrer beim Einhalten eines korrekten Sekundenabstandes unterstützt werden. Dazu wird in einer Entfernung von 1,5s vor dem Fahrzeug ein Balken kontaktanalog in die Realität projiziert, der dem Fahrer den einzuhaltenden Abstand anzeigt. Mittels der Voranzeige der Nachführgröße wird dem Fahrer angezeigt auf welcher Bahn sich das Fahrzeug mit dem aktuellen Lenkradeinschlag bewegen wird und welchen Freiraum es dafür auf der Straße benötigt. Dadurch soll erreicht werden, dass der Fahrer die Querdynamik des Fahrzeuges besser antizipieren kann, was sich in einer besseren Spurhaltung ausdrücken sollte.

Zur Berechnung des Bewegungstrajektorie wird das nachstehend gezeigte Einspurmodell nach *Riekert, P. & Schunk, T.E. (1940)* verwendet (siehe Abbildung 3.3-10), welches um den Abstandsbalken und die den Fahrschlauch seitlich begrenzenden Linien erweitert ist.

Anhand der Gleichungen des Einspurmodells erhält man für den Radius der Kreisbahn, auf der sich das Fahrzeug in Abhängigkeit des Vorderradwinkels bewegt folgenden Zusammenhang:

$$R = \frac{l}{\delta_v}$$

Formel 3.3-1: Zusammenhang zwischen Vorderradwinkel und Radius der Kreisbahn

Dabei ist δ_v der aktuelle Winkeleinschlag des Vorderrades, l der Abstand zwischen Vorder- und Hinterachse und R der Radius der Kreisbahn.

Dieses Assistenzsystem ist in zwei unterschiedlichen Darstellungsvarianten realisiert, welche man in Abbildung 3.3-11 sehen kann.

Auf der linken Seite ist die als „Balkenanzeige“ bezeichnete Variante dargestellt. Hierbei werden der einzuhaltende Abstand und die Voranzeige der Nachführgröße über einen Balken dargestellt, der in einer Entfernung von 1,5s mal der gefahrenen Geschwindigkeit (in m/s) auf dem in Abhängigkeit des Vorderradwinkels gefahrenen Bahnradius vor dem Fahrzeug herfährt. Die Breite B_F des Balkens entspricht dabei der Breite des eigenen Fahrzeuges.

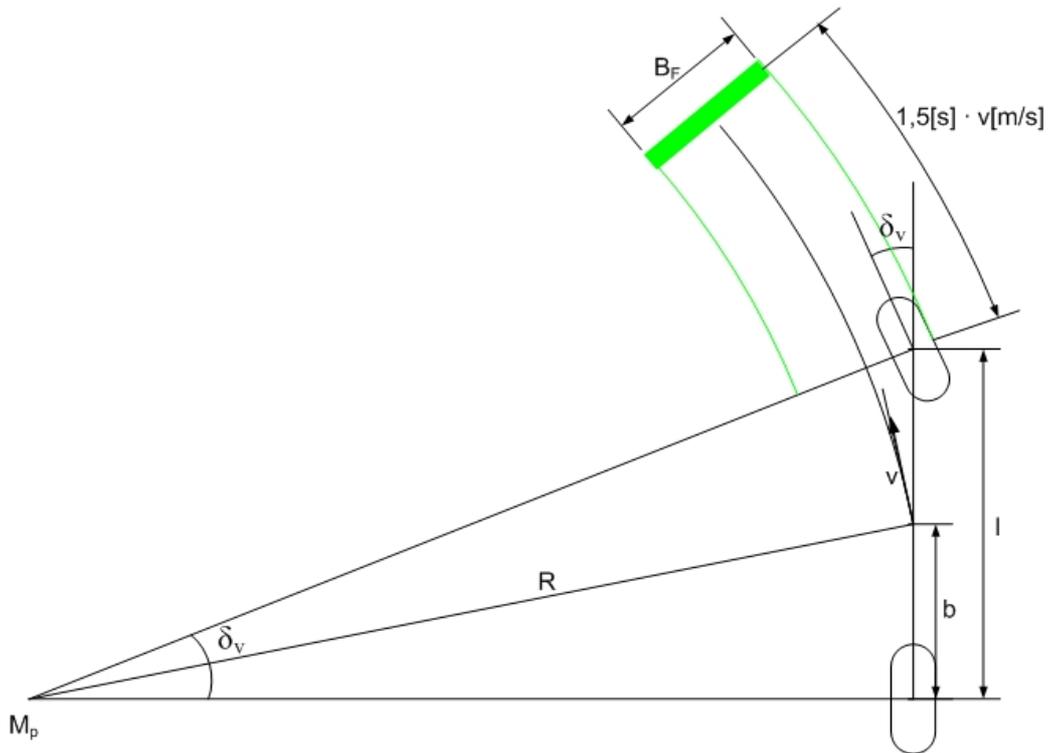


Abbildung 3.3-10: Einspurmodell nach Riekert, P. & Schunk, T.E. (1940) erweitert um den Abstandsbalken und die den Fahrschlauch seitlich begrenzenden Linien

Bei der als „Schlauch“ bezeichneten Version (siehe Abbildung 3.3-11 rechts) werden neben dem Balken noch die den Fahrschlauch seitlich begrenzenden Linien dargestellt. Dazu wird jeweils rechts und links des berechneten Bahnradius eine weitere Linie im Abstand von plus und minus der halben Fahrzeugbreite gezeichnet, welche parallel zu dem Bahnradius verläuft. Die Breite B_F des Abstandsbalkens und der Abstand der den Fahrschlauch begrenzenden Linien entsprechen exakt der Breite des eigenen Fahrzeuges in der jeweiligen Entfernung.



Abbildung 3.3-11: Optische Abstandshalteunterstützung und Voranzeige der Nachführgröße. Links die sogenannte „Balkenanzeige“ und rechts die als „Schlauchanzeige“ bezeichnete Darstellung

3.3.4 Haptische Querführungsassistenz mittels eines aktiven Lenkrades

Ziel der haptischen Querführungsassistenz mittels eines aktiven Lenkrades ist es, den Fahrer bei seiner Querführungsaufgabe zu unterstützen, indem am Lenkrad ein korrigierendes Lenkmoment aufgeschaltet wird, wenn das Fahrzeug droht die Spur zu verlassen.

Zur Generierung dieses Momentes wird der bereits im Simulatorfahrzeug vorhandene Drehmomentmotor zur Simulation des Lenkmomentes verwendet sowie auf den von Penka (2000) entwickelten Algorithmus zur Berechnung eines solchen Zusatzmomentes zurückgegriffen.

Das in dieser Arbeit verwendete Spurhaltesystem wird als so genanntes "Korridorsystem" bezeichnet. Dabei kann sich der Fahrer innerhalb der Spur frei bewegen und wird lediglich an den Spurrändern durch das System unterstützt. Diese Auslegung verfolgt das gleiche Grundkonzept wie das aktive Gaspedal, bei dem sich der Fahrer auch innerhalb des erlaubten Geschwindigkeits- und Abstandsbereiches frei bewegen kann und lediglich die Grenzen spürbar angezeigt bekommt.

Zur Berechnung des zusätzlichen Lenkmomentes wird als Eingangsgröße die Querabweichung von der Idealspur verwendet. Als Idealspur nimmt man genau die Mittellinie zwischen rechtem und linkem Spurrand an. Nach dem in Formel 3.3-2 gezeigten Verfahren berechnet sich anhand der Abweichung von dieser Ideallinie ein Offsetwert. Dieser wird dann zu dem tatsächlich am Lenkrad vorhandenen Lenkwinkel addiert und dann das sich für diesen Lenkwinkel ergebende Moment bestimmt. Das daraus resultierende Lenkrückstellmoment wird daraufhin dem Fahrer am aktiven Lenkrad über den Momentenmotor ausgegeben.

$$\text{Offset} = \begin{cases} x_1^2 - 2x_1^4 + x_1^6 & \text{mit } x_1 = \frac{1}{1-b_k}(x+b_k) & \text{für } -1 < x < -b_k \\ 0 & & \text{für } -b_k < x < b_k \\ x_2^2 - 2x_2^4 + x_2^6 & \text{mit } x_1 = \frac{1}{1-b_k}(x-b_k) & \text{für } b_k < x < 1 \end{cases}$$

Formel 3.3-2: Formel zur Berechnung des Offsets

In Formel 3.3-2 ist b_k die Breite des Korridors in Prozent der Spurbreite und x das Verhältnis zwischen momentaner Querabweichung vom Idealkurs und der Querabweichung beim Überfahren der Fahrbahnmarkierung.

Über die Größe von b_k kann man den Bereich bestimmen, in dem sich der Fahrer ohne zusätzliches Lenkmoment innerhalb der Spur frei bewegen kann. Im Rahmen kurzer Akzeptanztests wurde ermittelt, dass ein Wert von $b_k = 0,27$ als angenehm und nicht bevormundend empfunden wird. Die nachstehende Abbildung 3.3-12 zeigt die resultierende Lenkmomentenkurve für $b_k = 0,27$. Bei einem Wert von $b_k = 0,27$ kann sich der Fahrer auf einer 5m breiten Spur mit dem Mittelpunkt seines Fahrzeuges jeweils 67,5cm links und rechts von der Spurmitte bewegen, ohne dass ein korrigierendes Lenkmoment aufgeschaltet wird (siehe Abbildung 3.3-12). Ferner ist anzumerken, dass das Zusatzmoment der Querführungsassistenz beim Setzen des Blinkers automatisch deaktiviert wird.

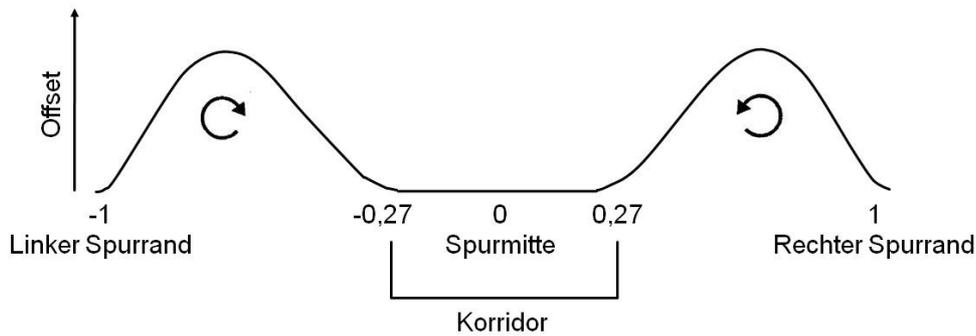


Abbildung 3.3-12: Verlauf des korrigierenden Lenkmomentes für $b_k = 0,27$

3.3.5 Optische Querführungsassistenz

Ziel der optischen Querführungsassistenz ist es, das Spurhaltevermögen des Fahrers zu verbessern, indem eine Warnung ausgegeben wird, wenn das Fahrzeug droht die Spur zu verlassen.

Diese optische Ausgabe wird kontaktanalog in Form eines roten Dreiecks auf der entsprechenden Seite des vorstehend beschriebenen Abstandsbalkens angezeigt (siehe Abbildung 3.3-13). Die Spitze des roten Dreiecks zeigt dabei in die Richtung der am Lenkrad erforderlichen Lenkkorrektur. Ein Setzen des Blinkers deaktiviert die Ausgabe des roten Dreiecks auf der entsprechenden Seite der Spur. Beim Zurücksetzen des Blinkers wird die Anzeige wieder aktiviert.

Das Erscheinen der optischen Warnung wird anhand der Spurposition des eigenen Fahrzeuges gesteuert. Kommen der rechte oder der linke Rand des Fahrzeuges der Fahrbahnbegrenzung näher als 45cm, wird die Anzeige des entsprechenden roten Dreiecks ausgelöst. Dieser Abstand vom Spurrand ist so gewählt, dass das Warndreieck genau dann erscheint, wenn das vorstehend beschriebene haptische Korrekturmoment am Lenkrad die Wahrnehmungsschwelle überschreitet.

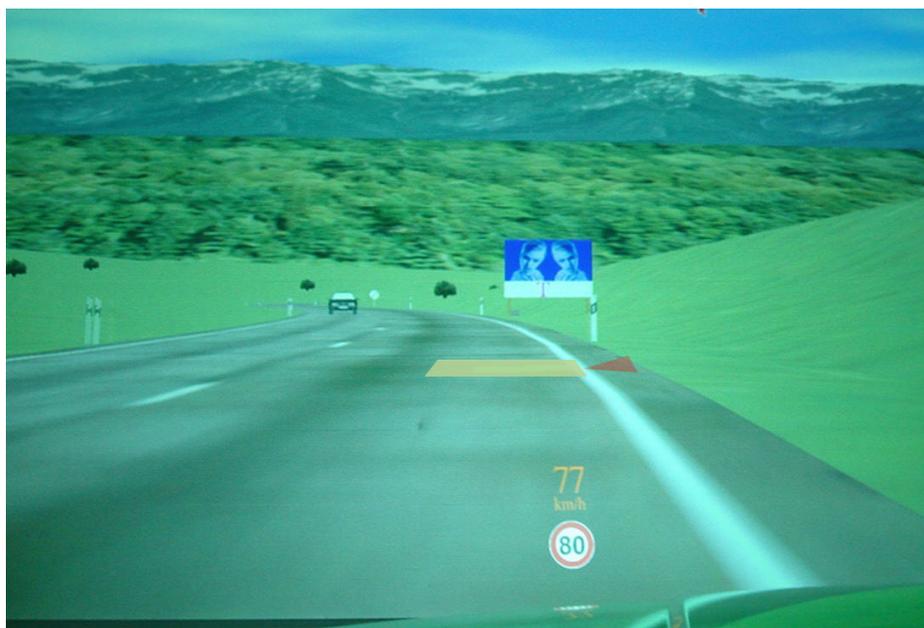


Abbildung 3.3-13: Kontaktanaloge optische Querführungsassistenz

3.3.6 Semiautomatisierte Längsführungsassistenz mittels Adaptive Cruise Control ACC

Bei der semiautomatisierten Längsführungsassistenz mittels Adaptive Cruise Control (ACC) wird dem Fahrer die Aufgabe der Geschwindigkeits- und Abstandshaltung von einer Automatik abgenommen. Die Vorgabe der richtigen Geschwindigkeit und des gewünschten Sekundenabstandes an den Automaten verbleibt jedoch weiterhin in seiner Hand. Ziel dieser Form der Assistenz ist es, den Fahrer bei seiner Längsführungsaufgabe zu unterstützen, mit dem Nachteil, dass er teilweise aus dem Regelkreis genommen wird.

Die Wunschgeschwindigkeit und den Wunschabstand gibt der Fahrer mittels des in dem BMW E64 Simulatorfahrzeug vorhandenen ACC-Lenkstockhebels vor. Diese beiden Größen dienen als Eingangswerte für den ACC-Regler. Er funktioniert nach dem gleichen Prinzip, wie der in Abbildung 3.3-7 gezeigte AGP-Regelalgorithmus. Der einzige Unterschied besteht darin, dass im Gegensatz zum AGP bei der ACC-Funktion versucht wird, die vorher bestimmte Sollbeschleunigung a_{soll} mittels Variation der Fahrdynamikeingangswerte (Gaspedal- und Bremspedalstellung) zu erreichen. Die maximal mögliche Verzögerung durch das ACC-System ist wie bei den momentan auf dem Markt befindlichen Systemen auf -3 m/s^2 beschränkt. Ferner ist wichtig, dass der Fahrer das ACC-System jederzeit überstimmen kann. Betätigt er das Bremspedal wird dadurch das ACC-System deaktiviert. Gibt der Fahrer am Gaspedal eine größere Beschleunigung vor als durch den ACC-Regler berechnet, wird dieser Beschleunigungswunsch in der Fahrdynamik umgesetzt und nicht der ACC-Wert.

4 Grundlagen der Versuchsmethodik und Statistik

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Planung und Auswertung empirischer Untersuchungen. Dazu wird zunächst auf die wichtigsten versuchsmethodischen Grundlagen eingegangen. Diese sind hilfreich, um das gewählte Versuchsdesign für die im Kapitel 6 folgenden Experimente nachvollziehen zu können. Danach werden die statistischen Methoden zur Analyse der in den Versuchen gewonnenen Daten vorgestellt. Hierzu werden Verfahren der deskriptiven Statistik und der Interferenzstatistik angewendet. Für weiterführende Informationen zu dieser Thematik wird auf die einschlägige Fachliteratur, wie beispielsweise *Heller (1974)* oder *Bortz (2005)*, verwiesen.

4.1 Versuchsmethodische Grundlagen

Im Rahmen der versuchsmethodischen Grundlagen wird zunächst auf das Experiment und seine Definition sowie auf den Variablenbegriff eingegangen. Im Weiteren werden die Hypothesenbildung und –überprüfung erläutert sowie die verschiedenen Messskalen vorgestellt.

Allgemein ist das Experiment eine Sonderform der Beobachtung. Es bewirkt nach *Traxel (1964)* eine „absichtliche, planmäßige Auslösung eines Vorganges zum Zweck der Beobachtung“. Nach *Heller (1974)* gibt es fünf unverzichtbare Bestimmungsstücke eines Experiments. Das sind erstens die objektive Beobachtung, zweitens die strenge Kontrolle der Untersuchungssituation und drittens die willkürliche Einwirkung sowohl auf die Entstehung als auch auf den Verlauf im Sinne einer systematischen Isolierung versus Manipulation der unabhängigen Variablen. Das vierte Teilstück ist die Wiederholbarkeit. Aufgrund dieser Forderung muss die Versuchsmethode eindeutig dargelegt werden, damit das Experiment jederzeit reproduziert werden kann. Die fünfte und letzte Forderung an ein Experiment ist die Kontrollierbarkeit.

Neben der Erläuterung des Experiments ist es notwendig, auf den Variablenbegriff näher einzugehen. Dabei wird in so genannte unabhängige und abhängige Variablen unterschieden. Erstere wird im Rahmen eines Experiments vom Versuchsleiter gezielt manipuliert und ihr Einfluss auf eine oder mehrere abhängige Variablen gemessen. Nach *Bredenkamp (1969)* ist es das Ziel eines nach der vorliegenden Definition durchgeführten Experiments, herauszufinden, ob „als Folge der Variierung der experimentellen Bedingungen (unabhängige Variable) die abhängige Variable kovariiert.“ Übertragen auf die hier vorliegende Arbeit ist die unabhängige Variable beispielsweise der Grad an Unterstützung durch ein Assistenzsystem, die abhängige Variable zum Beispiel die davon abhängende Fähigkeit des Fahrers die Spur zu halten. Kapitel 5 gibt eine erläuternde Übersicht über sämtliche in dieser Arbeit verwendeten abhängigen Variablen zur Untersuchung der Fahrleistung und des Fahrerverhaltens.

Wenn ein Sachverhalt erforscht werden soll, sind hierfür zunächst Hypothesen zu formulieren. Dabei wird in der Statistik in Zusammenhangs- und Unterschiedshypothesen unterschieden, welche mit den Mitteln der Korrelationsstatistik und der Interferenzstatistik untersucht werden.

Mittels einer Hypothese wird versucht, eine mögliche Antwort auf die zu untersuchende Fragestellung zu geben. Nach *Heller (1974)* gibt es vier Forderungen an experimentelle Hypothesen. Eine Hypothese muss erstens eine adäquate Antwort

auf ein spezifisches Problem, das klar definiert ist, geben. Zweitens sollte sie stets die einfachste Antwort auf ein Problem erlauben. Drittens und viertens sollte sie entweder verifizierbar oder falsifizierbar sein.

Basierend auf den Erwartungen an das Experiment muss eine so genannte Alternativhypothese H_1 und die dazu passende Nullhypothese H_0 formuliert werden. Die Alternativhypothese vertritt immer den Standpunkt, dass ein Unterschied zwischen Eigenschaften besteht, während die Nullhypothese stets behauptet, es ist kein Unterschied zwischen den jeweiligen Eigenschaften vorhanden. Den Annahmen des Experimentators entspricht dabei meistens die Alternativhypothese. Die mathematische Formulierung dieser zwei Annahmen sieht wie folgt aus:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Dabei entspricht μ_1 dem Mittelwert der Gesamtpopulation für die erste und μ_2 für die zweite Variante.

Hinsichtlich der Nullhypothese H_0 wird außerdem noch in einseitige versus zweiseitige Fragestellung unterschieden. Bei der zweiseitigen Formulierung der Nullhypothese wird keinerlei Aussage über die Richtung des möglichen Unterschiedes zwischen Versuchsvarianten gemacht. Dagegen wird bei der einseitigen Formulierung ausgedrückt, zu wessen Gunsten ein Unterschied erwartet wird. Für die einseitige Formulierung der Nullhypothese ist jedoch das Vorliegen von empirischem Vorwissen bezüglich der Richtung des erwarteten Unterschiedes unabdingbar. Der Unterschied in der ein- bzw. zweiseitigen Formulierung besteht darin, dass die Stichprobentests bei der einseitigen Fragestellung „stärker“ sind und somit leichter signifikant werden. Mittels der passenden statistischen Verfahren werden dann die formulierten Hypothesen aufgrund der vorliegenden Messdaten untersucht. Anhand welcher Kriterien diese Verfahren ausgewählt werden, wird unter dem Punkt *statistische Methoden* erläutert.

Abschließend wird bei der Darstellung der Grundlagen noch auf die Kriterien eingegangen, welche über die Annahme oder Ablehnung der Alternativ- bzw. Nullhypothese bestimmen. Bei der Entscheidung für die eine oder die andere Hypothese können zwei unterschiedliche Fehler gemacht werden. Wird fälschlicherweise die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen, begeht man den so genannten α -Fehler oder den Fehler erster Art. Behält man aber die Nullhypothese bei, obwohl die Alternativhypothese zutrifft, macht man einen β -Fehler oder Fehler zweiter Art (siehe Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Möglichkeitsmatrix für das Begehen eines α - oder β -Fehlers bei interferenzstatistischen Entscheidungen

		Realität	
		H_0	H_1
Aufgrund des Experiments	Beibehalten der: H_0	Richtige Entscheidung	β -Fehler
	Annahme der: H_1	α - Fehler	Richtige Entscheidung

Der α -Fehler stellt die Irrtumswahrscheinlichkeit oder auch α -Fehlerwahrscheinlichkeit dar, mit der fälschlicherweise die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen wird. Dabei gibt das Signifikanzniveau die Grenze für die Irrtumswahrscheinlichkeit an, bei der die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese verworfen wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird für die vorliegenden Explorationsexperimente das Signifikanzniveau auf 5% festgelegt. Ist der α -Fehler kleiner oder gleich 5%, spricht man von einem signifikanten Unterschied. Ist er kleiner als 1%, von einem hochsignifikanten. Wird ein Wert von 0,1% unterschritten, besteht ein höchstsignifikanter Unterschied.

Überschreitet der α -Fehler das Signifikanzniveau von 5%, darf nicht automatisch die Nullhypothese als richtig angenommen werden. Erst wenn der α -Fehler größer als 25% ist, wird die Nullhypothese beibehalten. In diesem Fall besteht dann das Risiko eines β -Fehlers, was bedeutet, dass man fälschlicherweise die Nullhypothese aufrecht erhält, obwohl es einen Unterschied zwischen den Versuchsvarianten gibt. Der β -Fehler kann jedoch nicht direkt aus dem α -Fehler bestimmt werden. Liegt der α -Fehler in dem Bereich zwischen 5% und 25%, kann weder die Nullhypothese abgelehnt noch die Alternativhypothese angenommen werden. In diesem Fall können für den vorliegenden Sachverhalt keine statistisch abgesicherten Aussagen gemacht werden.

Abbildung 4-1 zeigt grafisch den Zusammenhang von α - und β - Fehler-Wahrscheinlichkeit, wenn der gemessene Mittelwert \bar{x} variiert. Wird \bar{x} größer nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, bei einer Entscheidung zugunsten der Alternativhypothese H_1 einen α -Fehler zu begehen. Parallel dazu erhöht sich die Wahrscheinlichkeit des β -Fehlers, was bedeutet, dass Entscheidungen zugunsten der H_0 mit größer werdendem \bar{x} immer unwahrscheinlicher werden. Dementsprechend nimmt die β -Fehler-Wahrscheinlichkeit ab, wenn \bar{x} kleiner wird, wogegen dann die Wahrscheinlichkeit einer irrtümlichen Annahme der H_1 zunimmt.

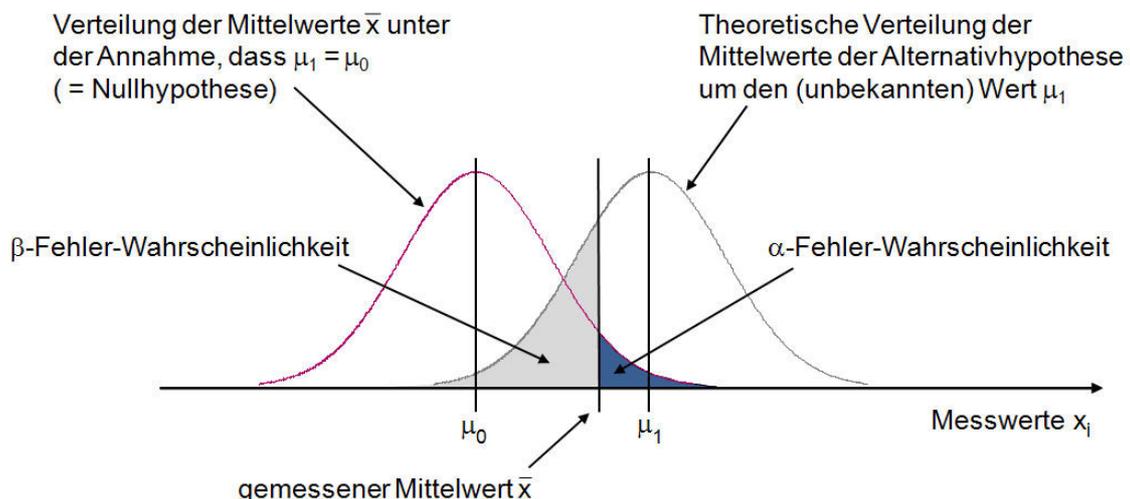


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung von α -Fehler-Wahrscheinlichkeit und β -Fehler-Wahrscheinlichkeit (aus Bubb, 2003)

4.2 Statistische Methoden

Im Folgenden werden die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten statistischen Methoden erläutert. Dabei wird zunächst auf die Mittel der deskriptiven Statistik und dann auf die der Interferenzstatistik eingegangen.

4.2.1 Deskriptive Statistik

Als deskriptive Statistik werden alle Methoden bezeichnet, die zur Beschreibung von vorhandenen Messdaten dienen. Hierzu werden Perzentile, der Median, Minimum und Maximum sowie das arithmetische Mittel und die Standardabweichung einer Verteilung bestimmt. Die Auswahl der entsprechenden deskriptiven Statistik hängt dabei von der Messskala und der Verteilungsform der Daten ab.

Beim Skalenniveau wird in Nominalskala, Ordinalskala, Intervallskala und Verhältnisskala unterteilt (siehe Tabelle 4-2). Mit der Nominalskala werden nur Positionen unterschieden, die bzgl. eines Merkmals gleich oder äquivalent sind. Beispiele für eine Nominalskala ist das Geschlecht einer Person oder die Rückennummer von Fußballspielern. Die nächsthöhere Stufe stellen Daten auf Ordinalskalenniveau dar, welche neben der Zuordnung zu bestimmten Klassen (Äquivalenz) zusätzlich eine Rangordnung erlauben. Zu den Ordinaldaten zählen beispielsweise militärische Ränge. Daten auf Nominal- und Ordinalskalenniveau werden als so genannte nicht-parametrische Werte bezeichnet. Mit ihnen sind rechnerische Transformationen wie die Mittelwertbildung nicht erlaubt. Zur Gruppe der metrischen Skalen zählen die Intervall- und die Verhältnisskala. Daten auf diesem Niveau genügen, ebenso wie die nicht-metrischen Daten, dem Kriterium der Äquivalenz und erlauben eine Rangordnung. Zusätzlich kommt bei den metrischen Daten die Forderung nach der Intervallkonstanz hinzu. Der Unterschied zwischen den beiden metrischen Skalen ist, dass Daten auf Verhältnisskalenniveau als zusätzliches Kriterium einen absoluten Nullpunkt benötigen, während dieser bei Daten auf Intervallskalenniveau nur konventionell festgelegt ist. Die Temperaturmessung stellt ein Beispiel für eine Intervallskala dar, denn „0°C“ bedeuten nicht, dass es keine Temperatur gibt. Die metrischen Skalen erlauben alle mathematischen Transformationen wie Mittelwertbildung und Berechnung der Standardabweichung. Bei Daten auf dem Niveau der Verhältnisskala dürfen jedoch, im Gegensatz zur Intervallskala, noch zusätzlich Quotienten gebildet werden.

Tabelle 4-2: Unterschiedliche Skalenniveaus und ihre Charakteristika (nach Bortz, 2005)

	Skalenart	Mögliche Aussagen	Beispiele
Nicht-metrisch	Nominalskala	Gleichheit, Verschiedenheit	Geschlecht, Rückennummern
	Ordinalskala	Größer-Kleiner Relationen	Militärische Ränge
Metrisch	Intervallskala	Gleichheit von Differenzen	Temperatur, Schulnoten
	Verhältnisskala	Gleichheit von Verhältnissen	Längenmessung, Gewichtsmessung

Ein weiteres Kriterium bei der Wahl der richtigen Mittel der deskriptiven Statistik ist die Verteilungsform der Daten. Dabei ist es an dieser Stelle nur wichtig, ob die Verteilungsform einer Normalverteilung entspricht oder nicht. Das lässt sich mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüfen, der die Daten hinsichtlich einer signifikanten Abweichung von der Normalverteilung untersucht. Diese weichen dann signifikant von der Normalverteilung ab, wenn sich ein α -Fehler von kleiner 0,05 ergibt.

Nachstehend werden die in dieser Arbeit verwendeten Methoden der deskriptiven Statistik erläutert und die zur Bildung dieser Kennwerte nötigen Voraussetzungen genannt. Dies sind Perzentile und der Median, Minimum und Maximum sowie das arithmetische Mittel und die Standardabweichung.

Die Perzentilskala ist eine Rangskala und reicht von „0“ bis „100“ Punkten. Im Rahmen der Arbeit wird das 15. Perzentil verwendet. 15. Perzentil bedeutet, dass sich 15% aller Messwerte unterhalb davon und 85% oberhalb davon befinden. Der Median ist der Punkt in einer Verteilung, über dem 50% der Fälle liegen und unter dem 50% der Fälle liegen. Er entspricht somit dem 50. Perzentil. Die Bildung von Perzentilen und damit auch des Medians setzt Daten auf Ordinalskalenniveau voraus, nicht jedoch Intervallskalenniveau und Normalverteilung. Minimum und Maximum sind die jeweils kleinsten und größten Werte einer Verteilung und bedingen ebenfalls Daten nur auf Ordinalskalenniveau. Das arithmetische Mittel ist die Summe aller Werte, dividiert durch die Anzahl aller Werte. Damit man das arithmetische Mittel bilden darf, müssen bereits Daten auf Intervallskalenniveau vorliegen, die symmetrisch verteilt sind. Zur Berechnung der Standardabweichung müssen ebenfalls die gleichen Voraussetzungen erfüllt sein. Die Standardabweichung s kennzeichnet die Variabilität einer Verteilung und ist der positive Wert der Quadratwurzel der Varianz (s^2). Die Varianz ist die Summe der quadrierten Abweichungen aller Messwerte vom arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl aller Messwerte.

4.2.2 Interferenzstatistik

Die Interferenzstatistik dient dem Ziehen von statistischen Schlüssen. Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie lassen sich Stichprobenergebnisse verallgemeinern, was, nur mit den Methoden der deskriptiven Statistik, nicht möglich ist. Das Resultat einer interferenzstatistischen Untersuchung zeigt, ob ein Ergebnis zufällig oder überzufällig ist. Um aus einer Untersuchung Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, muss nachgewiesen werden, dass die gefundenen Resultate überzufälliger Art sind, was bedeutet, es hat mit einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit kein Zufall die Ergebnisse bestimmt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Reihe an interferenzstatistischen Tests verwendet. Das sind der Kolmogorov-Smirnov-Test, die Varianzanalyse, der t-Test, der Friedmann-Test und der Wilcoxon-Test.

Ähnlich wie bei den Methoden der deskriptiven Statistik müssen auch für die Methoden der Interferenzstatistik gewisse Voraussetzungen erfüllt sein. Die Auswahl des entsprechenden statistischen Verfahrens hängt von der Stichprobe, vom Messdatenniveau und der Anzahl der zu vergleichenden Varianten ab. Dabei wird in abhängige oder unabhängige bzw. verbundene oder unverbundene Stichproben unterschieden.

Unter einer Stichprobe wird in der Interferenzstatistik eine Teilmenge aus einer Population verstanden. Sie wird dann als abhängig bzw. verbunden bezeichnet, wenn jeder Proband alle Versuchsausprägungen erlebt. Unabhängig bzw. unverbunden ist sie, wenn die eine Versuchsvariante nur von der einen Personengruppe und die andere Versuchsvariante von einer anderen Personengruppe durchgeführt wird. Der Vorteil der verbundenen Stichprobe liegt darin, dass signifikante Veränderungen leichter nachzuweisen sind, weil Varianzen zwischen den Versuchspersonen statistisch herausgerechnet werden. Der Nachteil der verbundenen Stichprobe ist, dass dieselbe Versuchsperson alle Versuchsvarianten kennen lernt. Somit überträgt sie Kenntnisse und Vorwissen, die sie bei der einen Variante erlernt hat, auf die Fähigkeit im Umgang mit der anderen Variante. Dieser so genannte Transfereffekt kann zwar nicht beseitigt werden, jedoch kann sein Einfluss auf das Ergebnis durch einen permutierten Versuchsplan, bei dem jeder Proband die Versuchsvarianten in einer anderen Reihenfolge erlebt, gemindert werden.

Um statistisch abgesicherte Aussagen machen zu können spielt auch die Größe der Stichprobe eine wichtige Rolle. *Bubb (2003)*, gibt zur Berechnung der nötigen Zahl an Versuchspersonen, in Abhängigkeit der Anzahl an Versuchsvarianten, den in Formel 4-1 dargestellten Zusammenhang an:

$$n = k!$$

Formel 4-1: Zusammenhang zur Berechnung der nötigen Zahl an Probanden in Abhängigkeit der Anzahl an Versuchsvarianten

Dabei ist n die Zahl an nötigen Versuchspersonen und k die Anzahl an Versuchsvarianten. Somit ergibt sich für vier Versuchsvarianten eine Mindestzahl von 24 Probanden.

Im Folgenden wird erläutert, wie, ausgehend von den im Experiment gewonnenen Messdaten, der richtige statistische Test ausgewählt wird. Dieser Vorgang ist in dem Entscheidungsbaum in Abbildung 4-2 grafisch dargestellt. Da es sich bei den Experimenten, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt werden, stets um verbundene Stichproben handelt, wird die Testauswahl nur für diese Stichprobenform erläutert. Zunächst werden die gewonnenen Daten mittels des Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung hin untersucht. Ergibt der Test eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung, sind nicht-parametrische Tests zur Hypothesenprüfung anzuwenden. Sind die Daten normalverteilt, ist zu prüfen, ob es sich um metrische oder nichtmetrische Daten handelt. Liegen nicht-metrische Daten vor, also solche auf Nominal- oder Ordinalskalenniveau, müssen, trotz bestehender Normalverteilung, nicht-parametrische Tests zur Überprüfung der statistischen Bedeutsamkeit herangezogen werden. So genannte parametrische Verfahren kommen zum Einsatz, wenn die Daten normalverteilt sind und mindestens Intervallskalenniveau haben. Sind mehr als zwei Versuchsvarianten auf signifikante Unterschiede hin zu untersuchen, werden die Daten bei den parametrischen Tests zunächst „global“ mittels einer Varianzanalyse für abhängige Stichproben analysiert. Ergibt sie keine globalen signifikanten Unterschiede, hat die unabhängige keinerlei Einfluss auf die abhängige Variable. Somit sind weitere paarweise Vergleiche mittels eines t-Tests überflüssig. Bei den nicht-parametrischen Verfahren ist der Friedmann-Test das Gegenstück zur Varianzanalyse, um die Daten global hinsichtlich signifikanter Unterschiede hin zu untersuchen. Ergeben die Varianzanalyse bzw. der Friedmann-Test globale signifikante Unterschiede, sind die Daten mittels paarweiser

Vergleiche bezüglich statistisch bedeutsamer Unterschiede zu analysieren. Bei den parametrischen Verfahren kommt hierfür der t-Test für abhängige Stichproben zum Einsatz. Bei den nichtparametrischen Verfahren ist das Pendant zum t-Test der Wilcoxon-Test. Ist der α -Fehler des entsprechenden statistischen Verfahrens kleiner oder gleich 5%, kann mit der akzeptierten Irrtumswahrscheinlichkeit ein statistisch bedeutsamer Einfluss der unabhängigen Variable nachgewiesen werden.

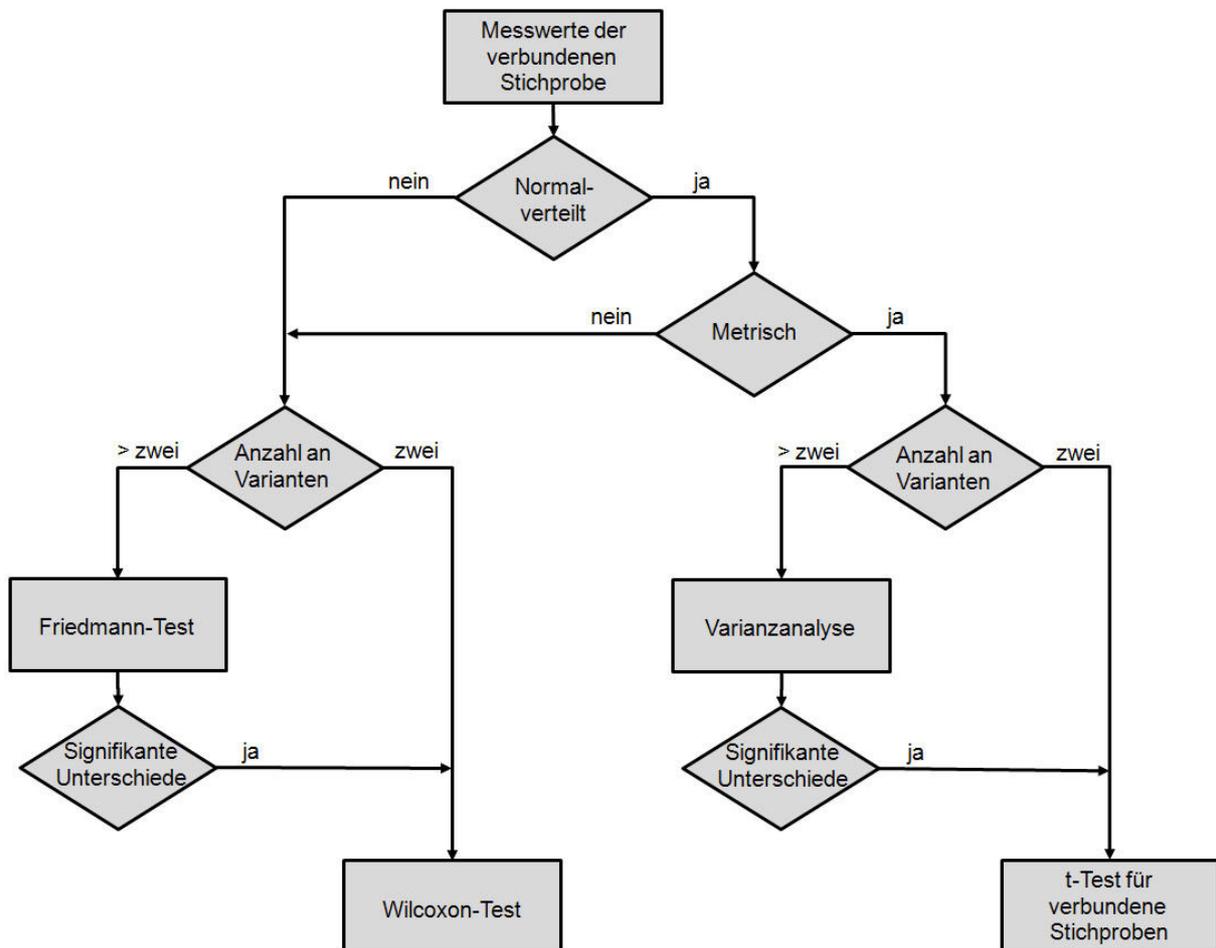


Abbildung 4-2: Entscheidungsbaum zur Auswahl des richtigen statistischen Tests für verbundene Stichproben

5 Kennwerte zur Evaluierung von Fahrerassistenzsystemen

Im Folgenden wird ein Überblick über die objektiven und subjektiven Mess- und Kennwerte gegeben, die in den Versuchsreihen in Kapitel 6 verwendet werden, um die ergonomische Güte von Fahrerassistenzsystemen zu bestimmen. Als objektive Messgrößen dienen die Werte, die mit dem Data Recorder des Fahrsimulators aufgezeichnet werden sowie die Daten, die das Blickfassungssystem Dikablis aufnimmt. Darüber hinaus werden mittels Fragebögen subjektive Messwerte aufgenommen, wodurch man von den Versuchspersonen eine Beurteilung der Systemvarianten erhält.

Die objektiven und subjektiven Mess- und Kennwerte werden in folgende Gruppen unterteilt:

- Objektive Messwerte:
 - Fahrperformance
 - Blickverhalten
- Subjektive Messwerte:
 - Fahrperformance
 - Belastung/Beanspruchung
 - Gefallen/Akzeptanz

5.1 Objektive Messwerte

Nachstehend werden die objektiven Kennwerte genannt und erläutert, welche zur Beurteilung der ergonomischen Güte von Fahrerassistenzsystemen bzw. zur Bewertung der Ablenkungswirkung bei der Bedienung dieser Systeme herangezogen werden. Diese sind in Werte für die Fahrperformance, das Blickverhalten und die Bedienleistung eingeteilt.

5.1.1 Fahrperformance

Zur Beurteilung der Fahrperformance unterscheidet man in longitudinale und laterale Kennwerte. Die longitudinalen Kennwerte werden wie folgt klassifiziert:

- Geschwindigkeitshaltung
- Abstandshaltung
- Gaspedalbasierte Maße

Die Kennwerte zur Beurteilung der lateralen Fahrperformance umfassen:

- Lenkradbasierte Maße
- Spurhaltebasierte Maße

Nachfolgend werden zunächst die longitudinalen und daraufhin die lateralen Kennwerte erläutert.

5.1.1.1 Geschwindigkeitshaltung

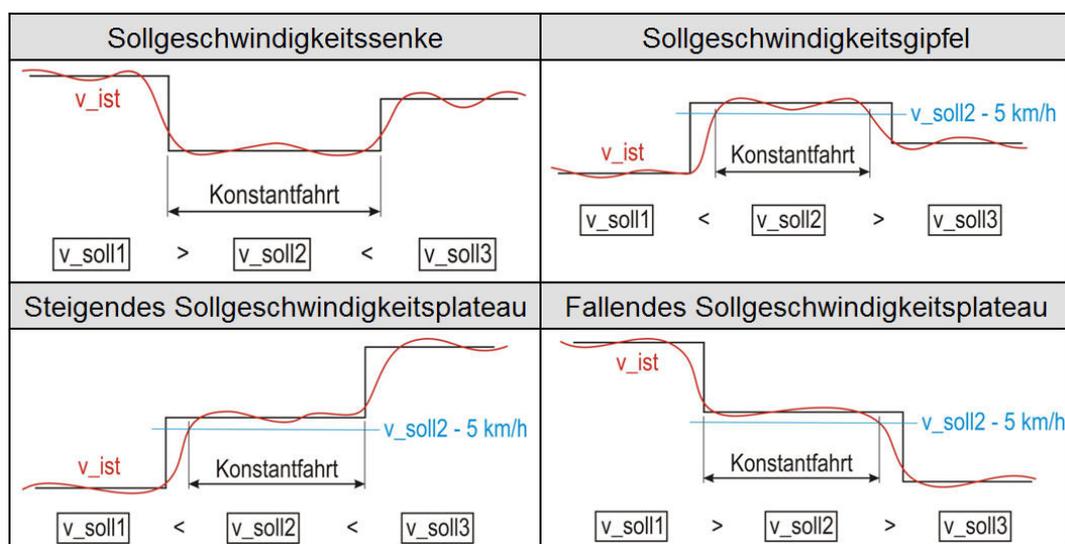
Die in Tabelle 5-3 beschriebenen Kennwerte dienen der Beurteilung der Geschwindigkeitshaltung. Sie werden für Strecken berechnet, auf denen den Versuchspersonen für einen längeren Streckenabschnitt über die Verkehrsbeschilderung eine konstante Höchstgeschwindigkeit vorgegeben ist.

Insgesamt ergeben sich für derartige Konstantfahrbereiche die in Tabelle 5-1 dargestellten vier unterschiedlichen Typen:

- Sollgeschwindigkeitssenke
- Sollgeschwindigkeitsgipfel
- Steigendes Sollgeschwindigkeitsplateau
- Fallendes Sollgeschwindigkeitsplateau

Um die Konstantfahrbereiche über mehrere Probanden hinweg besser vergleichen zu können und Einflüsse von intra- und interindividuell unterschiedlichen Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen am Anfang und Ende der Bereiche zu eliminieren, wird nicht der komplette Abschnitt zwischen zwei die erlaubte Geschwindigkeit regelnden Verkehrsschildern betrachtet. Vielmehr existieren zur Minimierung dieser Störgrößen, in Abhängigkeit des Typs des Konstantfahrbereiches, Kriterien für dessen Anfang und Ende. Diese Bedingungen sind in Tabelle 5-2 in Matrixform zusammengefasst und werden im Folgenden am Beispiel der Geschwindigkeitssenke und des Geschwindigkeitsgipfels näher erläutert.

Tabelle 5-1: Aussehen der vier unterschiedlichen Typen von Konstantfahrbereichen



Bei der Sollgeschwindigkeitssenke sind sowohl der Zonenanfang als auch das Zonenende durch die Verkehrsschilder fest vorgegeben. Somit werden bei einer Sollgeschwindigkeitssenke die Kennwerte zur Beurteilung der Geschwindigkeitshaltgüte für den kompletten Bereich zwischen den beiden Verkehrsschildern bestimmt. Dies liegt an der Vorschrift des Gesetzgebers, dass die Istgeschwindigkeit beim Erreichen des Verkehrsschildes der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit angepasst sein muss. Ferner darf die vorgegebene Höchstgeschwindigkeit für deren vollständigen Gültigkeitsbereich nicht überschritten werden. In Tabelle 5-1 links oben ist mit dem Doppelpfeil gekennzeichnet, dass bei einer Sollgeschwindigkeitssenke der ganze Bereich zwischen den beiden Verkehrsschildern zu betrachten ist.

Anders stellt sich dies im Falle eines Sollgeschwindigkeitsgipfels dar. Dessen Zonenanfang ist dann erreicht, wenn der Proband zum ersten Mal schneller fährt als Sollgeschwindigkeit minus 5 km/h. Das Ende dieses Bereiches ist durch den Streckenpunkt definiert, an dem die Geschwindigkeit des Probanden letztmalig größer ist als Sollgeschwindigkeit minus 5 km/h. Fällt die Testperson für den ganzen

Geschwindigkeitsabschnitt nicht mehr unter diese Geschwindigkeitsschranke, ist das Ende des Bereiches durch das Verkehrszeichen selbst definiert. Wie sich diese Kriterien für den Sollgeschwindigkeitsgipfel grafisch darstellen, ist in Tabelle 5-1 rechts oben gezeigt. Der Doppelpfeil markiert dabei für den vorliegenden Fall den Konstantfahrbereich, für den die Kennwerte zur Geschwindigkeitshaltegüte bestimmt werden.

Tabelle 5-2: Definition der Zonengrenzen der vier Konstantfahrbereiche

	Sollgeschwindigkeitssenkung	Sollgeschwindigkeitserhöhung
Zonenanfang	Zonengrenze	erste Überschreitung von $v_{\text{soll}} - 5 \text{ km/h}$
Zonenende	letzte Überschreitung von $v_{\text{soll}} - 5 \text{ km/h}$	Zonengrenze

Die Kriterien für den Zonenanfang und das Zonenende für das steigende und das fallende Sollgeschwindigkeitsplateau können den Tabellen 5-1 und 5-2 entnommen werden.

Tabelle 5-3: Kennwerte zur Beurteilung des Geschwindigkeitshaltegüte

	Kennwert	Beschreibung
Geschwindigkeitshaltung	Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit	Für die Konstantfahrtstrecken bzw. den Betrachtungszeitraum wird der Mittelwert der gefahrenen Geschwindigkeit gebildet und mit dem Wert der durch die StVO erlaubten Geschwindigkeit verglichen. Aus der Differenz der beiden Werte lässt sich ableiten, wie gut die Versuchspersonen in der Lage sind sich an die gesetzlichen Vorschriften zu halten.
	Mittlere Geschwindigkeit	Mittelwert der Geschwindigkeit bei Konstantfahrt innerhalb von Streckenabschnitten mit vorgegebener Geschwindigkeitsbeschränkung (Konstantfahrbereiche).
	Standardabweichung der Geschwindigkeit	Standardabweichung der Geschwindigkeit innerhalb von Konstantfahrbereichen. Dieses Maß gibt Aufschluss darüber, wie gut die Versuchspersonen eine konstante Geschwindigkeit halten können.
	Maximalgeschwindigkeit	Für die Konstantfahrtstrecken wird der Maximalwert der Geschwindigkeit bestimmt, der angibt, wie stark die erlaubte Geschwindigkeit maximal überschritten wird.
	Prozentanteil der Geschwindigkeitsüberschreitung	Anteil der Zeit an der Gesamtzeit innerhalb von Konstantfahrbereichen, während der das Fahrzeug die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 5 km/h oder 10 km/h überschreitet.
	Anfängliche Geschwindigkeitsüberschreitung	Dieser Kennwert stellt eine Besonderheit dar, da er nicht für Konstantfahrtstreckenabschnitte berechnet wird. Bei diesem Wert wird bestimmt, um wie viel km/h die Versuchspersonen zu schnell, beispielsweise in eine Ortschaft, einfahren. Daraus kann man ableiten, wie gut die Probanden in der Lage sind, rechtzeitig ihre Geschwindigkeit anzupassen.

5.1.1.2 Abstandshaltung

Die nachstehende Tabelle 5-4 zeigt die Kennwerte zur Beurteilung der Abstandshaltung. Bei der Bestimmung dieser Daten werden nur Entfernungen betrachtet, bei denen ein Abstand von 4 Sekunden zum Vorausfahrenden unterschritten wird. Abstandswerte, die größer sind, gehen nach *Johansson (2005)* nicht in die Betrachtung ein.

Tabelle 5-4: Zeitbasierte Maße zur Bestimmung der Abstandshaltegüte

	Kennwert	Beschreibung
Abstandshaltung	Mittlerer Sekundenabstand	Mittelwert des zeitlichen Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug innerhalb von Folgefahrbereichen
	Standardabweichung des Sekundenabstands	Standardabweichung des zeitlichen Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug innerhalb von Folgefahrbereichen
	Minimaler Sekundenabstand	Minimalwert des zeitlichen Abstands zum vorausfahrenden Fahrzeug innerhalb von Folgefahrbereichen
	Anteil der Zeitabstandsunterschreitung	Anteil der Zeit an der Gesamtzeit innerhalb von Folgefahrbereichen, während der das Fahrzeug einen zeitlichen Abstand von 0,8 s zum vorausfahrenden Fahrzeug unterschreitet

Ein weiteres Maß für die Abstandshaltung ist die Time-to-Collision (TTC) nach *van der Horst und Godthelp (1989)*. Diese gibt die Zeit an, die noch vergeht, bis es unter Beibehaltung der aktuellen Bewegungssituation des eigenen und des vorausfahrenden Fahrzeuges, zu einer Kollision kommt. Die TTC berechnet sich aus der Distanz zum Vorausfahrenden geteilt durch die Geschwindigkeitsdifferenz zu diesem. Werte unter 1,5s sind nach *van der Horst und Godthelp (1989)* als kritisch zu betrachten. In Tabelle 5-5 sind die aus der TTC abgeleiteten Kennwerte zur Bestimmung der Abstandshaltegüte dargestellt.

Tabelle 5-5: TTC-basierte Maße zur Bestimmung der Abstandshaltegüte

	Kennwert	Beschreibung
TTC-basierte Abstandshaltemaße	Mittlere Time to Collision (TTC)	Mittelwert der Zeit, welche innerhalb von Folgefahrbereichen bis zur Kollision vergeht, wenn zwei hintereinander fahrende Fahrzeuge ihre momentane Fahrgeschwindigkeit und ihren Kurs konstant beibehalten (TTC)
	Standardabweichung der TTC	Standardabweichung der TTC innerhalb von Folgefahrbereichen. Dieser Wert gibt an, wie gut die Probanden in der Lage sind einen konstanten Abstand zum Vordermann einzuhalten
	Minimum der TTC	Minimalwert der TTC innerhalb von Folgefahrbereichen
	Time Exposed TTC (TET)	Anteil der Zeit an der Gesamtzeit, bei dem die TTC bei Folgefahrt kleiner als ein bestimmter Sekundenwert ist. Nach <i>Östlund et al. (2004)</i> wird hierfür der Wert 4 Sekunden gewählt.

5.1.1.3 Gaspedalbasierte Maße

Für die Beurteilung der Fahrperformance anhand von Gaspedalwerten wird die Standardabweichung der Gaspedalstellung nach *Wierwille et al. (1996)* verwendet. Dieser Wert wird für die Konstantfahrabschnitte und die Folgefahrten berechnet. Je größer die Standardabweichung, desto mehr regelt der Fahrer, um eine konstante Geschwindigkeit bzw. einen konstanten Abstand einzuhalten.

5.1.1.4 Spurhaltung

Die Kennwerte zur Bewertung der Spurhaltegüte werden in lenkradbasierte und in spurhaltebasierte Maße unterteilt und für folgende Streckenabschnitte bzw. Betrachtungszeiträume berechnet:

- Kurven konstanter Krümmung
- Gerade Streckenabschnitte
- Konstantfahrtstrecken
- Folgefahrt
- Aufgabenbedienung

5.1.1.4.1 Lenkradbasierte Maße

Zur Charakterisierung der Spurhaltegröße auf Basis des aufgenommenen Lenkwinkels über Zeit werden, wie in Tabelle 5-6 abgebildet, die Kennwerte Standardabweichung des Lenkwinkels und Steering Wheel Reversal Rate verwendet.

Tabelle 5-6: Lenkradbasierte Maße zur Bestimmung der Spurhaltegröße

	Kennwert	Beschreibung
Lenkradbasierte Maße	Standardabweichung des Lenkradwinkels	Standardabweichung des Lenkradwinkels. (nach Liu, Schreiner und Dingus, 1999). Eine schlechtere Spurhaltung drückt sich in einer höheren Standardabweichung des Lenkradwinkels aus.
	Steering Wheel Reversal Rate (SRR)	Es wird die Anzahl an großen Lenkwinkelkorrekturen pro Sekunde bestimmt, wobei eine höhere Steering Wheel Reversal Rate eine schlechtere Spurhaltegröße bedeutet. Überschreitet die Differenz zwischen zwei Extrema im Lenkwinkelverlauf einen Wert von 3 Grad, so wird die als Steering Wheel Reversal gewertet.

5.1.1.4.2 Spurhaltebasierte Maße

Diese lassen sich in entfernungs-, zeit- und geschwindigkeitsbasierte Maße einteilen. Nach Östlund et al. (2004) sind die Kennwerte zur Spurposition stark beeinflusst von den Verkehrsbedingungen, wie zum Beispiel der Kurvigkeit der Strecke oder von Überholvorgängen.

Entfernungsbasierte Maße

Die entfernungsbasierten Maße zur Charakterisierung der Spurhaltegröße werden in der nachfolgenden Tabelle 5-7 zusammengefasst und erläutert.

Tabelle 5-7: Entfernungsbasierte Maße zur Bestimmung der Spurhaltegröße

	Kennwert	Beschreibung
Entfernungs-basierte Spurmaße	Mittlere Spurposition	Die mittlere Spurposition ist definiert als die mittlere Distanz zwischen dem Fahrzeugschwerpunkt und der Spurmitte. Dieser Wert gibt Aufschluss darüber, wie mittig die Probanden innerhalb der Spur fahren.
	Standardabweichung der Spurposition	Dieser Kennwert zeigt an, wie konstant der Fahrer seine Spurposition hält. Der Wert ist nach Godthelp, Milgram und Blaauw (1984) relativ unabhängig von der Geschwindigkeit.
	Spurverlassenszeit	Dieser Wert gibt in Sekunden an, wie lange der Fahrer im Betrachtungszeitraum außerhalb der Spurbegrenzung gefahren ist.
	Prozentanteil an Spurverlassungen	Dieses Maß nach Östlund et al. (2004) bestimmt, wie groß der prozentuale Anteil an Spurverlassungen in dem betrachteten Zeitraum ist.
	Anzahl an Spurverlassungen pro Kilometer	Bei diesem Maß nach Wierwille et al. (1996) wird mitgezählt, wie oft der Fahrer mit dem Fahrzeug die Spur verlässt. Dabei reicht es, wenn nur ein beliebig kleiner Teil des Fahrzeuges außerhalb der Spur ist.

Zeitbasierte Maße

Die zeitbasierten Maße zur Bestimmung der Spurhaltegröße bauen auf der Time-to-line-crossing TLC auf. Die TLC ist die laterale Entsprechung zur Time to collision TTC. Sie wurde als erstes von Godthelp & Konings (1981) verwendet. Sie ist definiert als die Zeit bis die Spurmarkierung erreicht wird, unter der Voraussetzung, dass der Lenkwinkel und die Geschwindigkeit konstant bleiben. Zur TLC Berechnung werden

zwei Formeln nach *Pomerleau (1999)* verwendet. Dies ist zum einen die TLC1, bei der die Querposition und die Quergeschwindigkeit berücksichtigt werden (siehe Formel 5-1) und zum anderen die TLC2, bei der zusätzlich noch die Querbewegung mit eingeht (siehe Formel 5-2). Je nach Entwicklungsstadium des Fahrersimulators wird entweder die TLC1 oder die TLC2 berechnet (in der frühen Phase war die Abtastrate des Datenrecorders für eine Berechnung der TLC2 zu gering).

$$TLC1 = \frac{d}{v_l}$$

Formel 5-1: Formel zur Berechnung der TLC1 (nach *Pomerleau, 1999*)

$$TLC2 = \frac{-v_l + \sqrt{v_l^2 + 2a_l d}}{a_l}$$

Formel 5-2: Formel zur Berechnung der TLC2 (nach *Pomerleau, 1999*)

Aus der so bestimmten TLC können die in Tabelle 5-8 dargestellten Werte gebildet werden, die eine Aussage über die Spurhaltegüte liefern.

Tabelle 5-8: Zeitbasierte Maße zur Bestimmung der Spurhaltegüte

	Kennwert	Beschreibung
Zeitbasierte Spurhaltemaße	Median der Time-to-line-crossing (TLC)	Dieser Kennwert wird von <i>Godthelp et al. (1984)</i> verwendet und gibt den Median der Zeit an, der bis zur Überquerung der Spurbegrenzungen vergeht, wenn das Fahrzeug seinen momentanen Bewegungszustand konstant beibehält.
	Standardabweichung der TLC	Standardabweichung der TLC: Dieser Wert gibt ebenso wie die Standardabweichung der Spurposition an, wie konstant die Spur gehalten wird.
	15%-Level der TLC	Das 15. Perzentil der TLC Werte bedeutet, dass 15% aller TLC Werte kleiner sind als dieser Wert. Dieser Kennwert wird von <i>Godthelp et al. (1984)</i> verwendet.
	Anteil der TLC Werte kleiner als ein bestimmter Grenzwert	Prozentanteil der TLC Werte, die kleiner als ein bestimmter Sekundenwert sind. Für die Versuchsreihen wird für diese Untergrenze wie auch im Projekt <i>HASTE</i> der Wert 1s verwendet.

5.1.2 Blickverhalten

Im diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie aus den Daten der Blickbewegungsmessung objektive Kennwerte zur Fahrerbeanspruchung bzw. zur Ablenkungswirkung gebildet werden. Die Kennwerte aus der Blickbewegungsmessung sollen eine objektive Grundlage zur Beurteilung der Fahrerbeanspruchung und Aufmerksamkeitsverteilung liefern.

Dafür wird ein stabil laufendes Blickerfassungssystem mit hoher Datensicherheit benötigt, welches auch bei Kontaktlinsen- und Brillenträgern zuverlässig funktioniert. Ferner muss es leicht zu bedienen sein und sich durch eine schnelle und einfache Kalibrierung auszeichnen, damit der eigentliche Versuch nicht unnötig durch die Erfassung der Blickdaten aufgehalten wird. Diese Anforderungen sind momentan nur durch kopfbasierte Systeme zu erfüllen. Hier müssen die Versuchspersonen entweder eine Brille oder einen Helm tragen, auf denen entsprechende Kameras zur Erfassung der Blickrichtung montiert sind. Hinsichtlich dieser am Kopf zu tragenden Messapparatur ist es erforderlich, dass sie auch über einen längeren Zeitraum komfortabel zu tragen ist und den Probanden nicht behindert oder in seiner Bewegungsfreiheit einschränkt. Aufgrund dieser Anforderungen wird für die Erfassung des Blickverhaltens in allen Versuchen das Blickerfassungssystem

Dikablis verwendet. Bei diesem kopfbasierten System tragen die Probanden eine leichte und komfortable Brille, die so konzipiert ist, dass sie auch über einer normalen Brille getragen werden kann. Der Kalibriervorgang für das System dauert etwa 30s, nach dem in einer Echtzeitansicht das Blickverhalten des Probanden verfolgt und die korrekte Systemfunktion überwacht werden kann. Sollte während des laufenden Versuches die Blickerfassungsbrille verrutschen, kann online nachkalibriert werden, ohne dass das Experiment dafür gestört werden muss. Ein weiterer Vorteil liegt in der Sicherung sämtlicher während des Versuches anfallenden Rohdaten, wodurch auch im Nachhinein die Möglichkeit des Nachkalibrierens besteht. Ferner kann mit der Analysesoftware die Pupillenerkennung qualitativ hochwertig aufbereitet werden. Dadurch stehen für die nachfolgend gezeigte Bestimmung der Fahrerbeanspruchungsindikatoren und der Ablenkungswirkung zuverlässige Daten zur Verfügung. Detaillierte Informationen über den Funktionsumfang und die Einsatzgebiete des Blickerfassungssystems können in *Lange (2005)*, und *Lange et al. (2006 c-f)* nachgelesen werden.

5.1.2.1 Fahrerbeanspruchungsindikatoren

Die nachstehende Tabelle 5-9 zeigt Indikatoren für die Fahrerbeanspruchung. Diese Werte kann man direkt aus den x-y-Koordinaten des Pupillenmittelpunktes, die vom Dikablis Blickerfassungssystem mitprotokolliert werden, berechnen.

Tabelle 5-9: Aus den x-y Koordinaten des Pupillenmittelpunktes bestimmte Beanspruchungsindikatoren

	Kennwert	Beschreibung
Fahrerbeanspruchungsindikatoren	Durchschnittliche Fixationsdauer	Nach <i>Menn (2005)</i> erhöht sich die durchschnittliche Fixationsdauer bei psychischer oder physischer Ermüdung (freie Strecke 0,45s, Tunnelfahrt 0,58s).
	Amplitude des durchschnittlichen Sakkadenwinkels	Nach <i>Menn (2005)</i> verringert sich bei Tunnelfahrt (erhöhte Beanspruchung) die Amplitude des durchschnittlichen Sakkadenwinkels von 5,5° (freie Strecke) auf 4,6°.
	Visuelle Suchaktivität	Dieser Kennwert nach <i>Saito (1992)</i> gibt in Grad/Sekunde die Amplitude des durchschnittlichen Sakkadenwinkels pro Zeiteinheit an. Nach <i>Menn (2005)</i> verringert sich die visuelle Suchaktivität von 17,8°/s bei freier Strecke auf 12,5°/s bei Tunnelfahrt. Der Wert wird berechnet, indem man für den entsprechenden Streckenabschnitt die Winkel aller Einzelsakkaden aufaddiert und durch die Dauer für den Abschnitt teilt.
	Prozentualer Anteil an Umweltblicken	Ein weiterer Wert für die Fahrerbeanspruchung ist der prozentuale Anteil an Umweltblicken. <i>Schweigert (2003)</i> und <i>Thompson (2005)</i> zeigen, dass dieser Kennwert bei einer Fahrerbeanspruchung durch eine Nebentätigkeit sinkt. Als Umweltblicke sind alle Blicke definiert, die nicht zur Erfüllung der primären Fahraufgabe zählen, wie z.B. Blicke in den Himmel oder auf Bäume. Nicht dazu zählen Blicke auf Verkehrszeichen oder auf andere Verkehrsteilnehmer.

5.1.2.2 Ablenkungswirkung

In Tabelle 5-10 werden Blickkennwerte genannt, die zur Bestimmung der Ablenkungswirkung von Anzeigen für Fahrerassistenzsysteme Verwendung finden. Als Grundlage für die aufgeführten Blickkennwerte werden die Dokumente *ISO 15007-1*, *ISO 15007-2* und *SAE J-2396* verwendet.

Tabelle 5-10: Aus dem Blickverhalten bestimmte Maße für die Ablenkungswirkung

	Kennwert	Beschreibung
Ablenkungswirkung	Gesamtblickdauer auf ein Area of Interest (AOI)	Hierzu werden alle Einzelblickdauern auf ein AOI während des Beobachtungszeitraumes aufaddiert.
	Maximale Blickdauer auf ein AOI	Das ist die maximale Einzelblickdauer auf ein AOI während des Beobachtungszeitraumes.
	Anzahl an Blicken auf ein AOI	Hier wird bestimmt, wie oft der Proband während des Beobachtungszeitraumes auf ein bestimmtes AOI geblickt hat.
	Mittlere Blickdauer auf ein AOI	Für diesen Kennwert wird die Gesamtblickdauer auf ein AOI durch die Anzahl der Blicke auf dieses geteilt.
	Prozentualer Blickanteil auf ein AOI	Dafür wird die Gesamtblickdauer auf das AOI durch die Dauer des Beobachtungszeitraumes geteilt.
	Blickfrequenz auf ein AOI	Dieser Wert gibt an, wie oft pro Sekunde eine Blickzuwendung auf ein AOI erfolgt.

5.2 Subjektive Messwerte

Die subjektiven Messwerte zur Beurteilung von Fahrerassistenzsystemen und deren Bedienung sind unterteilt in Kennwerte zur Bestimmung der Fahrperformance, der Fahrerbeanspruchung sowie des Gefallen- und Akzeptanzaspektes. Auf spezielle Fragetechniken, die lediglich in einer einzelnen Versuchsreihe verwendet werden, wird nicht in diesem Kapitel, sondern an entsprechender Stelle direkt eingegangen

5.2.1 Fahrperformance

Um aufzudecken, ob ein Proband eine Verbesserung in seiner Fahrperformance empfindet, wenn er bei seiner Fahraufgabe von einem Fahrerassistenzsystem unterstützt wird, werden die Systeme sowohl absolut als auch in Form einer Rangreihenbildung bewertet.

5.2.1.1 Absolute Befragung

Bei der absoluten Bewertung müssen die Testpersonen die jeweiligen Systemvarianten anhand eines Schulnotensystem von „1“ bis „6“ beurteilen, wobei eine „1“ eine sehr gute Leistung in der entsprechenden Kategorie bedeutet. Anhand der Bewertungen können dann verschiedene Systemvarianten untereinander verglichen werden. Anhand folgender Kategorien wird der Einfluss von Assistenzsystemen auf die Fahrperformance subjektiv abgefragt:

- Spurhaltegüte
- Geschwindigkeitshaltegüte
- Abstandshaltegüte
- Gesamturteil zur Spur-, Geschwindigkeits- und Abstandshaltung
- Konzentration auf die Fahraufgabe
- Sicherheitsgefühl

Diese Form der Bewertung wird stets sofort im Anschluss an eine Fahrt mit einem Assistenzsystem vorgenommen.

5.2.1.2 Rangreihenbildung

Im Gegensatz zur absoluten Bewertung, bei der immer nur ein System betrachtet wird, werden bei der Rangreihenbildung die Systemvarianten untereinander verglichen. Hierzu müssen die Probanden die getesteten Systemvarianten in der entsprechenden Bewertungskategorie so ordnen, dass die Variante, die sie in dieser Kategorie am besten beurteilen, auf dem ersten Platz steht und diejenige, die sie am schlechtesten bewerten, auf dem letzten Platz. Bei der Rangreihenbildung werden dieselben sechs Kategorien verwendet wie bei der absoluten Befragung.

5.2.2 Fahrerbeanspruchung

Zur Messung der subjektiv empfundenen Beanspruchung wird stets der NASA TLX Fragebogen verwendet (siehe hierzu *NASA TLX Users Manual*). In diesem muss die Versuchsperson ihre Empfindung in sechs Bewertungskategorien (Mentale Belastung, physische Belastung, zeitliche Anforderung, Zufriedenheit mit der Aufgabenerfüllung, Anstrengung, Stress) auf einer analogen Skala zwischen zwei Extrema (z.B. gering – hoch) mittels eines vertikalen Striches zum Ausdruck bringen. Anhand der Antworten der Versuchspersonen in den sechs Kategorien kann der so genannte OWI (Overall Workload Index) berechnet werden. Dies ist ein Wert zwischen „0“ und „100“, wobei niedrige Werte eine geringe empfundene Beanspruchung bedeuten und hohe Werte eine hohe Beanspruchung.

5.2.3 Gefallen/Akzeptanz

Zur Erfassung des Gefallens- und Akzeptanzaspektes von zu untersuchenden Systemvarianten wird das so genannte semantische Differenzial verwendet (siehe hierzu auch *Hassenzahl et al., 2003*). Bei dieser Form der Befragung werden den Probanden gegensätzliche Adjektivpaare vorgegeben und sie entscheiden sich auf einer dazwischen liegenden Sechsserskala mehr oder weniger für eine Richtung. So gibt es beispielsweise das Adjektivpaar „komfortabel – unkomfortabel“. Kreuzt eine Versuchsperson näher auf der Seite „komfortabel“ an, empfindet sie diese Systemvariante eher als komfortabel. Folgende sieben Adjektivpaare finden im Rahmen dieser Arbeit bei der Bewertung der Fahrerassistenzsystem Verwendung:

- komfortabel – unkomfortabel
- praktisch – unpraktisch
- attraktiv – unattraktiv
- sportlich – unsportlich
- motivierend – frustrierend
- einfach – umständlich
- elegant – plump

Durch die konsequente Anwendung dieser objektiven und subjektiven Kennwerte in allen Versuchsreihen sowie dadurch, dass bei allen Untersuchungen stets gegen die Referenzbedingung des Fahrens ohne Assistenz gemessen wird, ist eine sehr gute Vergleichbarkeit auch unter den unterschiedlichen Experimenten dieser Arbeit gegeben.

6 Versuchsreihen und Ergebnisse

Dieses Kapitel beginnt mit der Vorstellung des Versuchskonzeptes. Dabei wird erläutert, wie die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen aufeinander aufbauen und deren Einzelergebnisse weiter verwendet werden. Daran schließt sich eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse sämtlicher Versuchsreihen zur Gestaltung und zum Einfluss von Fahrerassistenzsystemen an.

6.1 Versuchskonzept

Der üblicherweise sehr Technik getriebenen Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen wird in Kapitel 2 ein anderer Ansatz gegenübergestellt. Dabei wird auf Basis einer systemergonomischen Betrachtung der Fahraufgabe und unter Einbeziehung der kognitiven Fähigkeiten des Menschen der Bedarf an Fahrerassistenz abgeleitet und anschließend, aufbauend auf Kenntnissen und Gesetzmäßigkeiten aus der Ergonomie und der Automatisierungstechnik, eine Interaktionsmetapher zwischen Fahrer und Assistenzsystem abgeleitet, bei der beide als kooperative Partner zusammenwirken. Im weiteren Verlauf wird anhand von Erkenntnissen aus der Forschung im Bereich der Fahrerassistenzsysteme weiter ausgearbeitet, wie die Assistenzbedarfe mittels dieses Lösungsansatzes dargestellt werden können.

Ziel dieser bedarfsorientierten Vorgehensweise ist es, ein System zu entwickeln, das den Fahrer optimal unterstützt und somit das vorhandene Potential zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bestmöglich ausnutzt. Diese Herangehensweise berücksichtigt jedoch die Frage nach der Akzeptanz eines solchen Systems nicht in dem dafür nötigen Maß. Deswegen besteht die Gefahr, dass das so entstehende System den Fahrer zwar optimal unterstützen würde, es von ihm aber nicht verwendet wird, weil es ihm entweder nicht gefällt oder er Teilaspekte davon für unnötig hält. Ferner sind trotz dieses strukturierten Herangehens eine Reihe von Fragen zur Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug Interaktion offen geblieben, die durch die bestehende Theorie und dem in der Literatur dokumentierten Wissen nicht sicher zu beantworten sind. Aus diesem Grund sind zunächst einige Untersuchungen notwendig, welche die noch offenen Fragestellungen beantworten, bevor das in Kapitel 2 entwickelte Interaktionskonzept mit gutem Gewissen umgesetzt und einer summativen³ Evaluierung unterzogen werden kann. Die Vorgehensweise in Kapitel 2 sowie den logischen Aufbau der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Experimente zeigt Abbildung 6.1-1.

Um den theoriegeleitet gefundenen Bedarf an Fahrerassistenz abzusichern, dient das in Kapitel 6.2.1 beschriebene Fragebogenexperiment. In diesem wird untersucht, bei welchen Teilaufgaben des Fahrens sich die Probanden eine Unterstützung wünschen und wie dabei deren bevorzugte Interaktionsmodalität aussieht. Durch diese Studie soll ausgeschlossen werden, dass nicht gewünschte Assistenzfunktionen angeboten werden, welche möglicherweise einen negativen Einfluss auf die Akzeptanz des Gesamtsystems haben.

³ Summative Evaluation: Evaluation am Ende eines Entwicklungsprozesses zur abschließenden und zusammenfassenden Bewertung (siehe hierzu auch *Herczeg, 2005*)

Wie die Analyse in Kapitel 2 ergibt, sind Anzeigen im kontaktanalogen HUD für Assistenzsysteme sehr gut geeignet, da dort dargestellte Rückmeldungen schnell erfasst und mit aktuellen Zustandsgrößen der Fahrt unmittelbar verglichen werden können. Dies berücksichtigt allerdings nur den Vorteil dieser Anzeigeform hinsichtlich der Informationsaufnahme und -verarbeitung, nicht jedoch, ob sie vom Nutzer akzeptiert wird. Weiterhin gibt es noch keine Richtlinien für die Gestaltung kontaktanaloger Anzeigen. Aus diesem Grund werden in Kapitel 6.2.2 kontaktanaloge Ausgaben von Fahrerassistenzsystemen mit entsprechenden konventionellen symbolischen Anzeigen verglichen. Dadurch kann untersucht werden, ob die kontaktanalogen Anzeigen vom Nutzer präferiert oder eher abgelehnt werden. Zudem wird durch das Darstellen verschiedener Varianten untersucht, wie die Ausgaben zu gestalten sind, damit sie maximale Nutzerakzeptanz erreichen und intuitiv verstanden werden.

Durch diese formative⁴ Vorgehensweise ist sichergestellt, dass nicht am Nutzer vorbei nur auf Basis theoretischer Überlegungen Funktionen umgesetzt werden, die dann einen negativen Einfluss auf das Gesamtsystem haben, da sie entweder nicht gewünscht sind oder aufgrund ihrer Realisierung auf wenig Akzeptanz stoßen.

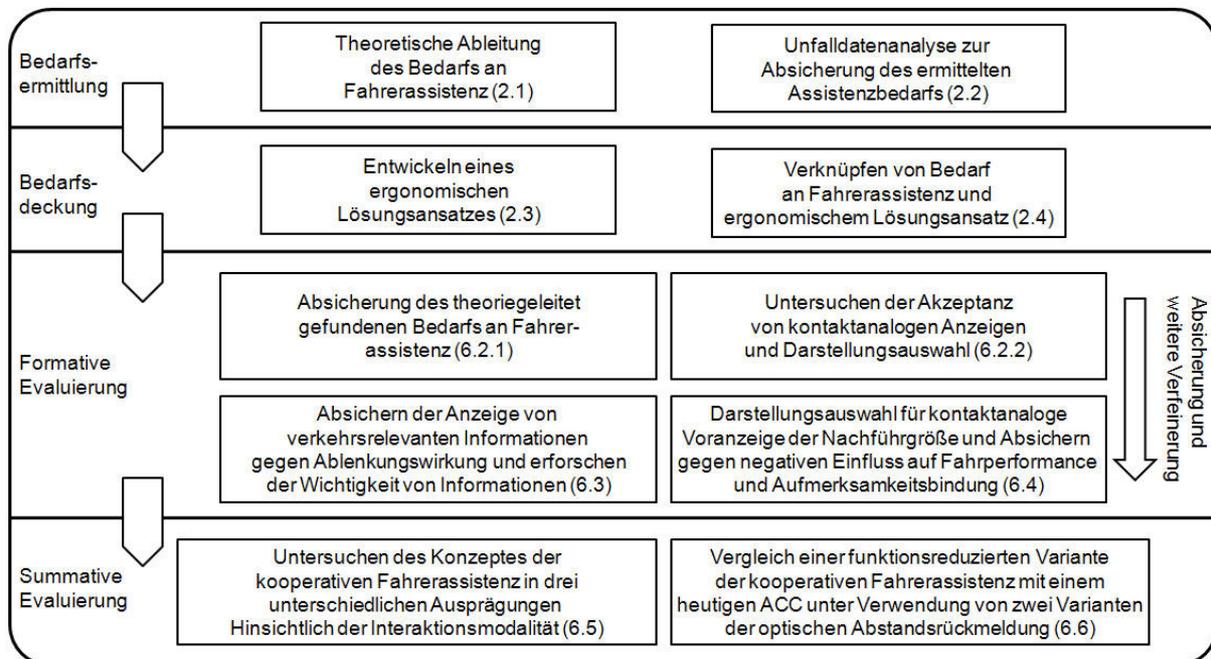


Abbildung 6.1-1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise in Kapitel 2 und logischer Aufbau der Experimente in Kapitel 6

Die Analyse der kognitiven Fähigkeiten des Menschen hat gezeigt, dass das Erkennen von Verkehrszeichen und das Erinnern der über die Schilder aufgenommenen Information für den Menschen eine komplexe und fehlerbehaftete Aufgabe darstellt. Diese kann dem Fahrer durch das Darstellen der relevanten Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen erleichtert werden. Allerdings besteht dadurch die Gefahr, dass der Fahrer mit zu viel und nicht benötigter Information belastet wird, wodurch der Vorteil der Anzeige durch deren Ablenkungspotential

⁴ Formative Evaluation: Evaluation während der Systementwicklung, um dann erkannte Schwächen sofort zu beseitigen (siehe hierzu auch *Herczeg, 2005*)

wieder kompensiert würde. Deshalb wird mit dem Experiment in Kapitel 6.3 zunächst untersucht, ob und wenn ja, ab welcher Informationsmenge es möglicherweise zu einer Bindung der Aufmerksamkeit des Fahrers kommt und ob daraus ein negativer Einfluss auf die Erfüllung der Fahraufgabe resultiert. Ferner wird erforscht, welche Informationen die Fahrer für sinnvoll und wichtig erachten. Die Kenntnis darüber erlaubt eventuell eine generelle Reduzierung der simultan angezeigten Informationen.

Wie die Betrachtung in Kapitel 2 zeigt, kann eine Voranzeige der Nachführgröße den Fahrer bei der Querführung unterstützen. Es lässt sich jedoch auf Basis der vorhandenen Literatur nicht die Frage beantworten, ob die Darstellung nur in Form eines kontaktanalogen Balkens geschehen soll oder es besser ist, die seitlichen Begrenzungslinien des Abstandsbalkens bis zu den beiden vorderen Außenkanten des Fahrzeuges zu verlängern. Diese Frage soll durch das Experiment in Kapitel 6.4 beantwortet werden, bei dem beide Varianten miteinander verglichen werden. Darüber hinaus sollen durch das Experiment die Gefahr der Blickbindung durch die kontaktanaloge Anzeige, die sich permanent im primären Blickfeld des Fahrers befindet sowie ein negativer Einfluss auf die Wahl der Geschwindigkeit ausgeschlossen werden. *Assmann (1985)* zeigt zwar, dass sich durch die Anzeige eines kontaktanalogen Bremswegbalkens die Durchschnittsgeschwindigkeit nicht erhöht. Allerdings kann diese Erkenntnis nicht mit Sicherheit auf die hier vorliegende Umsetzung der Anzeige übertragen werden, da bei *Assmann* die Balkenanzeige nicht entsprechend der durch den Lenkradeinschlag resultierenden Bahnkurve ausgelenkt wurde, sondern immer starr geradeaus vor dem Fahrzeug war.

Das in Kapitel 6.5 beschriebene Experiment dient der summativen Evaluierung des mit Hilfe der vorhergehenden Untersuchungen abgesicherten und weiter verfeinerten Konzeptes für ein kooperativ agierendes Fahrerassistenzsystem. Dafür wird dieses den Probanden in drei unterschiedlichen Ausprägungen vorgestellt. Dabei stellt die Variante der kombinierten optischen und haptischen Assistenz, bei der dem Fahrer *haptisch* angezeigt wird, *was er tun soll* und *optisch* erklärt wird, *warum er dies tun soll*, das in Kapitel 2 postulierte Optimum dar. Die anderen beiden Ausführungen, bei denen der Fahrer entweder nur optisch oder nur haptisch unterstützt wird, dienen als Vergleichskriterium dafür, ob die Kombination dieser beiden Modalitäten tatsächlich besser ist, als wenn nur eine davon verwendet wird.

Abschließend stellt sich die Frage, wie das Konzept des Assistenzsystems, das den Fahrer einheitlich bei der Erfüllung der Fahraufgabe unterstützt, gegen ein heutiges, in Bezug auf die Längsführung handlungsersetzendes, ACC-System abschneidet. Allerdings können die beiden Assistenzsysteme in ihren jeweiligen Ausprägungen nicht direkt miteinander verglichen werden. Das liegt daran, dass ein ACC den Fahrer nur in der Längsführung unterstützt und dem System zudem die einzuhaltende Geschwindigkeit manuell vorgegeben werden muss. Ferner erfolgt bei den derzeitigen ACC-Systemen die Rückmeldung über den eingestellten Sollabstand nicht kontaktanalog, sondern in symbolischer Form. Um die beiden Formen der Fahrerassistenz miteinander vergleichen zu können, gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste besteht darin, dass die Funktion des ACCs erweitert wird und es neben der Längsführung auch die Querführung übernimmt sowie zusätzlich in der Lage ist, sich automatisch an die herrschenden Geschwindigkeitsbeschränkungen zu halten. Dies würde dann allerdings eine hundertprozentige Automatisierung der Fahraufgabe darstellen. Eine Vollautomatik zu untersuchen ist jedoch bei dem momentanen Entwicklungsstand der Sensorik und Regelalgorithmik nicht sinnvoll, da deren

Serienreife und Markteinführung, wenn überhaupt, erst in mehreren Jahrzehnten erfolgen wird. Aus diesem Grund wird für die in Kapitel 6.6 dargestellte Untersuchung die zweite Möglichkeit gewählt. Dabei wird die Funktionalität des kooperativ handelnden Assistenzsystems auf ein derartiges Maß reduziert, so dass es mit einem heutigen ACC verglichen werden kann. Das bedeutet, der Fahrer wird bei beiden Assistenzsystemen nur noch bei der Längsführung unterstützt und muss außerdem die Sollgeschwindigkeit manuell vorgeben. Zudem wird bei beiden Formen der Fahrerassistenz sowohl eine Variante realisiert, bei der die Rückmeldung des eingestellten Abstandes kontaktanalog erfolgt als auch eine Ausprägung, bei der dies durch ein Symbol angezeigt wird. Dadurch soll die Frage beantwortet werden, ob durch eine kontaktanaloge Rückmeldung des eingestellten Abstandes die Akzeptanz und das Systemverständnis eines ACCs verbessert werden kann.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen werden im folgenden Kapitel, stets in Abbildungsform und teilweise unterstützend in Tabellenform, visualisiert. Um signifikante Unterschiede zwischen Versuchsbedingungen bzw. deren Gleichheit direkt in den Abbildungen zu veranschaulichen, werden in den Balkendiagrammen zusätzliche grafische Elemente verwendet. Zur Darstellung eines signifikanten Unterschiedes zwischen zwei Bedingungen, also wenn der α -Fehler kleiner oder gleich 0,05 ist, wird oberhalb, der den Bedingungen entsprechenden Balken, eine Linie mit zwei Pfeilenden abgebildet (siehe Abbildung 6.1-2 beim Vergleich von Variante 1 und Variante 2). Sind die Mittelwerte der beiden Varianten statistisch gleich, der α -Fehler des paarweisen Vergleiches liegt also über 0,25, werden die beiden Balken, mittels einer Linie mit jeweils einem Punkt an jedem Ende, sozusagen verschränkt (siehe Abbildung 6.1-2 beim Vergleich von Variante 2 mit Variante 3). Falls der α -Fehler zwischen 0,05 und 0,25 liegt und somit die Nullhypothese weder beibehalten noch abgelehnt werden kann, werden die entsprechenden Balken nicht grafisch miteinander in Beziehung gesetzt.

Demo-Abbildung

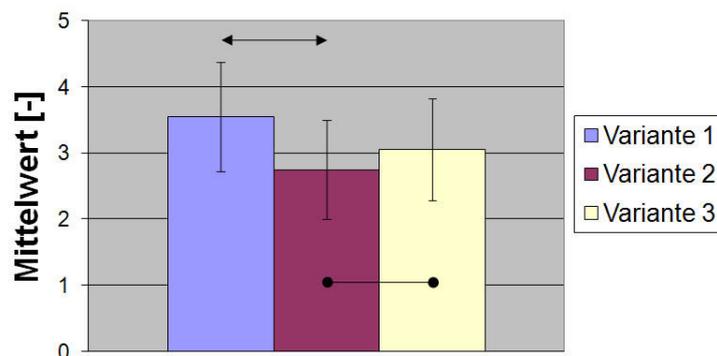


Abbildung 6.1-2: Beispielhafte Darstellung einer Abbildung

6.2 Usability Untersuchungen

In diesem Kapitel werden zwei Untersuchungen vorgestellt. Im Rahmen des ersten Experimentes wird anhand von Fragebögen der Wunsch der Probanden nach den verschiedensten Assistenzsystemen sowie der bevorzugten Anzeigemodalität abgefragt. Die zweite Studie beschäftigt sich mit dem Potential von kontaktanalogen Darstellungen für Fahrerassistenzsysteme.

6.2.1 Wunsch nach Fahrerassistenz

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie zum Wunsch nach Fahrerassistenzsystemen und zur bevorzugten Anzeigemodalität, die in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Experimentelle und Allgemeine Psychologie der Universität Regensburg durchgeführte wurde, vorgestellt. Nach dem Aufzeigen der Methodik werden die Ergebnisse erörtert.

6.2.1.1 Methodik

Im Rahmen der Methodik wird auf das Probandenkollektiv, die abgefragten Assistenzsysteme und der Ablauf der Versuche eingegangen.

6.2.1.1.1 Probandenkollektiv

Es werden 64 Personen befragt, wobei der jüngste Teilnehmer 18 Jahre und der älteste 76 Jahre ist. Das Durchschnittsalter beträgt 51,2 Jahre, 50 der 64 Befragten männlich sind.

6.2.1.1.2 Abgefragte Assistenzsysteme

Die sieben abgefragten Assistenzsysteme sind:

- Geschwindigkeitsassistent: Er unterstützt den Fahrer dabei, in jeder Situation die richtige Geschwindigkeit einzuhalten.
- Abstandsassistent: Er unterstützt den Fahrer beim Einhalten des Sicherheitsabstands zum vorausfahrenden Fahrzeug. Der Fahrer wird über den optimalen Sicherheitsabstand informiert und erhält eine Warnung, wenn er ihn unterschreitet. Diese Warnung erfolgt nicht nur, wenn bei einer Fahrt in einer Kolonne der Abstand zu gering ist, sondern auch dann, wenn ein vorausfahrendes Fahrzeug plötzlich bremsen muss und der nachfolgende Fahrer dies zu spät bemerkt.
- Überholassistent: Er unterstützt den Fahrer bei Überholvorgängen, indem er die Strecke auf der Gegenfahrbahn berechnet, innerhalb derer sich beim Überholvorgang kein entgegenkommendes Fahrzeug befinden darf. Der Überholassistent kann erkennen, ob sich ein entgegenkommendes Fahrzeug in diesem Bereich befindet. Der Überholassistent stellt dem Fahrer die für den Überholvorgang mindestens benötigte Strecke dar und gibt ihm „Grünes Licht“, wenn er überholen kann bzw. warnt ihn, wenn er zu überholen versucht, obwohl Gegenverkehr kommt.
- Spurhalteassistent: Er unterstützt den Fahrer bei der Spurhaltung. Eine Warnung erfolgt, wenn Gefahr besteht, auf die Gegenfahrbahn zu geraten oder nach rechts von der Straße abzukommen.
- Kurvenassistent: Er unterstützt den Fahrer beim Durchfahren von Kurven, indem dieser gewarnt wird, wenn er mit so hoher Geschwindigkeit auf eine Kurve zufährt, dass das Auto von der Fahrbahn abkommen würde.

- Spurwechselassistent: Er unterstützt den Fahrer beim Fahrspurwechsel. Das System erkennt, wenn sich im hinter dem Fahrzeug liegenden Bereich ein anderes Fahrzeug befindet. Der Spurwechselassistent warnt den Fahrer, wenn dieser auf eine andere Fahrspur wechseln will, dies jedoch nicht möglich ist (z.B. weil sich dort ein anderes Auto im Toten Winkel befindet oder mit hoher Geschwindigkeit von hinten annähert).
- Verkehrszeichenassistent: Er unterstützt den Fahrer bei der Einhaltung von Verkehrsregeln. Hierzu erkennt das System aufgestellte Verkehrszeichen und informiert den Fahrer, z.B. durch eine visuelle Darstellung dieser Zeichen im Auto. Durch diese Zusatzinformation kann der Fahrer jederzeit in seinem Fahrzeug sehen, welche Verkehrszeichen gerade gelten, auch wenn er ein aufgestelltes Schild übersehen hat. Der Fahrer kann gewarnt werden, wenn er gegen ein bestimmtes Verkehrszeichen verstößt und sich dadurch beispielsweise in Gefahr begibt (z.B. gegen eine Einbahnstraße fährt).

6.2.1.1.3 Versuchsaufbau

Im Rahmen des Versuches beurteilen die Probanden anhand eines Fragebogens die oben beschriebenen Assistenzsysteme. Nach der Begrüßung erhalten sie den 20-seitigen Fragebogen. Dieser gibt eine kurze Einführung in die Thematik und erläutert die für die Assistenzsysteme verwendeten Technologien, wie beispielsweise das HUD oder das aktive Gaspedal. Daraufhin folgen die Fragen zu den verschiedenen Assistenzsystemen, welche vor dem jeweiligen Fragenteil stets ausführlich in Wort und Bild erläutert werden. Nach Beendigung der ca. eineinhalbstündigen Studie erhalten die Testpersonen eine Entschädigung und werden verabschiedet.

6.2.1.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Fragebogenstudie vorgestellt. Zunächst wird auf den allgemeinen Wunsch nach den Assistenzsystemen eingegangen. Danach wird für den Geschwindigkeitsassistenten, den Abstandsassistenten und den Spurhalteassistenten dargelegt, auf welche Art und Weise die Probanden eine Interaktion mit den Systemen bevorzugen.

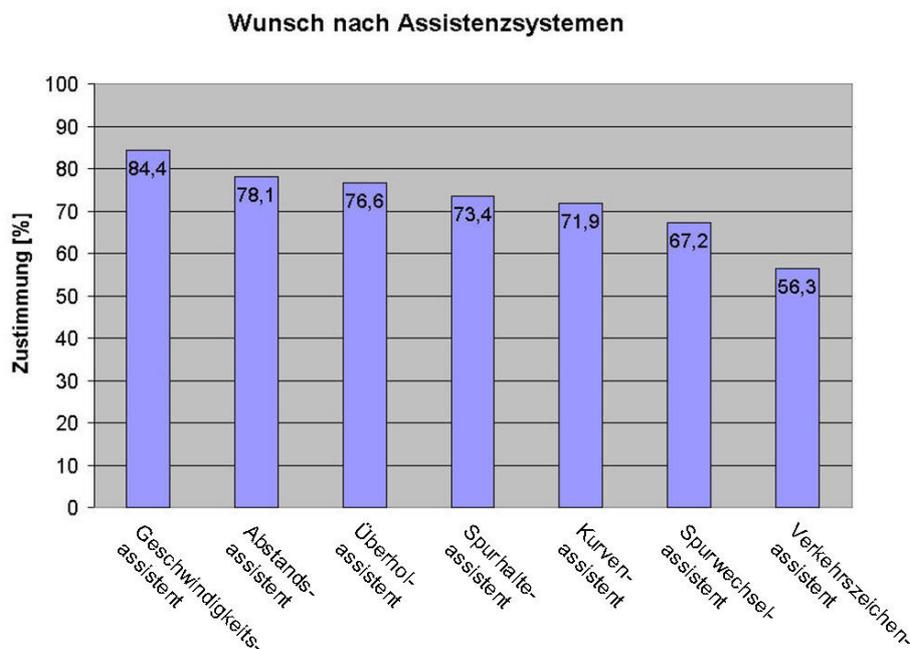


Abbildung 6.2-1: Wunsch nach den einzelnen Assistenzsystemen in Prozent

Betrachtet man das in Abbildung 6.2-1 dargestellte Ergebnis zum allgemeinen Wunsch nach den Assistenzsystemen, kann man erkennen, dass eine Unterstützung bei der Geschwindigkeitshaltung mit einer Zustimmung von 84,4% am meisten gewünscht wird. Darauf folgen mit 78,1% und 76,6% der Abstands- und der Überholassistent. Ebenfalls große Zustimmung erreichen der Spurhalte- und der Kurvenassistent mit 73,4% bzw. 71,9%. Lediglich der Spurwechselassistent mit 67,2% und vor allem der Verkehrszeichenassistent mit 56,3% fallen in diesem Vergleich leicht ab.

Dieses Ergebnis ändert sich allerdings, wenn man das Probandenkollektiv in zwei Gruppen einteilt. Wie man in Abbildung 6.2-2 sehen kann, sind diese Assistenzsysteme vor allem von älteren Probanden verstärkt gewünscht. Am stärksten sind bei den Versuchspersonen über 60 Jahren der Geschwindigkeits- und der Abstandsassistent mit 88,9% bzw. 94,4% nachgefragt. Danach folgen in dieser Alterskategorie gleichauf der Überhol-, Spurhalte- und Spurwechselassistent mit jeweils 77,8%. Mit je 72,2% werden auch der Kurven- und der Verkehrszeichenassistent von der Mehrheit der Probanden befürwortet.

Ein interessantes Ergebnis liefert die Frage nach der gewünschten Anzeigemodalität für den Geschwindigkeits-, den Spurhalte- und den Abstandsassistenten, welches in Tabelle 6.2-1 dargestellt ist.

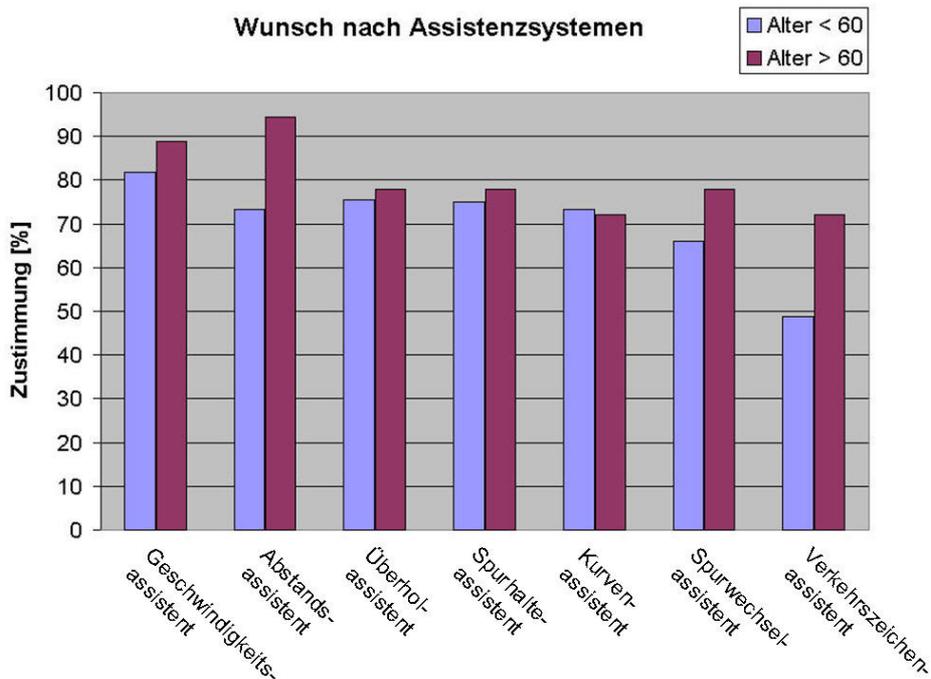


Abbildung 6.2-2: Wunsch nach den einzelnen Assistenzsystemen in Prozent in Abhängigkeit vom Alter der Probanden

In den Spalten ist gezeigt, wie sich die gewünschte Modalität für die Systeme prozentual auf die Probanden verteilt, welche das entsprechende System gerne hätten. Wegen der möglichen Mehrfachnennungen zur Modalität summieren sich die Zeilen teilweise auf über 100%. Beim Geschwindigkeitsassistenten wird eindeutig eine optische Darstellung gegenüber der akustischen und haptischen Ausgabe bevorzugt. Eine Rückmeldung der erlaubten Geschwindigkeit über ein aktives Gaspedal, welches diese als spürbaren Druckpunkt anzeigt, wird lediglich von 37,5% der Probanden gewünscht. Ähnlich stellt sich das Ergebnis für den

Abstandsassistenten dar. Dort wird ebenfalls die optische Rückmeldung im Vergleich zur akustischen und haptischen Ausgabe befürwortet. Auch hier wird wie beim Geschwindigkeitsassistenten eine haptische Rückmeldung mehrheitlich abgelehnt.

Anders stellt sich das Ergebnis beim Spurhalteassistenten dar. Bei diesem werden eine haptische und akustische Rückmeldung der optischen Ausgabe gegenüber bevorzugt. Bezüglich der Art der haptischen Rückmeldung am Lenkrad und der akustischen Ausgabe sind sich die Probanden uneinig. Bei der haptischen Ausgabe werden sowohl die Lenkradvibration als auch der Lenkimpuls gleich stark priorisiert. Ebenso sind sich die Probanden uneinig, ob die akustische Warntone als reiner Warnton oder als Nagelbandrattern ausgegeben werden soll.

Tabelle 6.2-1: Gewünschte Modalität für die Rückmeldungen der Fahrerassistenzsysteme

	Optisch			Akustisch			Haptisch		
Geschwindigkeitsassistent	96%			60,5%			46,5%		
verteilt auf	Tacho	HUD	beides	Signalton	Sprache	beides	Gaspedal	Sitz	Lenkvibr.
%	33	49	14	39,5	21	-	37,5	-	9
Abstandsassistent	82,5%			70,5%			44%		
verteilt auf	Tacho	HUD	Kont.-analog	Signalton	Sprache		Gaspedal		
%	34,5	54	41	40	30,5		44		
Spurhalteassistent	55%			92,5%			95%		
verteilt auf	Tacho	HUD	beides	Signalton	Sprache	Rattern	Lenkvibr.	Lenkimp.	Sitz
%	20	30	5	42,5	27,5	46,8	75	75	7,5

Fasst man die Ergebnisse der Studie zusammen, zeigt sich, dass alle abgefragten Assistenzsysteme verlangt werden. Vor allem bei älteren Fahrern über 60 Jahren besteht der Wunsch nach Unterstützung im Straßenverkehr. Eine Assistenz bei der Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung sowie beim Überholvorgang sind die am stärksten gefragten Funktionen. Für die bevorzugte Rückmeldemodalität ergibt sich, dass die Informationen des Geschwindigkeits- und Abstandsassistenten über eine optische Anzeige erfolgen sollen, wogegen beim Spurhalteassistenten eine haptische Ausgabe am Lenkrad favorisiert wird.

6.2.2 Potential kontaktanaloger Anzeigen

Im Folgenden werden eine Versuchsreihe und deren Ergebnisse zum Potential kontaktanaloger Anzeigen für Fahrerassistenzsysteme vorgestellt. Im Rahmen dieser Studie werden im Usability Labor kontaktanaloge Ausgaben für einen Abstandsregeltempomaten und einen Spurhalteassistenten mit konventionellen symbolischen Anzeigen verglichen. Nachstehend werden zunächst die Methodik des Experimentes erläutert und daraufhin die erzielten Ergebnisse vorgestellt.

6.2.2.1 Methodik

Im Zusammenhang mit der Versuchsmethodik werden zunächst das Probandenkollektiv und der Versuchsaufbau aufgezeigt. Im Weiteren erfolgen die Darlegung des Versuchsdesigns sowie abschließend des Versuchsablaufs.

6.2.2.1.1 Probandenkollektiv

An der Untersuchung nehmen insgesamt 24 Versuchspersonen teil. Das Altersspektrum erstreckt sich von 24 bis 64 Jahren, mit einem Durchschnitt von 39 Jahren und einer Standardabweichung von 12,5 Jahren. Alle Probanden, von denen jeweils zwölf weiblich und zwölf männlich sind, sind zum Versuchszeitpunkt im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis.

6.2.2.1.2 Versuchsaufbau

Der Versuch findet im Usability Labor des Lehrstuhls für Ergonomie in Form von simulierten Fahrten statt. Die Probanden sitzen während des Versuches in einer Sitzkiste. Das Video der Fahrscenen, welche vorher im Rahmen von Realfahrten aufgenommen wurden, wird vor ihnen auf eine Leinwand projiziert (siehe Abbildung 6.2-3).



Abbildung 6.2-3: Perspektive des in der Sitzkiste sitzenden Probanden mit vor ihm ablaufender simulierter Fahrt sowie den Anzeigen im HUD

Die Kamera war bei den Realfahrten so angebracht, dass sie genau aus der Perspektive des Fahrers filmt. Die Rückmeldungen der Assistenzsysteme werden bei

den herkömmlichen symbolischen Anzeigen über ein kleines LCD Display gegeben, welches sich auf der Höhe eines HUDs in einer Entfernung von ca. 2,5m vor dem Fahrer befindet. Die kontaktanalogen Anzeigen werden mit der Software Adobe Flash direkt in das Video der Fahrszene integriert. In Abbildung 6.2-3 ist für die Anzeige des Abstandsregeltempomaten dargestellt, wie sich sowohl die symbolische als auch die kontaktanaloge Ausgabe für den Fahrer darstellen. Im Gegensatz zu dieser Abbildung bekommen die Probanden in dem Experiment nicht zeitgleich die symbolische und die kontaktanaloge Ausgabe angezeigt.

6.2.2.1.3 Versuchsdesign

Nachfolgend werden die bei diesem Experiment verwendeten unabhängigen und abhängigen Variablen vorgestellt.

Unabhängige Variablen

Die unabhängige Variable ist in dem Experiment jeweils die Art der Informationsanzeige. Dabei gibt es je eine herkömmliche symbolische Anzeige und mindestens eine kontaktanaloge Variante.

Zunächst werden die Anzeigen des Abstandsregeltempomaten und dann diejenigen des Spurhalteassistenten vorgestellt.

Für den Abstandsregeltempomaten existieren je eine symbolische und eine kontaktanaloge Anzeige. Für die symbolische Anzeige werden die Symbole und die Interaktionsstrategie des Abstandsregeltempomaten der Firma BMW, wie in Abbildung 6.2-4 dargestellt, verwendet. Dabei werden sowohl die eingestellte Wunschgeschwindigkeit für freie Fahrt als auch der Wunschabstand für Folgefahrt in Form von Symbolen angezeigt. Links davon befindet sich die gerade gefahrene Istgeschwindigkeit.



Abbildung 6.2-4: Anzeige von gefahrener und Wunschgeschwindigkeit sowie des Wunschabstandes bei der symbolischen Variante

Zur Anzeige des Wunschabstandes wird bei freier Fahrt ein Fahrbahnsymbol mit einem bis vier gelben Querbalken, die den eingestellten Wunschabstand angeben, angezeigt. Ist ein regelrelevantes Vorderfahrzeug detektiert, wird dies dem Fahrer anhand eines Fahrzeugsymbols rückgemeldet. Kann der Abstandsregeltempomat bei einer Verzögerung selbst nicht stark genug abbremsen, um die Situation zu entschärfen, erfolgt eine Übernahmeaufforderung an den Fahrer in Form eines rot blinkenden Fahrzeugsymbols sowie eines Warntons (siehe Abbildung 6.2-5).



Abbildung 6.2-5: Rückmeldestrategie für die symbolische Abstandsanzeige des Abstandsregeltempomaten bei freier Fahrt, erkanntem Vorderfahrzeug und Übernahmeaufforderung

Bei der kontaktanalogen Variante werden die eingestellte Wunschgeschwindigkeit und die gefahrene Istgeschwindigkeit identisch zur symbolischen Anzeige dargestellt. Der Unterschied liegt in der Anzeige des gewählten Wunschabstandes. Diese erscheint bei detektiertem Vorderfahrzeug in Form eines grünen kontaktanalogen Querbalkens. Dieser fährt in der Entfernung des eingestellten Wunschabstandes vor dem eigenen Fahrzeug her (siehe Abbildung 6.2-6). Hat der Abstandsregeltempomat den eingestellten Abstand eingeregelt, befindet sich der Balken direkt am Heck des vorausfahrenden Fahrzeuges und der Fahrer hat somit die Möglichkeit die einwandfreie Funktion des Systems genau zu überwachen. Kommt es zu einer Situation, die der Automat nicht mehr selbstständig durch Bremsen entschärfen kann, fährt der Abstandsbalken in das Heck des Vorderfahrzeuges und beginnt rot zu blinken. Dies ist zusammen mit einem Warnton die Aufforderung an den Fahrer, die Fahraufgabe wieder zu übernehmen.

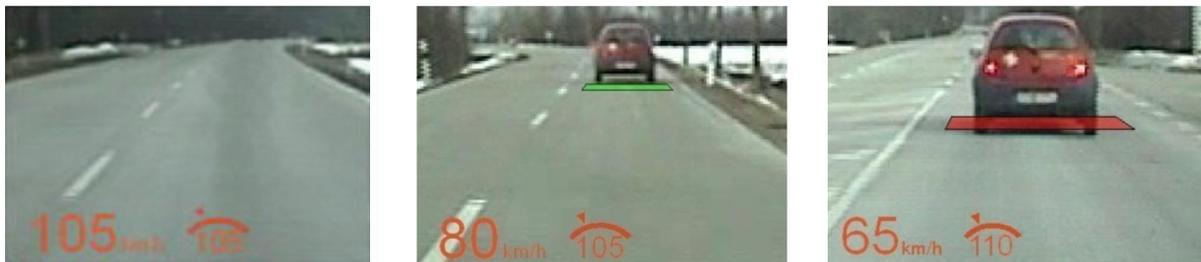


Abbildung 6.2-6: Rückmeldestrategie bei der kontaktanalogen Variante des Abstandsregeltempomaten bei freier Fahrt, erkanntem Vorderfahrzeug und Übernahmeaufforderung

Für den Spurhalteassistenten gibt es eine symbolische und drei unterschiedliche kontaktanaloge Anzeigen. Abbildung 6.2-7 zeigt das Symbol aus dem ISO 2575 Dokument das bei der symbolischen Anzeige verwendet wird. Diese erscheint auf dem LCD Display, wenn der Fahrer droht die Fahrbahn zu verlassen.



Abbildung 6.2-7: Symbol für die Spurverlassenswarnung aus dem ISO 2575 Dokument

Außerdem gibt es drei kontaktanaloge Warnausgaben, die direkt in der Fahrszene angezeigt werden (siehe Abbildung 6.2-8). Die erste Variante ist ein blinkendes rotes Warndreieck, welches auf der Seite der Spur erscheint, an der man diese zu verlassen droht und dessen Spitze in die Richtung der zu erfolgenden Lenkkorrektur weist. Bei der zweiten Spurverlassenswarnung wird diejenige Spurbegrenzung, die der Fahrer zu überfahren droht, gelb nachgezogen. Diese Ausgabe hat ausschließlich hinweisenden Charakter und enthält keinen Hinweis auf die zu erfolgende Lenkkorrektur. Die dritte entspricht weitgehend der zweiten. Der Unterschied liegt darin, dass die Spurbegrenzung, die der Fahrer zu überschreiten droht zunächst gelb nachgezogen wird und die Farbe der Markierung bei einer weiteren Annäherung auf rot wechselt.



Abbildung 6.2-8: Die drei kontaktanalogen Varianten Dreieck, Linie gelb und Linie gelb-rot des Spurhalteassistenten

Abhängige Variablen

Die abhängigen Variablen sind Daten, die mittels Fragebögen erhoben werden. Anhand der für diesen Versuch entwickelten Fragebögen wird die Meinung der Probanden über die Varianten der Assistenzsysteme zu den folgenden Punkten abgefragt:

- Gefallen
- Verständnis
- Ablenkung/Sicherheitsgefühl
- Akzeptanz

Hierzu beantworten die Versuchspersonen die entsprechenden Fragen auf einer sechsstufigen Werteskala von "Stimme völlig zu" bis "Stimme überhaupt nicht zu". Nach dieser absoluten Bewertung der Varianten bringen die Testpersonen diese noch für die Kriterien Gefallen und Verständnis mittels einer Rangreihenbildung in die Reihenfolge ihrer subjektiv empfundenen Bevorzugung.

6.2.2.1.4 Versuchsablauf

Nach der Begrüßung wird den Probanden zunächst das Ziel des Versuches erläutert. Dabei wird ihnen auch eine genaue Beschreibung der eingesetzten Technik sowie des Unterschiedes zwischen einem herkömmlichen und einem kontaktanalogen HUD gegeben. Im Anschluss an das Ausfüllen eines demografischen Fragebogens wird der Sitz der Sitzkiste für die Versuchsperson eingestellt und das LCD Display, welches das HUD simuliert, soweit in das Sichtfeld des Fahrers geschoben, dass es sich möglichst nahe an der üblichen Position eines HUDs im realen Fahrzeug befindet. Daraufhin werden den Testpersonen die Videoanimationen der Assistenzsysteme vorgespielt. Nachdem sie alle Videos des entsprechenden Systems und dessen Varianten gesehen haben, beurteilen sie die Varianten anhand eines Fragebogens. Daraufhin werden die Videoanimationen des anderen Assistenzsystems vorgespielt. Die Versuchsreihenfolge wird dabei über alle Probanden durchpermutiert.

6.2.2.2 Ergebnisdarstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Experimentes vorgestellt. Dabei wird zunächst auf die Resultate für den Abstandsregeltempomat und dann auf die für den Spurhalteassistenten eingegangen.

6.2.2.2.1 Abstandsregeltempomat

Bezüglich der Ergebnisse des Abstandsregeltempomaten werden zunächst die Resultate der absoluten Bewertung und dann die der Rangreihenbildung vorgestellt. Nachdem die Probanden die beiden HUD Anzeigevarianten erlebt haben, bewerten

sie diese anhand von jeweils sieben Fragen in den oben genannten Kategorien. Bezüglich der Fragen, welches Design besser gefällt, ob man anhand der Anzeige stets weiß, wann man handeln muss und ob das Assistenzsystem ablenkt, gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Anzeige Konzepten.

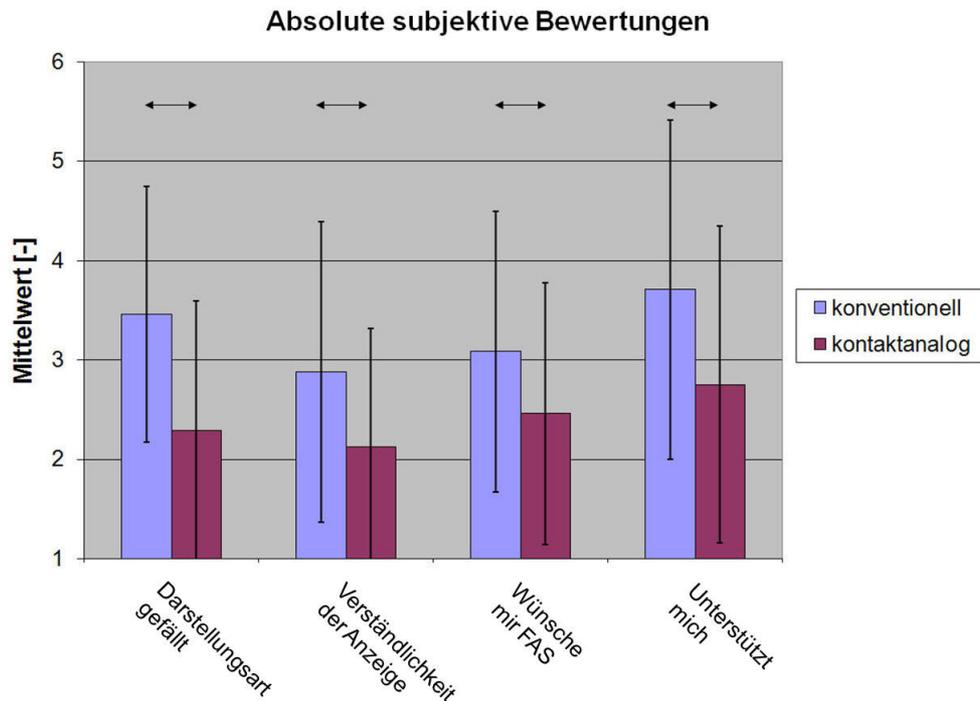


Abbildung 6.2-9: Ergebnisse der subjektiven Probandenbewertung

Bei den anderen vier Bewertungspunkten kommt es jedoch zu Unterschieden zwischen den Konzepten. Betrachtet man die Ergebnisse der absoluten Probandenbewertung in Abbildung 6.2-9 sowie in den Tabellen 6.2-2 und 6.2-3, erkennt man den klaren Vorteil der kontaktanalogen gegenüber der konventionellen HUD Anzeige. Den Probanden gefällt hinsichtlich der Darstellungsart die kontaktanaloge Anzeige des Abstandes signifikant besser als die konventionelle Anzeige über die Symbolik. Ebenso geben die Versuchspersonen an, dass die kontaktanaloge Abstandsdarstellung die Verständlichkeit der Anzeige deutlich erhöht.

Tabelle 6.2-2: Ergebnis der absoluten Bewertungen zur Darstellungsart und zur Verständlichkeit der Anzeige

	Darstellungsart		Anzeige ist klar verständlich	
	konventionell	kontaktanalog	konventionell	kontaktanalog
Mittelwert [-]	3,46	2,29	2,88	2,13
Standardabweichung [-]	1,28	1,30	1,51	1,19
α -Fehler	0,004		0,039	

Der Wunsch nach dem Assistenzsystem wird durch die kontaktanaloge Darstellung des eingestellten Wunschabstandes signifikant gesteigert. Zugleich wird die Unterstützung durch das System verstärkt wahrgenommen, was sich in einer besseren Bewertung der kontaktanalogen Variante zeigt.

Tabelle 6.2-3: Ergebnis der absoluten Bewertungen zum Wunsch nach dem Assistenzsystem und zur Unterstützung durch die Anzeige

	Wünsche mir FAS		Unterstützt mich	
	konventionell	kontaktanalog	konventionell	kontaktanalog
Mittelwert [-]	3,08	2,46	3,71	2,75
Standardabweichung [-]	1,41	1,32	1,71	1,59
α -Fehler	0,007		0,022	

Im Rahmen einer Rangreihenbildung haben die Probanden die beiden Varianten bezüglich der Punkte Gefallen und Verständnis in die Reihenfolge ihrer subjektiven Bevorzugung gebracht. Das Ergebnis dieser Bewertung ist in Tabelle 6.2-4 gezeigt. Wie man sehen kann, wird die kontaktanaloge Variante in den beiden Bewertungskriterien jedes Mal besser beurteilt, was jeweils der Median von 1 zeigt. Allerdings ist nur der Vergleich bezüglich des Verständnisses signifikant.

Tabelle 6.2-4: Ergebnis der Rangreihenbildung zu den Fragen nach dem Gefallen und dem Verständnis

	Gefallen		Verständnis	
	konventionell	kontaktanalog	konventionell	kontaktanalog
Median [-]	2,00	1,00	2,00	1,00
α -Fehler	0,414		0,000	

6.2.2.2 Spurhalteassistent

Nachstehend werden die Ergebnisse der Befragung zum Spurhalteassistenten vorgestellt. Dabei werden auch, wie beim Abstandsregeltempomaten, zunächst die Resultate der absoluten Bewertungen und dann die der Rangreihenbildung gezeigt.

Bei den absoluten Bewertungen ergibt eine Varianzanalyse, dass es in allen Kategorien signifikante Unterschiede innerhalb der Varianten gibt.

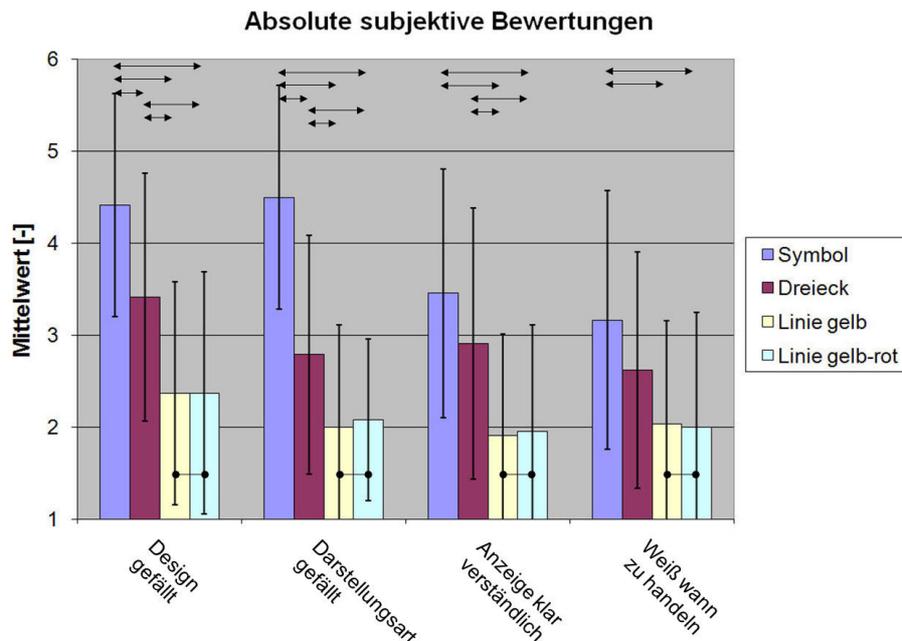


Abbildung 6.2-10: Ergebnisse der subjektiven Probandenbewertung

Abbildung 6.2-10 zeigt, dass die Frage nach dem Design und der Darstellungsart der Anzeige, einen klaren Vorteil für die kontaktanalogen Darstellungen gegenüber der Symbolik ergibt. Zudem werden die beiden Varianten, bei denen die Spurmarkierung

gelb bzw. gelb-rot nachgezogen wird, besser bewertet als das Warndreieck. Auch trägt die kontaktanaloge Warnausgabe durch Nachziehen der Spurmarkierung, im Vergleich zur Symbolik und dem Warndreieck, zur Verständlichkeit der Anzeige bei. Ebenso wird durch das Nachzeichnen erreicht, dass die Probanden angeben, genau zu wissen, wann und in welcher Form sie zu handeln haben. Innerhalb der beiden Varianten, bei denen die Spurmarkierung nachgezogen wird, gibt es bezüglich dieser vier Kriterien keinen Unterschied. Diese beiden Varianten werden jedoch zweimal signifikant besser bewertet als das Warndreieck.

Wie in Abbildung 6.2-11 dargestellt, ergibt sich bei den Kriterien, ob sich die Versuchspersonen ein derartiges Assistenzsystem wünschen bzw. ob sie denken, dass sie dadurch unterstützt werden, das gleiche Resultat wie schon bei den ersten beiden Fragen. Die kontaktanalogen Varianten werden signifikant besser bewertet als die Symbolik. Dabei schneiden die beiden Versionen, bei denen die Spurmarkierung nachgezogen wird, wiederum besser als das Warndreieck ab. Die Antworten auf die Frage, ob das Assistenzsystem möglicherweise ein Ablenkungspotential darstellt, weichen von dieser Systematik ab. Hier wird die kontaktanaloge Ausgabe, bei der die Spurmarkierung gelb hervorgehoben wird, am besten bewertet. Dabei setzt sie sich signifikant von der symbolischen Anzeige und von der gelb-roten Spurmarkierung ab. Es besteht jedoch kein signifikanter Unterschied zum roten Warndreieck (α -Fehler = 0,118).

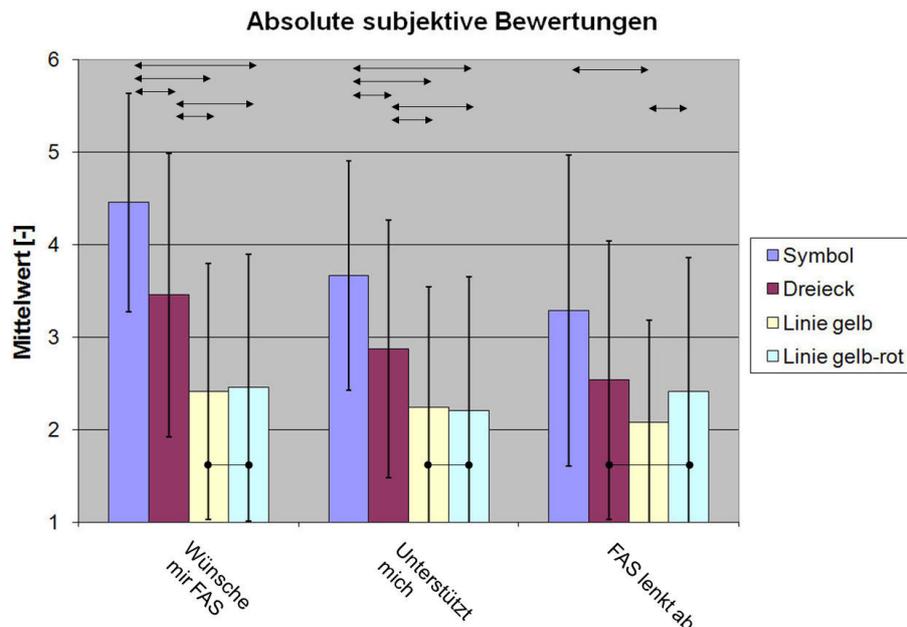


Abbildung 6.2-11: Ergebnisse der subjektiven Probandenbewertung

Gestützt werden die Ergebnisse der absoluten Bewertung von den Resultaten der Rangreihenbildung zu den Punkten Gefallen und Verständnis. Alle kontaktanalogen Varianten werden bei dem Kriterium Gefallen signifikant besser bewertet als die symbolische Darstellung (siehe Abbildung 6.2-12). Ebenso schneiden die beiden Versionen, bei denen die Spurmarkierungen nachgezogen werden, besser ab als das Warndreieck. Ein nahezu identisches Ergebnis erzielt die Frage nach dem Systemverständnis. Hier wird wiederum die Symbolik schlechter beurteilt als die kontaktanalogen Darstellungen. Innerhalb der drei Versionen gibt es lediglich einen signifikanten Vorteil für die gelb-rote Spurmarkierung gegenüber dem Warndreieck.

6.2.2.3 Ergebniszusammenfassung

Betrachtet man die Ergebnisse der Studie, ergibt sich ein eindeutiger Vorteil für die kontaktanalogen Anzeigen. Beim Abstandshalteassistenten wird die kontaktanaloge Variante in vier von sieben Kategorien signifikant besser bewertet. Das sind die Darstellungsart, die Verständlichkeit, der Wunsch nach dem Assistenzsystem und die durch das System empfundene Unterstützung. Im Zusammenhang mit dem Spurhalteassistenten werden die kontaktanalogen Varianten in allen Bewertungskategorien signifikant besser beurteilt als die Warnsymbolik nach ISO 2575. Innerhalb der kontaktanalogen Versionen wird das Nachzeichnen der Spurmarkierung gegenüber einem Warndreieck, welches die Richtung der erforderlichen Lenkkorrektur angibt, bevorzugt.

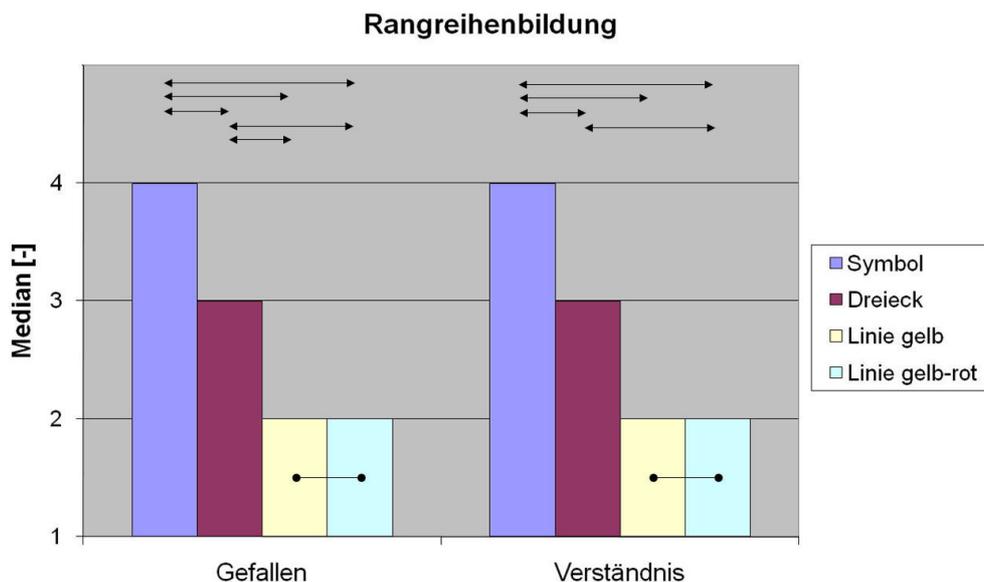


Abbildung 6.2-12: Ergebnisse der subjektiven Rangreihenbildung zu den Punkten Gefallen und Verständnis

Man muss jedoch beachten, dass dies Ergebnisse sind, die im Rahmen einer Usability Studie entstanden sind, bei denen die Probanden Videoszenen betrachtet und daraufhin die Anzeige bewertet haben. In einem nächsten Schritt müssen diese in einer für den Nutzer interaktiv erlebbaren Form umgesetzt und detailliert untersucht werden. Erst eine solche Untersuchung kann sicher beantworten, ob durch die kontaktanalogen Anzeigen nicht möglicherweise ein negativer Einfluss auf die Fahrleistung oder das Fahrerverhalten eintritt. Ferner muss auch immer die technische Realisierbarkeit einer derartigen Anzeige im Realfahrzeug im Auge behalten werden.

6.3 Anzeige verkehrsrelevanter Informationen

Im folgenden Kapitel wird eine Untersuchung zum Einfluss der Anzeige verkehrsrelevanter Informationen in Form von Verkehrszeichensymbolen im HUD vorgestellt. Die Funktionsweise dieses Systems ist in Kapitel 3.3.3 genau beschrieben. Mittels der Studie wird die Auswirkung einer derartigen Anzeige auf die Fahrperformance und das Blickverhalten untersucht. Ferner wird erfragt, für welche Verkehrszeichen eine Darstellung als besonders wichtig und für welche sie als eher unwichtig empfunden wird.

Nachstehend wird zunächst auf die Versuchsmethodik und daraufhin auf die Vorstellung der gewonnenen objektiven und subjektiven Ergebnisse eingegangen. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert.

6.3.1 Methodik

Die Methodik umfasst das Probandenkollektiv, den Versuchsaufbau, das Versuchsdesign, also die unabhängige und die abhängigen Variablen, die Versuchsdurchführung sowie die aufgestellten Hypothesen.

6.3.1.1 Probandenkollektiv

An der Untersuchung nehmen zwölf Probanden teil, wovon jeweils sechs männlich und sechs weiblich sind. Die Versuchspersonen sind zwischen 19 und 53 Jahren alt (Mittelwert = 37 Jahre, Standardabweichung = 14 Jahre) und sind zum Versuchszeitpunkt im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis. Drei der Probanden haben bereits an einem Simulator- oder Realversuch teilgenommen.

6.3.1.2 Versuchsaufbau

Die Untersuchung findet an dem in Kapitel 3.1 detailliert beschriebenen Fahr Simulator statt. Für dieses Experiment werden in der Datenbasis mehrere Verkehrsschilder an wirklichkeitsnahen Stellen und in realistischen Abständen platziert. Die Verteilung diese Schilder entlang der Simulatorstrecke zeigt die Abbildung 6.3-1. Ferner sind in dieser Abbildung die Auswertebereiche eingezeichnet, da es Bereiche gibt, in denen ein, zwei oder drei Verkehrszeichen gleichzeitig gültig sind. Die Anzeige der Verkehrszeichen wird ca. 20m vor dem Erreichen der realen Schilder ausgelöst. Dabei werden den Probanden immer die momentan gültigen Verkehrszeichen im HUD als Symbolik dargestellt werden. Wie sich dies dem Fahrer darstellt, zeigt Abbildung 3.3-7.

6.3.1.3 Versuchsdesign

6.3.1.3.1 Unabhängige Variable

Für die Untersuchung wird ein Versuchsdesign mit abhängigen Stichproben ausgewählt, bei dem alle Probanden sowohl mit der Verkehrszeichenassistentz als auch ohne sie fahren. Die unabhängige Variable ist somit die Art der Fahrerassistentz. Es gibt die normale Fahrt ohne Assistentz und die Fahrt mit Verkehrszeichenassistentz. Bei der Letzteren wird noch unterschieden, wie viele Verkehrszeichen dem Fahrer simultan angezeigt werden. Dies können ein, zwei oder drei sein.

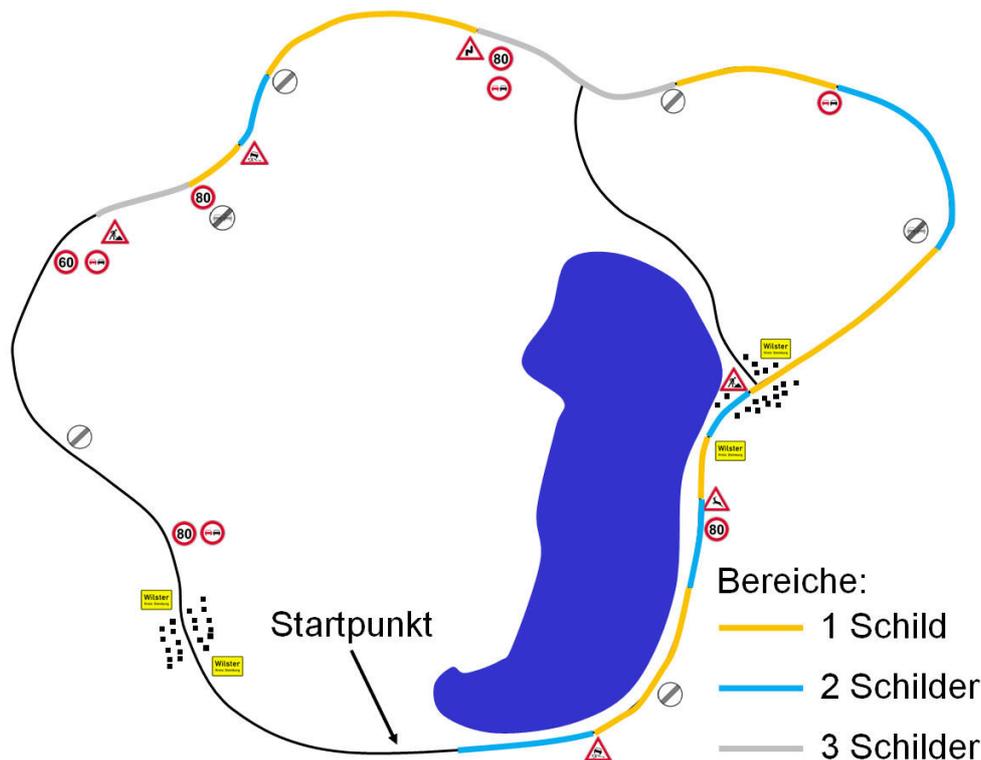


Abbildung 6.3-1: Verteilung der Schilder in der Datenbasis sowie Markierung der Auswertebereiche

6.3.1.3.2 Abhängige Variablen

Anhand der abhängigen Variablen wird der Einfluss des Assistenten bestimmt. Diese unterteilen sich in die objektiven Messwerte für die Fahrperformance und das Blickverhalten sowie die subjektiven Ergebnisse, die im Rahmen eines Interviews mit festen Fragen ermittelt werden. Eine genauere Beschreibung dieser Kennwerte erfolgt im Kapitel 5 dieser Arbeit.

6.3.1.4 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf der Experimente in den Kapiteln 6.3 bis 6.6, die alle im statischen Fahrsimulator durchgeführt werden, ist aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit der Studien untereinander standardisiert und immer gleich. Deshalb wird der Ablauf an dieser Stelle einmal detailliert beschrieben und ist dann repräsentativ für alle folgenden Untersuchungen.

Die Untersuchung findet im statischen Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie statt. Nach Ankunft und Begrüßung der Probanden füllen diese zunächst einen Fragebogen zur Erfassung der demografischen Daten aus. Daraufhin werden den Versuchspersonen der Fahrsimulator sowie die Assistenzsysteme kurz erläutert und sie haben im Rahmen einer Eingewöhnungsfahrt ausreichend Zeit, um sich mit dem Fahren im Simulator vertraut zu machen. Dabei sind die Assistenzsysteme noch deaktiviert. Wenn die Versuchsteilnehmer den Umgang mit dem Simulator erlernt haben, wird das Blickerfassungssystem Dikablis eingerichtet und die erste der Versuchsfahrten begonnen. Sämtliche unabhängige Varianten eines Assistenzsystems sowie die Kontrollbedingung der nicht-assistierten Fahrt, werden in einer jeweils separaten Fahrt erprobt, wobei die Reihenfolge dieser Varianten unter den Versuchsteilnehmern durchpermutiert wird. Mit jeder der Ausprägungen fahren

die Probanden eine komplette Runde auf dem in Abbildung 6.3-1 gezeigten Landstraßenrundkurs. Zur Bestimmung des Einflusses der Assistenzsysteme auf das Fahr- und Blickverhalten werden während der Fahrten die Fahrdynamikwerte mittels des Datenrecorders des Fahrsimulators und die Blickdaten erfasst. Am Ende jeder Fahrt füllen die Probanden einen Fragebogen zu ihrer subjektiv empfundenen Fahrperformance und Beanspruchung aus. Nach Abschluss der drei Fahrten bearbeiten die Testpersonen noch einen sogenannten Abschlussfragebogen. In diesem müssen sie die Varianten im Rahmen einer Rangreihenbildung, relativ zueinander, hinsichtlich ihres Einflusses auf die Fahrleistung bewerten sowie deren Gefallen und Akzeptanz beurteilen. Daraufhin erhalten die Probanden eine Aufwandsentschädigung und werden verabschiedet.

6.3.1.5 Hypothesen

Nachstehend erfolgt die Darstellung der Hypothesen zum Einfluss einer Verkehrszeichenanzeige. Dabei gibt es sowohl Hypothesen zur Fahrperformance als auch zum Blickverhalten.

Fahrperformance:

Die Anzeige der verkehrsrelevanten Informationen sollte zu einer Verbesserung des Situationsbewusstseins führen. Aus diesem Grund liegt die Vermutung nahe, dass es dadurch beim Vorherrschen von mehreren Gefahren-, Vorschrifts- oder Richtzeichen zu einer Anpassung der gefahrenen Geschwindigkeit kommt. Einen Einfluss auf die Querführung sollte es dagegen nicht geben. Aus diesen beiden Annahmen bezüglich der Fahrperformance resultieren die im Folgenden aufgeführten Hypothesen.

Fahr_1/H₀: Wenn mit der Anzeige der verkehrsrelevanten Informationen gefahren wird, dann hat dies keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl.

Fahr_1/H₁: Wenn die Probanden mit der Anzeige fahren, dann hat diese einen Effekt auf die Wahl der Geschwindigkeit.

Fahr_2/H₀: Wenn mit der Anzeige gefahren wird, dann hat dies keinen Einfluss auf die Querführung.

Fahr_2/H₁: Wenn mit der Anzeige gefahren wird, dann verändert sich die Spurhaltegröße der Probanden.

Blickverhalten:

Die Anzeige von verkehrsrelevanten Informationen stellt eine Rückmeldung mit hohem Informationsgehalt dar, durch die der Fahrer bei der Erfüllung der Fahraufgabe unterstützt werden soll. Um diese abzulesen, muss er jedoch, neben den ohnehin schon vorhandenen Blickabwendungen zum Ablesen der Istgeschwindigkeit, seinen Blick in Richtung der Anzeige lenken. Weiterhin besteht bei gesteigerter Anzahl an simultan dargestellten Informationen immer die Gefahr, dass dies zu einer Verlängerung der Blicke weg von der Fahraufgabe führt (siehe hierzu auch *Rassl, 2004*). Aufbauend auf diesen beiden Vermutungen werden die nachstehenden Hypothesen zum Blickverhalten formuliert.

Blick_1/H₀: Wenn die Versuchspersonen mit dem Assistenzsystem fahren, dann hat dies keinen Einfluss auf die Anzahl der Blicke und die durchschnittliche Blickzahl auf das HUD.

Blick_1/H₁: Durch das Assistenzsystem verändern sich die Anzahl der Blicke und die durchschnittliche Blickzahl auf das HUD.

Blick_2/H₀: Wenn mehrere Symbole gleichzeitig im HUD angezeigt werden, dann hat dies keinen Effekt auf die durchschnittliche und maximale Blickdauer auf die Anzeige.

Blick_2/H₁: Wenn die Zahl der gleichzeitig im HUD dargestellten Symbole steigt, dann verändern sich die durchschnittliche und die maximale Blickdauer auf die Anzeige.

Zusammenfassend wird ein positiver Einfluss der Anzeige auf die Geschwindigkeitswahl und kein Einfluss auf die Querführung erwartet. Ferner wird angenommen, dass durch diese Assistenz mehr auf das HUD geblickt wird, was sich jedoch nicht negativ auf die Fahrperformance auswirkt.

6.3.2 Ergebnisdarstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie vorgestellt. Dabei wird zunächst auf die Resultate der Fahrdynamikauswertung, welche sich in Kennwerte zur Längs- und Querführung unterteilen, eingegangen. Darauf folgt die Vorstellung der Ergebnisse aus der Blickauswertung sowie der subjektiven Befragung.

6.3.2.1 Fahrperformance

Die Leistungsmaße zur Bestimmung der Fahrperformance umfassen Kennwerte zur Geschwindigkeitshaltung und zur Querführung.

6.3.2.1.1 Geschwindigkeitshaltung

Zur Charakterisierung der Geschwindigkeitshaltung werden die mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, die maximale Geschwindigkeitsüberschreitung und der Prozentanteil an Überschreitungen der erlaubten Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h betrachtet.

Die Ergebnisse zum Kennwert mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit sind in Abbildung 6.3-2 und Tabelle 6.3-1 dargestellt.

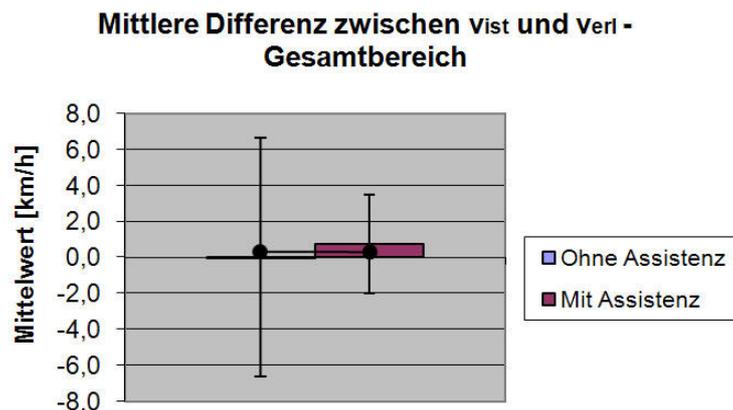


Abbildung 6.3-2: Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit beim Fahren ohne und mit Assistenz für den gesamten Messbereich

Man kann erkennen, dass die Anzeige von verkehrsrelevanten Hinweisen auf die globale Geschwindigkeitshaltung der Probanden über alle Messbereiche keinerlei

Einfluss hat. Dies wird durch einen α -Fehler von 0,635 für den paarweisen Vergleich der Fahrten ohne und mit Assistenz gestützt.

Tabelle 6.3-1: Ergebnisse des Kennwertes mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit für den kompletten Messbereich bei der Fahrt ohne und mit Assistenz

Mittlere Differenz zwischen v_{ist} und v_{erl} - Gesamtbereich		
	Ohne Assistenz	Mit Assistenz
Mittelwert [km/h]	0,01	0,75
Standardabweichung [km/h]	6,65	2,74
α -Fehler	0,635	

Geht man jedoch gezielt auf die einzelnen Bereiche der Strecke ein, auf denen unterschiedlich viele Verkehrszeichen gültig sind, ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen der assistierten und der nicht-assistierten Fahrt. Wie man in Abbildung 6.3-3 links sehen kann, tendieren die Probanden dazu, in den Bereichen mit mehr gültigen Verkehrszeichen schneller zu fahren, als wenn lediglich eine Geschwindigkeitsvorschrift besteht. Dies lässt sich, wie man in Tabelle 6.3-2 links sehen kann, für den paarweisen Vergleich der Bereiche mit einem und mit zwei gültigen Schildern signifikant nachweisen.

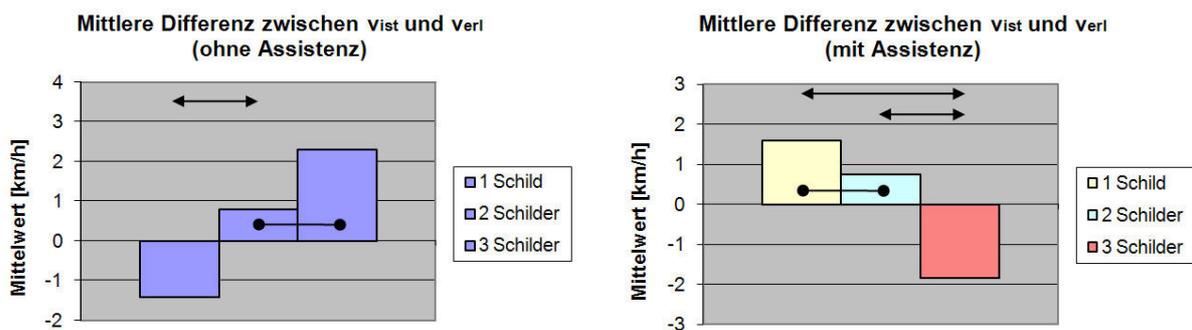


Abbildung 6.3-3: Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit in den einzelnen Schilderbereichen

Betrachtet man dagegen die Ergebnisse der Fahrten, bei denen den Probanden die gültigen Verkehrszeichen im HUD angezeigt werden, dreht sich dieses Resultat um. In Abbildung 6.3-3 rechts kann man erkennen, dass die gefahrene Geschwindigkeit der Probanden mit der Anzeige bei mehr gültigen Verkehrszeichen signifikant abnimmt. Die α -Fehler für die paarweisen Vergleiche in Tabelle 6.3-2 zeigen, dass die Abnahme für den Vergleich von einem mit zwei und von einem mit drei gültigen Verkehrszeichen signifikant ist. Daraus lässt sich ableiten, dass durch die permanente Anzeige und die optische Präsenz der vorherrschenden Randbedingungen das Situationsbewusstsein der Probanden geschärft wird und diese als Folge daraus ihre Geschwindigkeit den äußeren Bedingungen anpassen.

Tabelle 6.3-2: Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl an gültigen Verkehrszeichen

Mittlere Differenz zwischen v_{ist} und v_{erl} (ohne Assistenz)				Mittlere Differenz zwischen v_{ist} und v_{erl} (mit Assistenz)						
		1 Schild	2 Schilder	3 Schilder			1 Schild	2 Schilder	3 Schilder	
α -Fehler	1 Schild		0,014	0,122	α -Fehler	1 Schild		0,366	0,001	
	2 Schilder			0,506		2 Schilder				0,018
	3 Schilder					3 Schilder				
Mittelwert [km/h]		-1,42	0,78	2,31	Mittelwert [km/h]		1,60	0,74	-1,84	
Standardabweichung [km/h]		7,06	5,76	11,79	Standardabweichung [km/h]		3,76	2,39	3,82	

Ein weiterer Kennwert zur Untersuchung der Geschwindigkeitshaltung ist die maximale Geschwindigkeitsüberschreitung der Versuchspersonen im gesamten Messbereich.

Wie man der Ergebnisdarstellung in Abbildung 6.3-4 entnehmen kann, hat es keinerlei Einfluss auf die maximale Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit, ob die Testpersonen ohne oder mit dem Verkehrszeichenassistenten fahren. Der paarweise Vergleich der beiden Varianten ergibt einen α -Fehler von 0,547.

Dieses Ergebnis wird gestützt durch das Resultat für den prozentualen Zeitanteil, während dem die Versuchspersonen die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten haben (siehe Abbildung 6.3-5). Bei der Fahrt ohne Anzeige fahren die Probanden in 8,21% der Zeit (Standardabweichung = 13,32%) um mehr als 10 km/h zu schnell, mit der Assistenz in 3,73% (Standardabweichung = 5,37%). Der α -Fehler für den paarweisen Vergleich liegt bei 0,251, sodass zwischen den beiden Varianten kein Unterschied besteht.

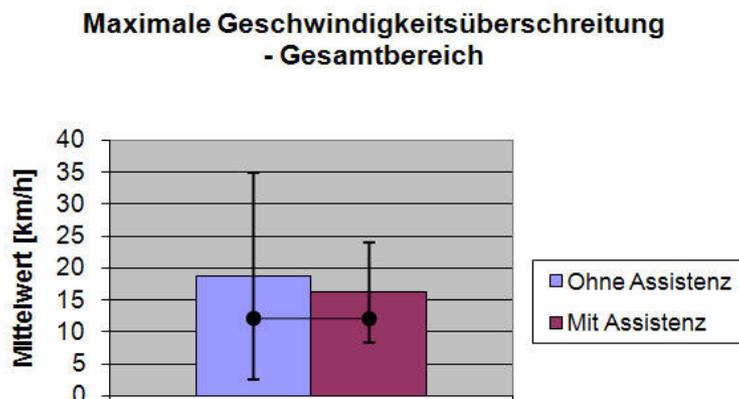


Abbildung 6.3-4: Maximale Geschwindigkeitsüberschreitung über alle Schilderbereiche für die Fahrten ohne und mit Assistenz

Betrachtet man zusammenfassend die Ergebnisse zur Geschwindigkeitshaltung, zeigt sich global kein Einfluss der Anzeige auf die Wahl der Geschwindigkeit. Geht man jedoch gezielt auf die einzelnen Bereiche ein, in denen eine unterschiedliche Anzahl an Verkehrsschildern gültig ist, zeigt sich der Vorteil des Assistenten. Bei der Fahrt ohne Assistenz tendieren die Probanden dazu, bei mehr gültigen Verkehrszeichen schneller zu fahren. Werden jedoch die vorherrschenden Schilder den Testpersonen im HUD angezeigt, senken diese ihre Geschwindigkeit ab und passen sich den äußeren Gegebenheiten an.

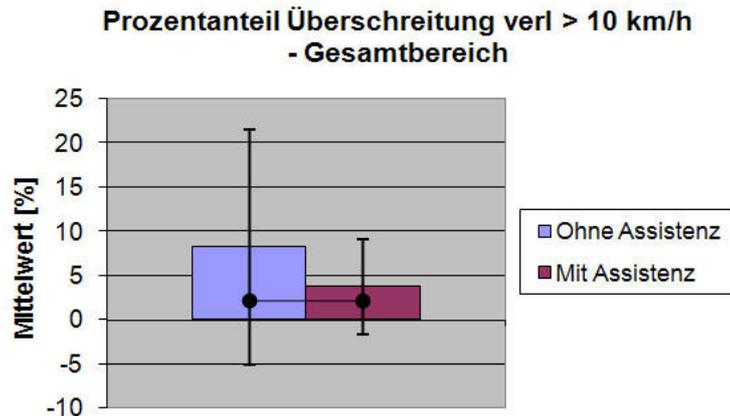


Abbildung 6.3-5: Prozentualer Zeitanteil, bei dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird

6.3.2.1.2 Querführung

Um den möglichen Einfluss der Anzeige auf die Querführung zu untersuchen, werden nachstehend die Ergebnisse zur mittleren Spurposition, zur Standardabweichung der Spurposition und zum 15. Perzentil der TLC1 vorgestellt.

In Abbildung 6.3-6 ist die mittlere Spurposition über den gesamten Messbereich für die Fahrten ohne und mit dem Verkehrszeichenassistenten dargestellt. Ohne Anzeige fahren die Versuchspersonen im Mittel 0,51m (Standardabweichung = 0,16m) links neben der Spurmitte, mit der Anzeige durchschnittlich 0,42m links davon (Standardabweichung = 0,26m). Der α -Fehler für den paarweisen Vergleich liegt bei 0,167, womit ein Einfluss der Anzeige auf die mittlere Spurposition weder nachgewiesen noch ausgeschlossen werden kann.

Betrachtet man jedoch die Resultate der Kennwerte Standardabweichung der Spurposition und 15. Perzentil der TLC1, wird das Ergebnis eindeutig.

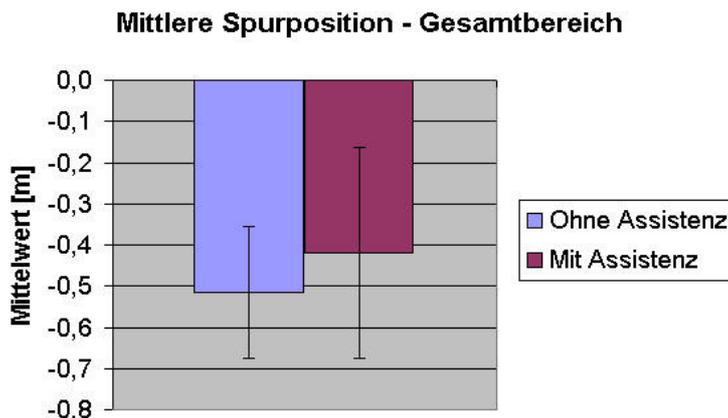


Abbildung 6.3-6: Mittlere Spurposition für den Gesamtbereich für die Fahrten ohne und mit Assistenz

Die Standardabweichung der Spurposition gibt an, wie konstant der Proband seine Position innerhalb der Spur hält. Je kleiner der Kennwert ist, desto weniger Schwankungen ist die Spurposition unterlegen. Wie man in Abbildung 6.3-7 sehen kann, unterscheiden sich die beiden Balken für die Fahrt ohne und mit der Anzeige

nicht. Der α -Fehler für den Vergleich der nicht-assistierten mit der assistierten Fahrt liegt bei 0,346, sodass es keinen Unterschied zwischen den Varianten gibt.

Ein identisches Ergebnis erhält man bei dem 15. Perzentil der TLC1. Je größer dieser Kennwert desto sicherer ist die Spurhaltung. Abbildung 6.3-8 kann man entnehmen, dass die Fahrt ohne Anzeige mit einem Wert von 3,95s und die Fahrt mit Darstellung der Verkehrsschilder mit 4,03s nahezu gleichauf liegen. Der paarweise Vergleich zeigt mit einem α -Fehler von 0,768, dass es keinerlei Unterschiede zwischen den Varianten gibt.

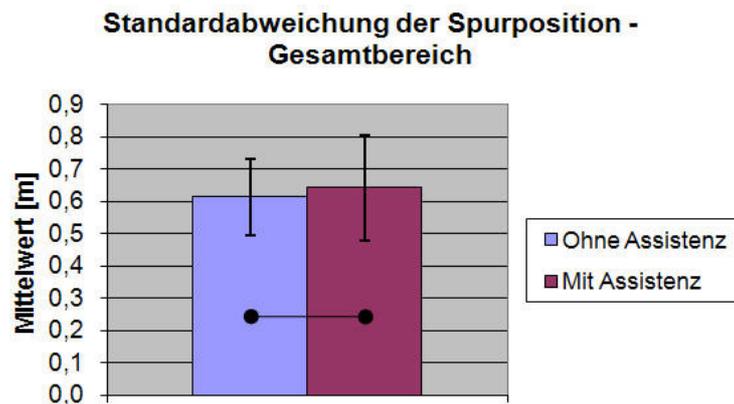


Abbildung 6.3-7: Standardabweichung der Spurposition für den Gesamtbereich für die Fahrten ohne und mit Assistenz

Um jeden möglichen Einfluss der Anzeige auf die Querführung auszuschließen, erfolgt nachstehend eine kurze Betrachtung der Abschnitte, in denen den Probanden simultan drei Verkehrszeichen gleichzeitig im HUD angezeigt werden. Das Ergebnis für das 15. Perzentil der TLC1 und die Standardabweichung der Spurposition ist in Abbildung 6.3-9 und in Tabelle 6.3-3 dargestellt.

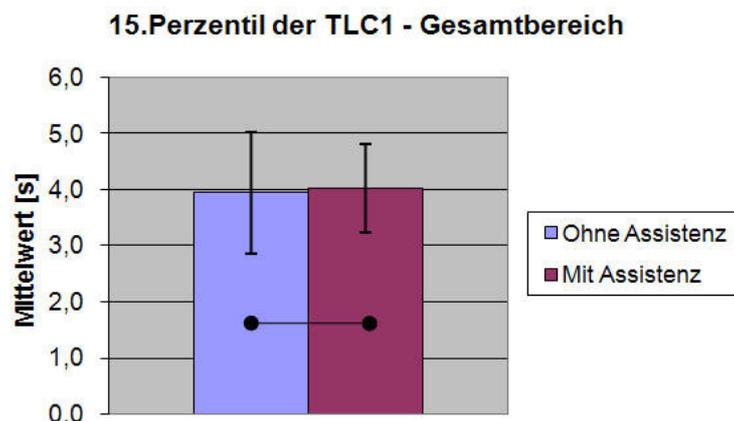


Abbildung 6.3-8: 15. Perzentil der TLC1 für den Gesamtbereich für die Fahrten ohne und mit Assistenz

Die Balkendiagramme zeigen, dass auch die simultane Anzeige von drei Schildern im HUD keinerlei Einfluss auf die Spurhaltegüte der Versuchspersonen hat. Anhand der α -Fehler von 0,546 bzw. 0,829 für das 15. Perzentil der TLC1 und die Standardabweichung der Spurposition in Tabelle 6.3-3 kann man erkennen, dass sich die Fahrt ohne von der Fahrt mit Anzeige nicht signifikant unterscheidet.

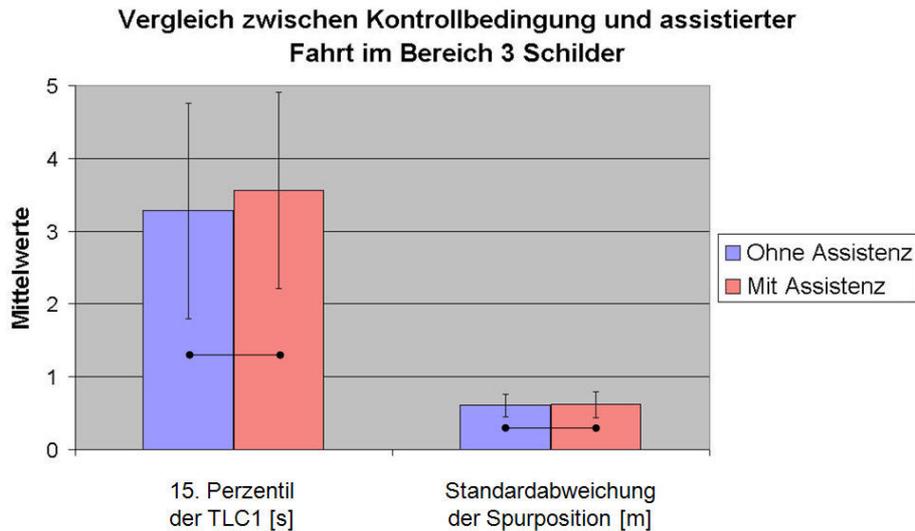


Abbildung 6.3-9: Ergebnisse für das 15. Perzentil der TLC1 und die Standardabweichung der Spurposition für die Bereiche mit 3 gültigen Schildern

Zusammenfassend kann man sagen, dass keinerlei Einfluss der Anzeige auf die Spurhaltung der Probanden festgestellt werden kann. Auch eine gezielte Betrachtung der Bereiche, in denen den Probanden simultan drei Verkehrszeichen im HUD dargestellt werden, bringt keine signifikanten Unterschiede zur nicht-assistierten Fahrt.

Tabelle 6.3-3: Ergebnisse für das 15. Perzentil der TLC1 und die Standardabweichung der Spurposition für die Bereiche, in denen 3 Schilder gleichzeitig gültig sind

Querführung - Vergleich zwischen Fahrt mit und ohne Assistenz im Bereich 3 Schilder				
	15.Perzentil der TLC1 [s]		Standardabweichung der Spurposition [m]	
	Ohne Assistenz	Mit Assistenz	Ohne Assistenz	Mit Assistenz
Mittelwert	3,28	3,56	0,61	0,62
Standardabweichung	1,48	1,35	0,16	0,18
α -Fehler	0,546		0,829	

6.3.2.2 Blickverhalten

Im Folgenden Abschnitt wird der Einfluss des Verkehrszeichenassistenten auf das Blickverhalten der Probanden untersucht. Dabei werden zunächst die Ergebnisse der prozentualen Blickdauern auf die Areas of Interest „Straße“, „HUD“, „Umwelt“ und „Verkehrszeichen“ gezeigt. Dann werden die Blickkennwerte maximale Blickdauer, Anzahl der Blicke pro Sekunde und durchschnittliche Blickdauer auf die AOIs „HUD“ und „Verkehrszeichen“ vorgestellt. Abschließend wird überprüft, inwiefern die Anzahl an simultan dargestellten Verkehrszeichen im HUD einen Effekt auf die durchschnittliche Blickdauer auf die Anzeige hat.

In Abbildung 6.3-10 und Tabelle 6.3-4 sind die Ergebnisse der prozentualen Verteilung der Blickdauern auf die AOIs "Straße", "HUD", "Umwelt" und "Verkehrszeichen" zu sehen. Wie man erkennen kann, erfolgt durch die Darstellung der Verkehrszeichen im HUD eine Verlagerung der Blickverteilung in Richtung der Anzeige. Dies hat zur Folge, dass der prozentuale Zeitanteil der Blickdauern auf das HUD signifikant von 12,30% auf 24,19% (α -Fehler = 0,001) zu- und in gleichem

Maße der Zeitanteil auf das Verkehrsgeschehen von 75,72% auf 65,87% (α -Fehler < 0,001) abnimmt.

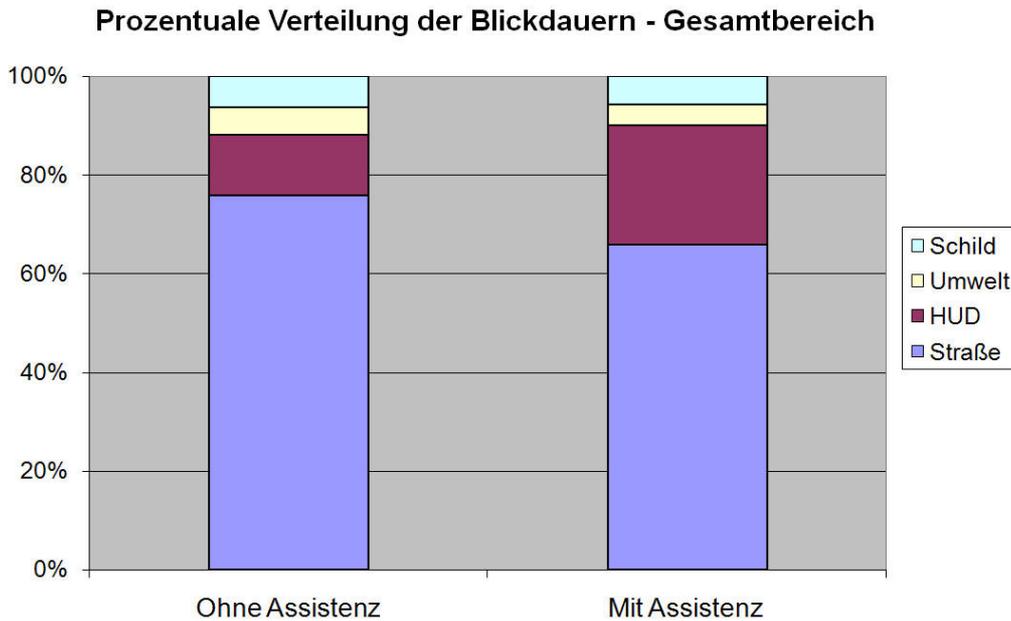


Abbildung 6.3-10: Prozentuale Verteilung der Blickdauern auf die AOIs "Straße", "HUD", "Umwelt" und "Verkehrszeichen" für den gesamten Messbereich

Eine Abnahme der nicht-verkehrsrelevanten Blicke auf das AOI Umwelt durch die Anzeige lässt sich mit einem α -Fehler von 0,053 nicht signifikant nachweisen. Ebenso wenig wird der prozentuale Blickanteil auf die Verkehrszeichen beeinflusst. Somit kann man zunächst festhalten, dass die Anzeige eine signifikante Verlagerung der Blickverteilung in Richtung HUD bewirkt.

Tabelle 6.3-4: Messwerte und α -Fehler für die prozentualen Blickdauern auf die AOIs "Straße", "HUD", "Umwelt" und "Verkehrszeichen"

Prozentuale Verteilung der Blickdauern - Gesamtbereich								
	Straße		HUD		Umwelt		Schild	
	Ohne Assistenz	Mit Assistenz						
Mittelwert	75,72	65,87	12,30	24,19	5,58	4,25	6,40	5,68
Standardabweichung	6,65	8,24	4,73	8,22	2,46	1,90	1,83	0,96
α -Fehler	0,001		0,000		0,053		0,107	

Die maximale Blickabwendung auf das HUD liegt bei der Fahrt ohne Anzeige bei 1,71s (Standardabweichung = 1,36s) und bei der Fahrt mit dem Assistenten bei 1,93s (Standardabweichung = 0,49s). Dies legt die Vermutung nahe, die Darstellung der Verkehrszeichensymbole erhöht die maximale Blickabwendungsdauer auf das HUD. Wie der α -Fehler von 0,287 für den paarweisen Vergleich jedoch zeigt, besteht entgegen dieser Annahme, kein Unterschied zwischen den beiden Ausprägungen. Anders stellt sich dies bei der Anzahl der Blicke pro Sekunde und der durchschnittlichen Blickdauer auf das HUD dar. Diese beiden Kennwerte werden durch die Darstellung der Verkehrszeichen signifikant erhöht (α -Fehler jeweils < 0,001). Ohne die Assistenz wird im Mittel 0,33-mal pro Sekunde auf das HUD geblickt, mit der Anzeige durchschnittlich 0,47-mal pro Sekunde. Die durchschnittliche Blickdauer auf das HUD wird von 0,38s auf 0,52s vergrößert. Die bisherigen Resultate ergeben durch die Anzeige mehr und durchschnittlich längere Blicke auf das HUD und somit weg vom Fahrgeschehen

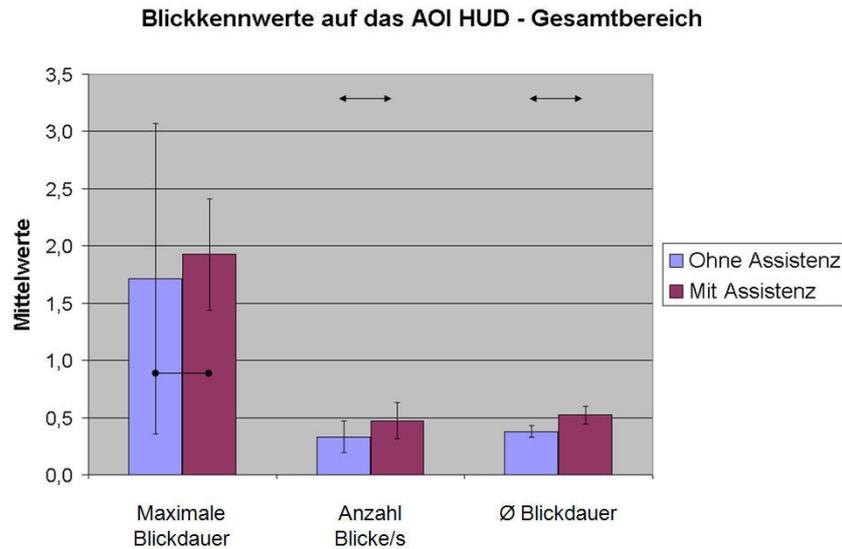


Abbildung 6.3-11: Die Kennwerte maximale Blickdauer, Anzahl der Blicke pro Sekunde und durchschnittliche Blickdauer auf das AOI HUD

Im Weiteren werden die gleichen Kennwerte, die vorstehend für das AOI HUD untersucht wurden, für das AOI Verkehrsschild vorgestellt. Dies gibt zusätzlichen Aufschluss über den Einfluss des Verkehrszeichenassistenten auf das Blickverhalten der Testpersonen.

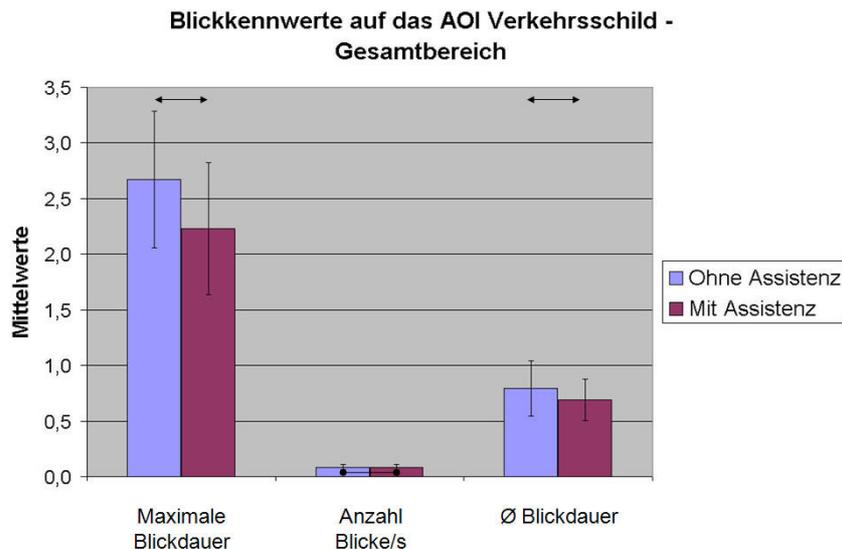


Abbildung 6.3-12: Die Kennwerte maximale Blickdauer, Anzahl der Blicke pro Sekunde und durchschnittliche Blickdauer auf das AOI Verkehrsschild

Wie man anhand der Balkendiagramme in Abbildung 6.3-12 sehen kann, beeinflusst die Anzeige signifikant die maximale Blickdauer auf die in der Simulation stehenden Verkehrszeichen. Diese werden bei aktivierter Assistenz mit einem Mittelwert von 2,23s (Standardabweichung = 0,59s) signifikant kürzer angeblickt, als bei der normalen nicht-assistierten Fahrt mit einem Mittelwert von 2,67s (Standardabweichung = 0,62s). Der α -Fehler für diesen Vergleich liegt bei 0,035. Kein Einfluss lässt sich auf die Blickhäufigkeit auf die realen Verkehrszeichen feststellen. Diese werden sowohl ohne als auch mit dem Assistenten gleich oft angesehen. Betrachtet man jedoch die durchschnittliche Dauer eines Blickes auf die

realen Verkehrszeichen zeigt, sich durch den Assistenten, bei einem α -Fehler von 0,048, eine signifikante Abnahme dieses Kennwertes. Die durchschnittliche Blickdauer auf die Verkehrszeichen liegt ohne die Anzeige bei 0,79s (Standardabweichung = 0,25s) und mit bei nur noch 0,69s (Standardabweichung = 0,18s).

Somit lässt sich für das Blickverhalten auf die in der Simulation stehenden Verkehrszeichen festhalten, dass diese zwar trotz des Verkehrszeichenassistenten genauso häufig angeblickt werden, jedoch die maximalen und durchschnittlichen Blickdauern auf die Schilder signifikant abnehmen.

Ein interessantes Ergebnis liefert eine genauere Durchleuchtung der durchschnittlichen Blickdauer auf das HUD in Abhängigkeit von der Anzahl an simultan angezeigten Verkehrszeichensymbolen. Wie man anhand der Ergebnisse in Abbildung 6.3-13 und in Tabelle 6.3-5 sehen kann, liegt die durchschnittliche Blickdauer auf das HUD, wenn dort lediglich die aktuelle Geschwindigkeit angezeigt wird, im Mittel bei ca. 0,38s. Dabei unterscheiden sich die Daten für die einzelnen Bereiche nicht signifikant voneinander. Erfolgt eine Darstellung der Verkehrszeichen im HUD, erhöht sich unabhängig von der Zahl an dargestellten Symbolen die durchschnittliche Blickdauer (α -Fehler jeweils mindestens $< 0,01$).

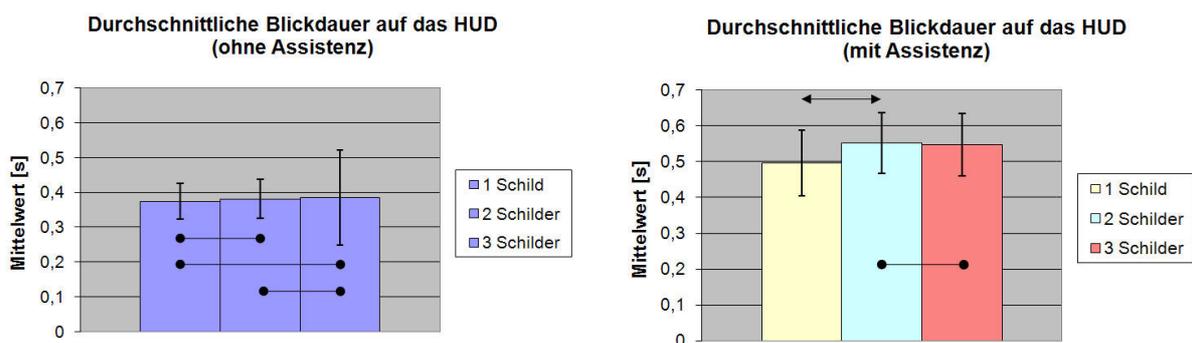


Abbildung 6.3-13: Durchschnittliche Blickdauer auf das HUD in Abhängigkeit von der Anzahl an simultan dargestellten Verkehrszeichen

Ferner hat aber auch die Zahl der im HUD simultan dargestellten Verkehrszeichensymbole einen Einfluss auf die durchschnittliche Blickabwendung in Richtung der Anzeige. In Tabelle 6.3-5 ist zu sehen, dass sich der Wert von durchschnittlich 0,50s bei einem angezeigten Symbol signifikant auf 0,55s erhöht, wenn zwei Verkehrszeichen im HUD dargestellt werden. Die Darbietung eines zusätzlichen dritten Symbols hat keine weitere Zunahme der durchschnittlichen Blickdauer auf das HUD zur Folge.

Tabelle 6.3-5: Messwerte und α -Fehler für die durchschnittliche Blickdauer auf das HUD in Abhängigkeit von den simultan angezeigten Symbolen

Durchschnittliche Blickdauer auf das HUD (ohne Assistenz)				Durchschnittliche Blickdauer auf das HUD (mit Assistenz)							
		1 Schild	2 Schilder	3 Schilder		1 Schild	2 Schilder	3 Schilder			
α -Fehler	1 Schild		0,683	0,748	α -Fehler	1 Schild		0,021	0,14		
	2 Schilder			0,875		2 Schilder				0,81	
	3 Schilder					3 Schilder					
Mittelwert [s]			0,37	0,38	0,39	Mittelwert [s]			0,50	0,55	0,55
Standardabweichung [s]			0,05	0,06	0,14	Standardabweichung [s]			0,09	0,08	0,09

Zusammenfassend ergibt sich ein deutlicher Einfluss des Verkehrszeichenassistenten auf das Blickverhalten der Probanden. Wenn mit der

Anzeige der Verkehrszeichen im HUD gefahren wird, blicken die Probanden öfter und durchschnittlich länger auf die Anzeige, was zur Folge hat, dass der prozentuale Blickanteil auf das HUD zunimmt. In gleichem Maße nimmt der prozentuale Anteil der Blicke auf das Verkehrsgeschehen ab. Bezüglich der Blickzuwendungen auf die realen Verkehrszeichen lässt sich feststellen, dass diese mit dem Assistenten zwar genauso oft angeblickt werden wie ohne ihn, die durchschnittliche und die maximale Blickzuwendungsdauer auf die Schilder jedoch signifikant abnehmen.

Aufgrund der Tatsache der Blickverlagerung in Richtung HUD lässt sich schlussfolgern, dass die Probanden die neue Anzeige akzeptieren und sie, aufgrund der häufigen Nutzung, als Hilfe zur Erfüllung der Fahraufgabe ansehen und auch verwenden.

Zudem zeigt die Abnahme der durchschnittlichen und der maximalen Blickzuwendungsdauer auf die realen Verkehrszeichen bei gleichzeitiger Zunahme der Blickhäufigkeiten auf die Anzeige im HUD Folgendes: Die Fahrer nehmen zwar das Verkehrszeichen wahr, holen sich jedoch die dazugehörige Information dann in der Anzeige im HUD ab, wenn es die Verkehrssituation zulässt. Des Weiteren scheint die Anzeige dazu genutzt zu werden, um sich periodisch rückzuversichern, welche Verkehrsvorschriften gerade gelten.

Allerdings muss zu dem Ergebnis bzgl. des Blickverhaltens angemerkt werden, dass es sich dabei um ein Resultat handelt, das beim Erstkontakt der Probanden mit der Anzeige zustande gekommen ist. Wie *Gengenbach (1997)* zeigt, dauert es etwa drei Wochen, bis sich der Fahrer an eine solche neuartige Art der Darstellung gewöhnt hat. In dieser Zeit ändert sich auch das Blickverhalten in nicht unerheblichem Maß. Bezieht man die von *Gengenbach* gefundenen Erkenntnisse mit ein, müsste der Kennwert „Anzahl der Blicke/s auf das HUD“ beim Fahren mit der Anzeige nach Abschluss der Gewöhnungsphase sogar noch leicht abnehmen.

6.3.2.3 Subjektive Ergebnisse

Bei der subjektiven Probandenbewertungen zur empfundenen Bedeutung der Verkehrszeichen haben die Versuchspersonen für die Verkehrszeichen, welche ihnen im Rahmen dieser Versuchsreihe angezeigt wurden, deren empfundene Wichtigkeit auf einer Skala von „1“ für „sehr wichtig“ bis „4“ für „gar nicht wichtig“ bewertet. Das Ergebnis ist in der nachstehenden Abbildung 6.3-14 gezeigt. Wie man sehen kann, wird die Anzeige der zulässigen Höchstgeschwindigkeit deutlich als am bedeutsamsten empfunden. Darauf folgt die Anzeige eines herrschenden Überholverbots, welche nur noch von der Hälfte der Testpersonen mit "sehr wichtig" bewertet wird. Die anderen Verkehrszeichen für "Schleudergefahr", "Wildwechsel", "Baustelle" und "Kurve" liegen alle in etwa auf dem gleichen Niveau. Lediglich die Darstellung des Symbols für "Wildwechselgefahr" fällt mit viermal "gar nicht wichtig" etwas ab.

Diese Ergebnisse decken sich sehr gut mit denen, die im Rahmen einer Studie mit 24 Probanden im Usability Labor gefunden wurden. Dort sitzen die Testpersonen in einem fahrzeugähnlichen Mock-Up vor einer Leinwand, auf welcher der Film einer realen Fahrt mit einem Fahrzeug, die aus der Fahrerperspektive gefilmt ist, abläuft. Parallel zu diesem Film werden den Probanden die in der realen Welt gerade gültigen Verkehrszeichen als Symbole in einem HUD angezeigt. Der Versuchsaufbau im Usability Labor ist in Abbildung 6.2-3 dargestellt. Dieses Demovideo und die zugehörige Animation der Verkehrszeichen dauern in etwa sechs Minuten. Danach bewerten die Versuchspersonen die Bedeutung der in Abbildung 6.3-15 aufgeführten

Verkehrszeichen auf einer Skala von „1“ für „sehr wichtig“ bis „4“ für „gar nicht wichtig“.

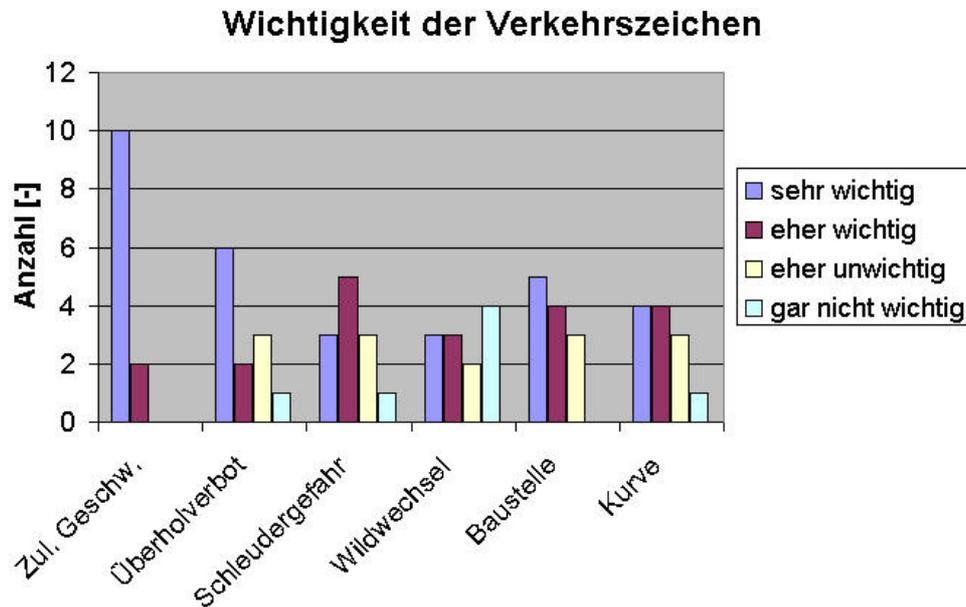


Abbildung 6.3-14: Von den Probanden empfundene Wichtigkeit der im Versuch angezeigten Verkehrszeichen

Wie man anhand der Ergebnisdarstellung in Abbildung 6.3-15 sehen kann, wird wiederum die Anzeige der zulässigen Geschwindigkeit, gefolgt vom Überholverbot, als am Wichtigsten empfunden. Die Bedeutsamkeit der Anzeige von "Schleudergefahr", "Wildwechsel", "Baustelle" und "Kurve" liegt erneut nahezu auf dem gleichen Niveau. Für ebenfalls sehr wichtig wird jedoch die Darstellung der Schilder "Stop" und "Vorfahrt gewähren" eingestuft.

Zusammenfassend kann man zur empfundenen Wichtigkeit der Verkehrszeichen sagen, dass erstens diejenigen für bedeutsam eingestuft werden, bei deren Nichtbeachtung Geldstrafen oder Unfälle drohen. Zweitens werden Verkehrszeichen als besonders wichtig bewertet, wenn sie einen länger anhaltenden Zustand anzeigen, den sich der Fahrer, wenn er die Anzeige nicht hätte, für dessen Dauer merken müsste. Dies bestätigt sehr gut die Analyse in Kapitel 2 die zeigt, dass das Erinnern und Präsenthalten von über Verkehrszeichen aufgenommener Information, eine anstrengende Aufgabe für das menschliche Kurzzeitgedächtnis darstellt. Dagegen werden Richtzeichen als eher unwichtig bewertet, da der Fahrer diese als "Herr der Lage" als verzichtbarer einschätzt.

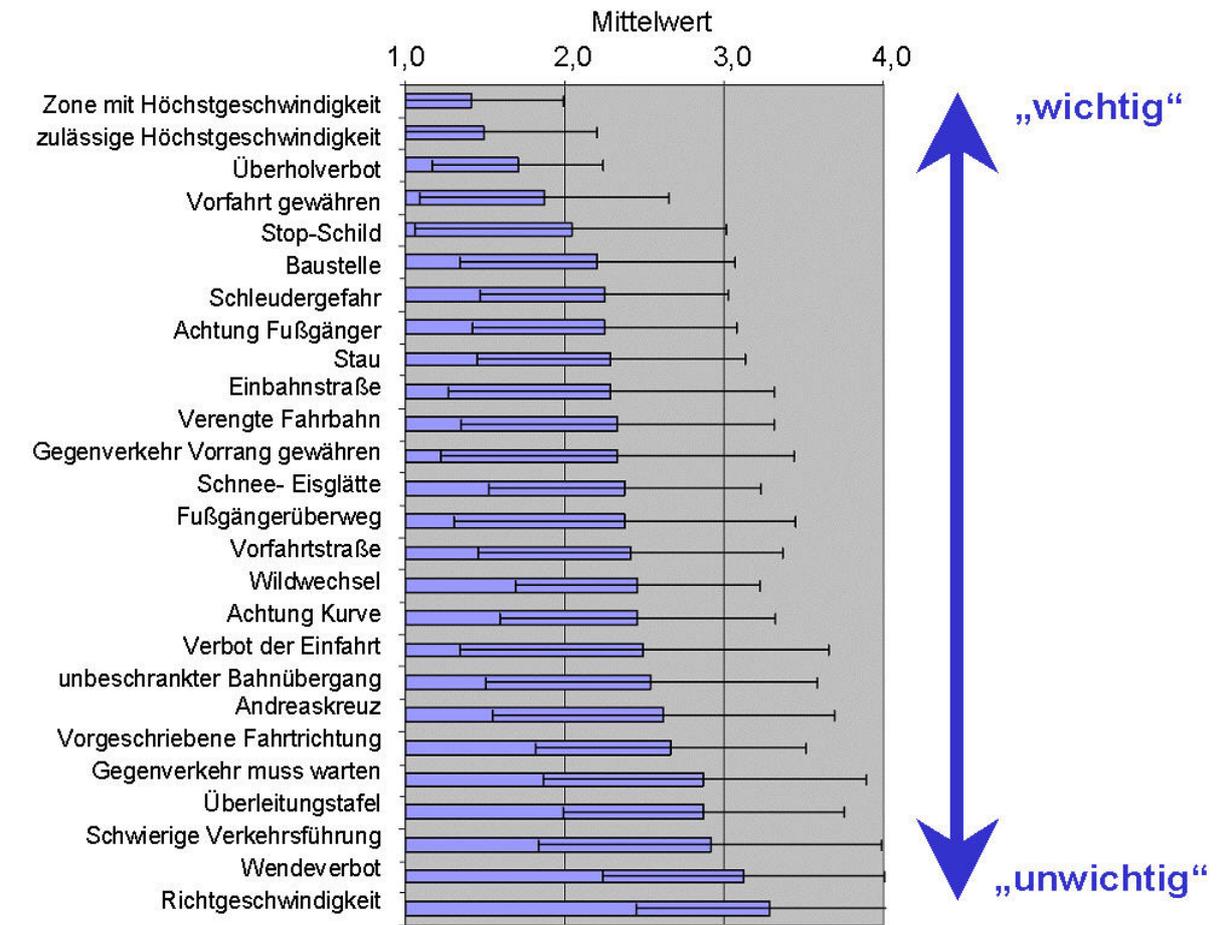


Abbildung 6.3-15: Von den Probanden empfundene Wichtigkeit der Anzeige in Abhängigkeit vom Schild

6.3.3 Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung

Nachstehend wird auf die zu Beginn des Kapitels aufgestellten Hypothesen eingegangen. Diese werden entweder angenommen oder abgelehnt. Daraufhin folgt noch einmal eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse der Studie.

Zunächst werden die beiden Hypothesen zum Einfluss der Anzeige auf die Fahrperformance behandelt. Die Alternativhypothese Fahr_1/H₁, die behauptet, dass die Fahrt mit der Anzeige Einfluss auf die Wahl der Geschwindigkeit hat, kann angenommen werden. Vor allem in den Bereichen, in denen drei Verkehrszeichen gleichzeitig gültig sind, wird die Geschwindigkeit bei der Fahrt mit der Anzeige signifikant herabgesetzt. Diese Geschwindigkeitsanpassung erfolgt nicht, wenn die Probanden ohne den Verkehrszeichenassistenten fahren. Dagegen wird bei dem Hypothesenpaar Fahr_2 die Nullhypothese beibehalten, die keinen negativen Einfluss der Anzeige auf die Querführung postuliert. Sowohl die mittlere Spurposition und die Standardabweichung der Spurposition als auch das 15. Perzentil der TLC1 ändern sich durch die Anzeige nicht.

Hinsichtlich des Blickverhaltens wird die Alternativhypothese Blick_1/H₁ akzeptiert. Es zeigt sich bei der Fahrt mit dem Verkehrszeichenassistenten eine deutliche Verschiebung der prozentualen Blickdauern in Richtung der HUD Anzeige auf Kosten der Blickdauern, die auf das Verkehrsgeschehen gerichtet werden.

Bezüglich des Hypothesenpaars Blick_2 kann die Alternativhypothese Blick_2/H₁ die besagt, wenn die Zahl der gleichzeitig im HUD dargestellten Symbole steigt, dann verändern sich die durchschnittliche und die maximale Blickdauer auf die Anzeige, nur mit Abstrichen angenommen werden. Zwar erhöht sich die durchschnittliche Blickdauer auf das HUD signifikant, wenn anstatt einem Symbol zwei im HUD angezeigt werden. Ein zusätzliches drittes Verkehrszeichensymbol hat jedoch keine weitere Steigerung der durchschnittlichen Blickdauer mehr zur Folge. Die Anzahl an simultan dargestellten Symbolen im HUD hat ferner keinerlei Auswirkung auf die maximale Blickdauer auf das HUD.

Zusammenfassend lässt sich ein positiver Einfluss der Anzeige auf die Geschwindigkeitswahl und keiner auf die Querführung feststellen. Anhand der Ergebnisse aus den Blickdaten zeigt sich, dass die Probanden die Anzeige akzeptieren und auch nutzen. Ferner kann der Fahrer mit Hilfe der Anzeige die Information über die vorherrschenden Verkehrsregeln dann ablesen, wenn es die Verkehrssituation zulässt und sich zyklisch die momentan geltenden Vorschriften bewusst machen. Beachtet man noch die von *Möri & Abdel-Halim (1981)* gefundenen Ergebnisse, nach denen nur ca. 50% aller Verkehrszeichen vollständig oder lediglich teilweise und die anderen 50% überhaupt nicht wahrgenommen werden, erschließt sich weiteres Potential für den Verkehrszeichenassistenten. Neben den oben bereits genannten Vorteilen, kann ein derartiges Assistenzsystem selbst bei einer Erkennungsrate von 75-85% dazu beitragen, die Zahl an übersehenen und somit nicht beachteten Verkehrsvorschriften deutlich zu reduzieren.

6.4 Einfluss einer kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße

Im folgenden Kapitel wird der Einfluss einer Fahrerunterstützung in Form einer Voranzeige der Bewegungsrichtung untersucht. Bei dieser Anzeigetechnologie wird dem Fahrer in seinem zentralen Sichtfeld eine kontaktanaloge Vorschau über die zukünftige Bewegungstrajektorie des Fahrzeuges gegeben. Der Grundgedanke dieses Systems ist, dass der Fahrer seine Position innerhalb der Spur sowie die Dynamik des Fahrzeuges durch die Anzeige besser abschätzen kann. Die genaue Funktionsweise dieses Systems ist im Kapitel 3.3.4 näher beschrieben. Im Rahmen des Experiments ist die Fragestellung zu klären, wie sich diese Anzeige auf die Kriterien Fahrperformance, Blickverhalten, Fahrerbeanspruchung und Gefallen/Akzeptanz auswirkt.

6.4.1 Methodik

Die Methodik umfasst das Probandenkollektiv, den Versuchsaufbau, das Versuchsdesign, also die unabhängige und die abhängigen Variablen, die Versuchsdurchführung sowie die aufgestellten Hypothesen.

6.4.1.1 Probandenkollektiv

Das Versuchspersonenkollektiv umfasst insgesamt 27 Probanden, von denen 14 männlich und 13 weiblich sind. Das Alter der Versuchspersonen liegt mit einer Standardabweichung von 14,8 Jahren im Mittel bei 41,3 Jahren. Der jüngste Proband ist 20 Jahre und der älteste 67 Jahre. Die beruflichen Tätigkeitsfelder variieren bei den Teilnehmern ebenso wie die Technikaffinität.

6.4.1.2 Versuchsaufbau

Die Untersuchung findet an dem in Kapitel 3.1 näher erläuterten Fahrsimulator am Lehrstuhl für Ergonomie statt. Abbildung 6.4-1 zeigt die verwendete Versuchsstrecke samt der in der Datenbasis verbauten Verkehrsschilder und der beiden Ortsdurchfahrten. Ferner sind in dieser Abbildung diejenigen Bereiche grau markiert, für die die prozentuale Blickverteilung auf die Areas of Interest - Straße, Umwelt, Verkehrsschilder, Head-Up-Display und kontaktanalogen Head-Up-Display - bestimmt wird. Die Beschränkung erfolgt, da die Auswertung der Blickverteilung für die vorliegende Probandenzahl einen enorm hohen Aufwand darstellt. Die markierten Streckenabschnitte werden deswegen ausgesucht, da sie für die Gesamtstrecke repräsentative Ausschnitte darstellen.

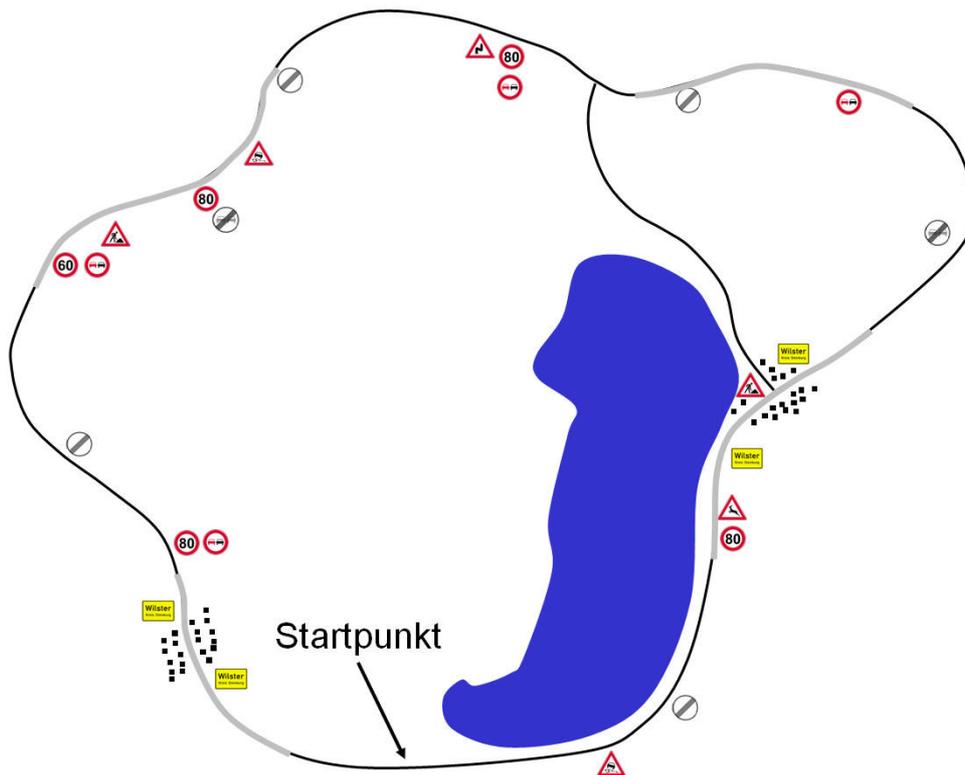


Abbildung 6.4-1: Versuchsstrecke mit weiß markierten Bereichen, für die die prozentuale Blickverteilung auf die Areas of Interest - Straße, Umwelt, Verkehrsschilder, Head-Up-Display und kontaktanaloges Head-Up-Display - bestimmt wird

6.4.1.3 Versuchsdesign

Das Versuchsdesign unterteilt sich in die unabhängige und die abhängigen Variablen.

6.4.1.3.1 Unabhängige Variable

Für die Untersuchung wird ein Versuchsdesign mit abhängigen Stichproben gewählt, was bedeutet, dass jeder Proband alle Versuchsbedingungen durchläuft. Die unabhängige Variable des Experiments ist die Art der Fahrerunterstützung. Dabei wird unterschieden in die normale Fahrt ohne Assistenz und in die Fahrt mit einer der beiden kontaktanalogen Anzeigevarianten. Die beiden Anzeigevarianten sind in Abbildung 6.4-2 zum besseren Vergleich nebeneinander abgebildet.

Links ist die sogenannte Balkenanzeige dargestellt, bei der die Voranzeige der Nachführgröße über einen kontaktanalogen Balken erfolgt. Rechts davon ist die Schlauchanzeige zu sehen. Bei dieser werden zusätzlich zu dem Balken die beiden seitlichen den Fahrschlauch begrenzenden Linien angezeigt. Somit ergeben sich drei unterschiedliche Varianten, deren Einfluss auf das Fahr- und Blickverhalten sowie die empfundene Beanspruchung und die Akzeptanz zu untersuchen ist.



Abbildung 6.4-2: Links die sogenannte „Balkenanzeige“ und rechts die als „Schlauchanzeige“ bezeichnete Darstellung

6.4.1.3.2 Abhängige Variablen

Mittels der abhängigen Variablen wird der Effekt der verschiedenen Versuchsvarianten ermittelt. Zur Bestimmung der Fahrperformance werden Kennwerte gebildet, die den Einfluss der Fahrerunterstützung sowohl auf die Querführung als auch auf die Geschwindigkeitshaltung kennzeichnen. Im Rahmen dieses Experiments wird bewusst nicht der Einfluss der Anzeige auf die Abstandshaltung untersucht, da dieser Effekt in einer weiteren Studie, die an einer späteren Stelle der Arbeit vorgestellt wird, näher betrachtet wird. Dazu wird während der Versuche die Fremdverkehrssimulation deaktiviert. Bei den Blickkennwerten werden gezielt Größen herangezogen, die einen Rückschluss auf mögliche Blickbindungseffekte der kontaktanalogen Anzeige zulassen. Mittels der subjektiven Messgrößen wird der Einfluss der Assistenz auf die empfundene Fahrperformance, den Gefallens- und Akzeptanzaspekt und die Beanspruchung erfasst. Eine nähere Beschreibung der verwendeten Kennwerte erfolgt in Kapitel 5.

6.4.1.4 Versuchsablauf

Eine detaillierte Beschreibung des Versuchsablaufes, der für alle Simulatoruntersuchungen identisch ist, erfolgt in Kapitel 6.3.1.4.

6.4.1.5 Hypothesen

Die Hypothesen zum Einfluss einer kontaktanalogen Voranzeige der Bewegungstrajektorie auf die Fahrperformance, das Blickverhalten, die Beanspruchung und die Akzeptanz sind nachfolgend aufgeführt.

Fahrperformance:

Das Ziel der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße ist es, dass der Fahrer durch sie seine Spurposition und die Bewegungsdynamik des Fahrzeuges besser einschätzen kann. Dies sollte zwar zu einer besseren Querführung führen. Es besteht jedoch die Gefahr, dass der Fahrer im Mittel schneller fährt, wenn er das Gefühl hat, das Fahrzeug besser unter Kontrolle zu haben. Auf diesen beiden Annahmen beruhen die folgenden Hypothesen zur Fahrperformance.

Fahr₁/H₀: Wenn mit der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße gefahren wird, dann hat dies keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltung.

Fahr₁/H₁: Das Fahren mit der Voranzeige der Bewegungstrajektorie hat einen Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltung.

Fahr_2/H₀: Die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße hat keinen Effekt auf die Querführungsgüte.

Fahr_2/H₁: Durch das Fahren mit der Voranzeige der Bewegungstrajektorie ändert sich die Spurhaltung.

Blickverhalten:

Bei beiden Varianten der kontaktanalogen Anzeige wird ein sich dynamisch bewegendes Objekt im zentralen Blickfeld dargestellt. Dadurch entsteht die Gefahr der Blick- und Aufmerksamkeitsbindung, woraus sich die nachstehenden Hypothesen zum Blickverhalten ergeben.

Blick_1/H₀: Die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße beeinflusst die visuelle Suchaktivität nicht.

Blick_1/H₁: Wenn die Versuchspersonen mit der kontaktanalogen Anzeige fahren, dann verändert sich die visuelle Suchaktivität.

Blick_2/H₀: Die kontaktanaloge Voranzeige hat keine Auswirkung auf die prozentuale Verteilung der Blicke auf die AOIs - Straße, Umwelt, Verkehrsschilder und normales Head-Up Display.

Blick_2/H₁: Wenn mit der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße gefahren wird, dann verändert sich die prozentuale Verteilung der Blicke.

Beanspruchung:

Das Abschätzen der Querablage und der Bewegungsdynamik ist für den Fahrer eine komplexe Aufgabe, die ihm durch die kontaktanaloge Voranzeige der Bewegungsrichtung erleichtert wird. Allerdings wird dafür ständig ein sich bewegendes Objekt im zentralen Sehfeld dargestellt, das den Blick und die Aufmerksamkeit auf sich zieht. Dies sind die Gründe, die sowohl zu einer Erhöhung als auch zu einer Verringerung der empfundenen Beanspruchung führen können oder sich möglicherweise sogar gegenseitig kompensieren, wodurch sich folgendes Hypothesenpaar ergibt.

Bean_1/H₀: Die Voranzeige der Bewegungstrajektorie hat keinen Einfluss auf die empfundene Beanspruchung.

Bean_1/H₁: Wenn mit der kontaktanalogen Anzeige gefahren wird, dann verändert sich die empfundene Beanspruchung.

Gefallen/Akzeptanz:

Bei der Schlauchdarstellung werden im Gegensatz zur Balkendarstellung noch die beiden den Fahrschlauch seitlich begrenzenden Linien dargestellt. Das sind zwei Elemente mehr, die sich im zentralen Blickfeld bewegen und den Blick und die Aufmerksamkeit anziehen und dadurch möglicherweise den Fahrer stören. Daraus resultiert das nachstehende Hypothesenpaar zur Akzeptanz der beiden Anzeigen.

Gefal_1/H₀: Wenn mit der Balkendarstellung gefahren wird, dann hat dies im Vergleich zum Fahren mit der Schlauchdarstellung keinen Effekt auf die Akzeptanz.

Gefal_1/H₁: Das Fahren mit der Balkendarstellung hat im Vergleich zur Fahrt mit der Schlauchdarstellung eine Änderung der Akzeptanz zur Folge.

6.4.2 Ergebnisdarstellung

6.4.2.1 Fahrperformance

Bei den Kennwerten zur Fahrperformance wird der Einfluss der Fahrschlauchdarstellung auf die Geschwindigkeitshaltung und auf die Querführung vorgestellt.

6.4.2.1.1 Geschwindigkeitshaltung

Zur Bestimmung des Einflusses einer kontaktanalogen Voranzeige der Bewegungstrajektorie auf die Geschwindigkeitshaltung werden die Kennwerte dargestellt, für die sich signifikante Unterschiede nachweisen lassen. Das sind die mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit und der Prozentanteil an Überschreitungen der erlaubten Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h. Abschließend werden kurz die Werte genannt, auf die die Anzeige keinen Einfluss hat.

Als erstes wird auf den Kennwert mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit eingegangen, dessen Ergebnisse in Abbildung 6.4-3 dargestellt sind.

Betrachtet man diese Kenngröße für die komplette Versuchsfahrt, so ergibt sich keinerlei Einfluss auf die mittlere Abweichung von der erlaubten Geschwindigkeit (siehe Abbildung 6.4-3). Geht man jedoch gezielt auf die einzelnen Geschwindigkeitsbereiche ein, findet man für die Abschnitte, in denen eine Geschwindigkeit von 100 km/h erlaubt ist, eine signifikante Erhöhung der mittleren Differenz zwischen erlaubter und gefahrener Geschwindigkeit, wenn die Probanden mit der Schlauchanzeige fahren. Bei der Fahrt mit der Balkenanzeige fahren die Probanden dagegen im Mittel genau so schnell wie ohne Assistenz.

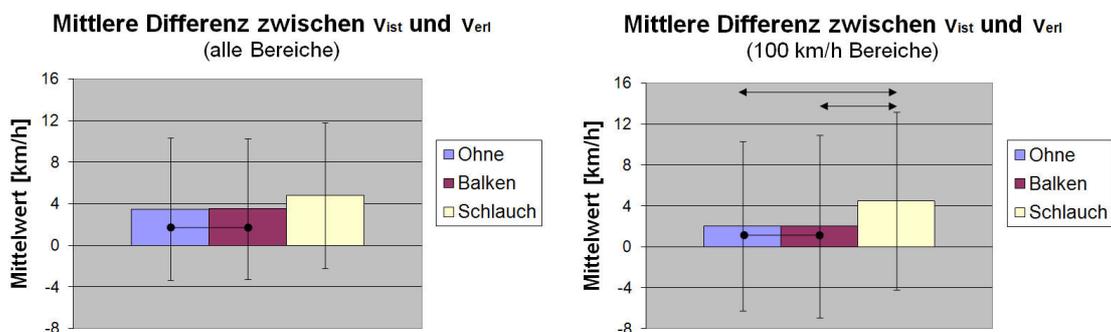


Abbildung 6.4-3: Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit für alle Geschwindigkeitsbereiche und für die 100 km/h Bereiche

Dieser Effekt lässt sich jedoch lediglich für die Bereiche mit einer erlaubten Geschwindigkeit von 100 km/h nachweisen. Für die anderen Geschwindigkeitsbereiche 50 km/h, 60 km/h und 80 km/h hat die Anzeige keinen Einfluss auf die Abweichung von der erlaubten Geschwindigkeit.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Kenngröße prozentualer Anteil, bei dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird. Betrachtet man diese Größe für die komplette Fahrt, lässt sich, wie man Abbildung 6.4-4 links entnehmen kann, kein Einfluss finden. Geht man jedoch wieder gezielt auf die einzelnen Geschwindigkeitsbereiche ein, ergibt sich, wie schon bei dem vorigen

Kennwert, ein Effekt in den Geschwindigkeitsbereichen mit 100 km/h erlaubter Geschwindigkeit (siehe Abbildung 6.4-4 rechts). Im Gegensatz zur Fahrt ohne Assistenz oder mit der Balkenanzeige fahren dort die Probanden mit der Schlauchanzeige prozentual häufiger um mehr als 10 km/h zu schnell.

In den anderen Geschwindigkeitsbereichen zeigen sich, wie auch bei der Kenngröße mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, keine Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen.

Auf die anderen bestimmten Kennwerte, wie die Standardabweichung der Geschwindigkeit und die Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit, hat die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße keine Auswirkung.

Somit lässt sich festhalten, dass hinsichtlich der Geschwindigkeitshaltung lediglich ein leichter Effekt der Schlauchdarstellung zu finden ist. Dieser führt dazu, dass die Probanden mit der Anzeige in den Streckenabschnitten, in denen eine Geschwindigkeit von 100 km/h erlaubt ist, im Mittel etwas schneller fahren als ohne Assistenz oder mit der Balkenanzeige. Dies liegt möglicherweise daran, dass man mit Hilfe der Schlauchanzeige die Dynamik des Fahrzeuges bei höheren Geschwindigkeiten besser abschätzen kann. Dagegen gibt es bezüglich der Geschwindigkeitshaltung keine Unterschiede zwischen der Fahrt ohne Assistenz und dem Fahren mit Balkenanzeige.

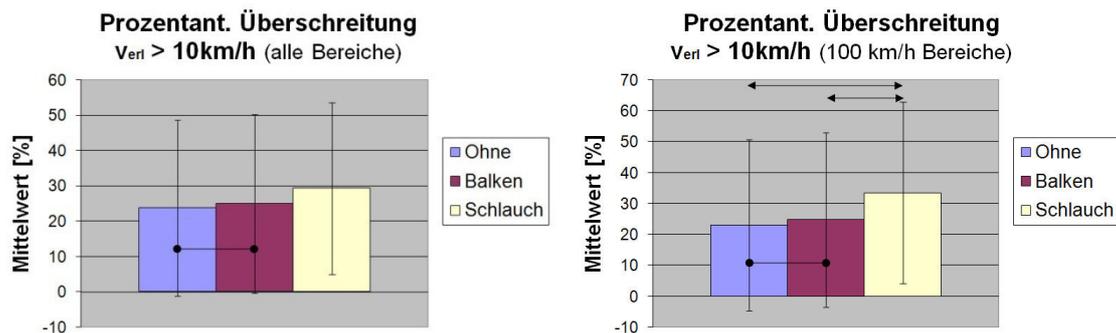


Abbildung 6.4-4: Prozentualer Zeitanteil, bei dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, für alle Geschwindigkeitsbereiche und für die 100 km/h Bereiche

6.4.2.1.2 Querführung

In diesem Abschnitt wird auf den Einfluss der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße auf die Querführung eingegangen. Hierzu werden die Kennwerte mittlere Spurposition, 15. Perzentil der TLC2, Median der TLC2 und Standardabweichung des Lenkwinkels herangezogen.

Betrachtet man die Ergebnisse zur mittleren Spurposition in Abhängigkeit von der Unterstützungsart, welche in Abbildung 6.4-5 dargestellt sind, erkennt man den erheblichen Einfluss der kontaktanalogen Anzeigen. Ohne Assistenz fahren die Probanden in der kompletten Runde im Mittel 0,52m links neben der Spurmitte. Mit der Balkenanzeige fahren sie dagegen nur noch 0,27m und mit der Schlauchanzeige lediglich 0,15m links von der Mitte. Alle paarweisen Vergleiche sind signifikant. Die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße führt offensichtlich dazu, dass die Probanden ihre Position auf der Spur besser einschätzen können und somit in der Lage sind mittiger zu fahren. Beim Fahren mit der Schlauchanzeige führt dies im

Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt dazu, dass im Mittel um 37cm näher an der Spurmitte gefahren wird.

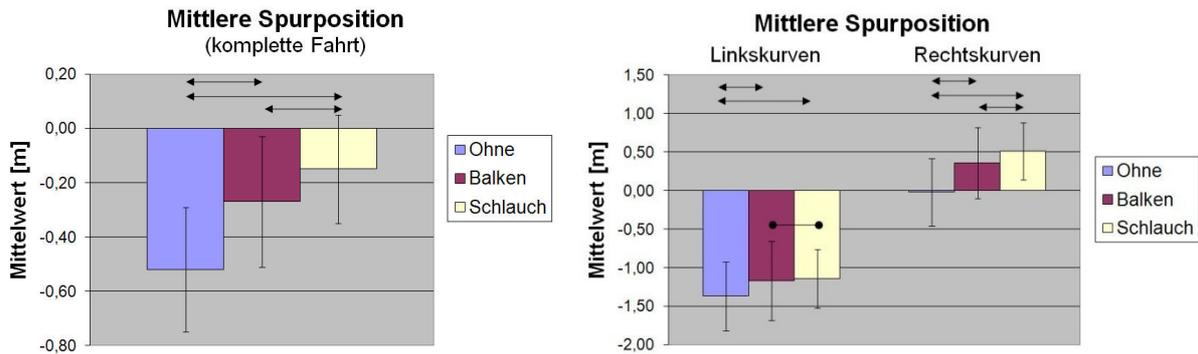


Abbildung 6.4-5: Mittlere Spurposition für die komplette Runde sowie für Links- und Rechtskurven

Ein interessantes Resultat liefert auch die gezielte Analyse der Kurvenfahrten (siehe Abbildung 6.4-5 rechts). In Linkskurven fahren die Versuchsteilnehmer mit durchschnittlich 1,37m sehr weit links von der Mittellinie. Mit den beiden kontaktanalogen Anzeigen kann die Spurposition jeweils um ca. 0,2m signifikant in Richtung Spurmitte beeinflusst werden. Anders als die Linkskurven werden die Rechtskurven ohne Assistenz sehr mittig durchfahren, wobei die kontaktanalogue Darstellung auch hier die Spurposition jeweils signifikant beeinflusst. Mit der Balkenanzeige wird im Durchschnitt 0,36m rechts neben der Spurmitte und mit der Schlauchanzeige im Mittel sogar 0,51m seitlich davon gefahren. Der paarweise Vergleich der beiden kontaktanalogen Anzeigen ist ebenfalls mit einem α -Fehler von 0,017 signifikant.

Einen positiven Effekt der kontaktanalogen Vorausschau auf die Spurhaltegröße zeigt die Bestimmung des 15. Perzentils der TLC2. Wie man der Abbildung 6.4-6 entnehmen kann, erhöhen sowohl die Balken- als auch die Schlauchanzeige diese Kenngröße für die komplette Versuchsfahrt signifikant. Zwischen den beiden kontaktanalogen Anzeigen besteht kein Unterschied.

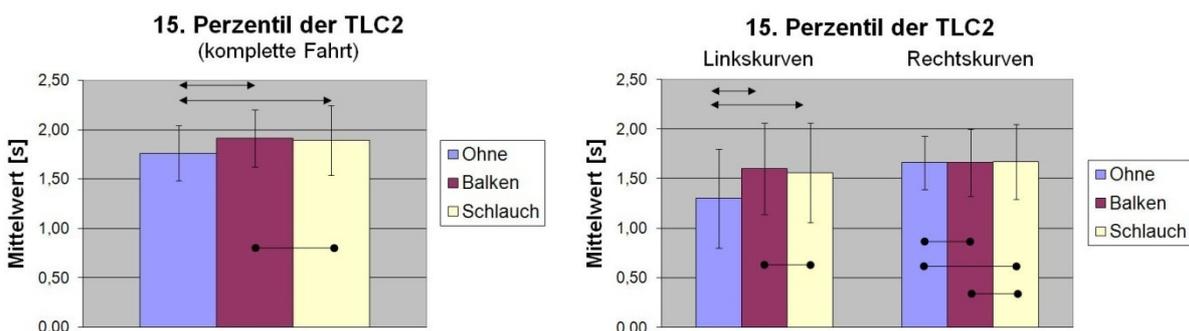


Abbildung 6.4-6: 15. Perzentil der TLC2 für die komplette Runde sowie für Links- und Rechtskurven

Analysiert man wiederum genauer das Verhalten der Probanden in den Kurven, ergibt sich vor allem in Linkskurven ein deutlicher Sicherheitsgewinn durch die beiden Arten der Voranzeige der Nachführgröße. Das 15. Perzentil der TLC kann jeweils signifikant erhöht werden. Dies liegt wohl daran, dass in Linkskurven mit der kontaktanalogen Anzeige mittiger in der Spur gefahren wird. Obwohl die

Versuchspersonen in Rechtskurven (siehe Abbildung 6.4-5) mit der kontaktanalogen Anzeige weiter rechts von der Spurmitte fahren, hat dies keinen negativen Einfluss auf die Querführung. Das 15. Perzentil der TLC2 in Rechtskurven liegt bei allen drei Versuchsbedingungen auf dem gleichen Niveau.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Median der TLC2 (siehe Abbildung 6.4-7). Dieser kann für die komplette Runde, wie auch schon das 15. Perzentil der TLC2, durch die beiden kontaktanalogen Anzeigen jeweils signifikant gehoben werden. Der gleiche Effekt stellt sich auch in Linkskurven ein. Die beiden Assistenzvarianten haben jedoch, wie bereits beim 15. Perzentil der TLC2, keinerlei Einfluss auf den Median der TLC2 in Rechtskurven.

Eine positive Auswirkung der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße zeigt sich auch auf die Standardabweichung des Lenkwinkels (siehe Abbildung 6.4-8). Diese nimmt in Geraden und Linkskurven, im Vergleich zur Fahrt ohne Anzeige, mit der Balkenanzeige für Geraden und für Linkskurven signifikant ab. Der Vergleich keine Assistenz mit der Schlauchanzeige ist mit einem α -Fehler von 0,056 für Geraden und 0,072 für Linkskurven nicht signifikant. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Fahrer mit der unterstützenden Anzeige offensichtlich in der Lage sind, die Bewegungsdynamik des Fahrzeuges besser abzuschätzen und somit weniger korrigierend am Lenkrad eingreifen müssen.

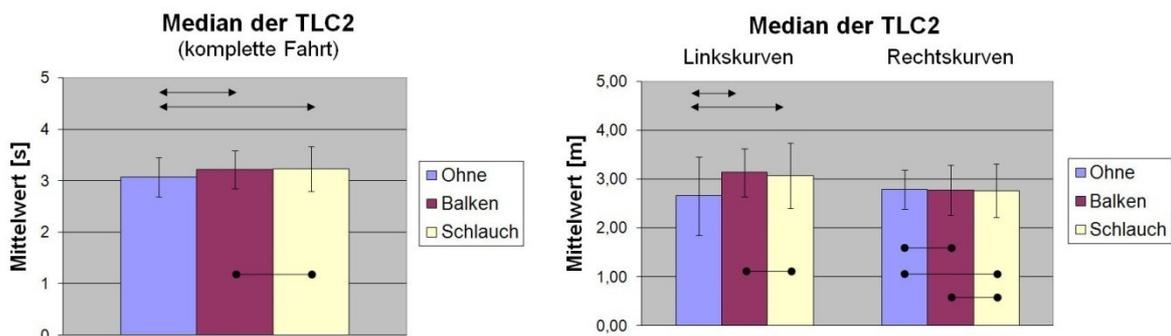


Abbildung 6.4-7: Median der TLC2 für die komplette Runde sowie für Links- und Rechtskurven

In Rechtskurven lässt sich diese positive Auswirkung der kontaktanalogen Anzeige jedoch nicht nachweisen.

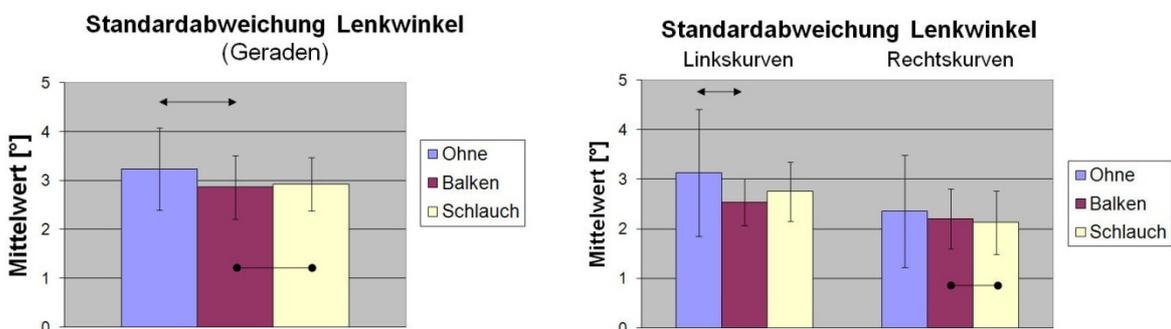


Abbildung 6.4-8: Standardabweichung des Lenkwinkels für Geraden sowie für Links- und Rechtskurven

Zusammenfassend lässt sich somit ein äußerst positiver Einfluss der kontaktanalogen Anzeigen auf die Querführung feststellen. Die Probanden fahren

über die komplette Runde durch die beiden Anzeigesysteme mittiger in der Spur und sowohl das 15. Perzentil der TLC2 als auch der Median der TLC2 können signifikant erhöht werden. Der gleiche positive Effekt stellt sich auch für Linkskurven ein. Lediglich in Rechtskurven können die beiden Time to Line Crossing basierten Kennwerte nicht signifikant verbessert werden. Das liegt daran, dass die Rechtskurven mit der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße enger, also weiter rechts von der Spurmitte, gefahren werden als ohne. Ferner müssen die Probanden mit der Balkenanzeige in Geraden und Linkskurven weniger korrigierend am Lenkrad eingreifen, was sich in einer geringeren Standardabweichung des Lenkwinkels äußert.

6.4.2.2 Blickverhalten

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit dem Einfluss der beiden kontaktanalogen Darstellungen auf das Blickverhalten der Versuchsteilnehmer. Dabei wird mit Hilfe der Kenngrößen visuelle Suchaktivität und prozentuale Blickverteilung auf die Areas of Interest Straße, Umwelt, Verkehrsschilder, Head-Up-Display und kontaktanalogen Head-Up-Displaygezielt auf mögliche Blickbindungseffekte eingegangen.

In Abbildung 6.4-9 ist das Ergebnis der visuellen Suchaktivität, die über die komplette Fahrt bestimmt wurde, in Abhängigkeit von der Unterstützungsart dargestellt. Wie man sehen kann, beträgt diese Kenngröße für die Fahrt ohne Assistenz im Mittel 4,44 %/s. Fahren die Probanden mit einer der beiden kontaktanalogen Anzeigen, verringert sich die Suchaktivität jeweils signifikant auf einen Wert von 3,94 %/s mit der Balken- bzw. 3,80 %/s mit der Schlauchanzeige. Zwischen den beiden Darstellungen gibt es keinen Unterschied hinsichtlich dieses Kennwertes.

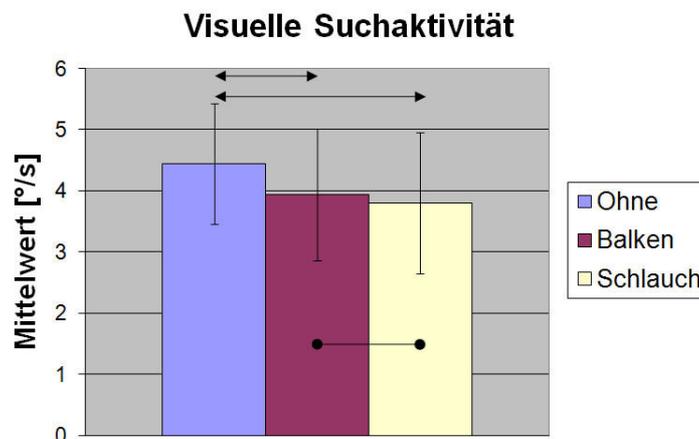


Abbildung 6.4-9: Visuelle Suchaktivität in Abhängigkeit von der Unterstützungsart

Ein interessantes Ergebnis liefert auch die Auswertung der prozentualen Blickverteilung auf die AOIs - Straße, Umwelt, Verkehrsschilder, Head-Up Display und kontaktanalogen Head-Up Display - welches in Abbildung 6.4-10 und Tabelle 6.4-1 dargestellt ist.

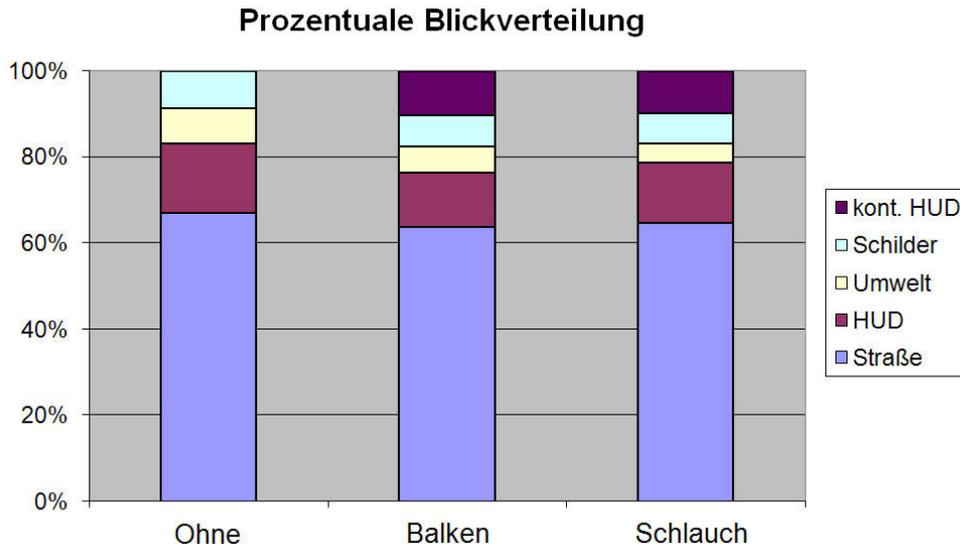


Abbildung 6.4-10: Prozentuale Blickverteilung auf die AOIs - Straße, Umwelt, Verkehrsschilder, Head-Up-Display und kontaktanaloges Head-Up-Display - in Abhängigkeit von der Unterstützungsart

Die Probanden blicken im ausgewerteten Bereich, bei der Fahrt ohne Assistenz, im Mittel in 60,21% der Zeit auf die Straße, in 14,38% auf das HUD, in 7,40% in die Umwelt und in 7,72% auf die Verkehrszeichen. Bei der Fahrt mit einer der beiden kontaktanalogen Darstellungen erfolgt eine gleichmäßige Verlagerung der prozentualen Blickdauern von diesen AOIs in Richtung der kontaktanalogen Anzeige. Diese wird bei der Balkenanzeige in 9,26% der Zeit und bei der Schlauchanzeige in 8,85% angeblickt. Bezüglich der prozentualen Blickdauer auf die kontaktanaloge Darstellung gibt es zwischen der Balken- und der Schlauchanzeige mit einem α -Fehler von 0,822 für den paarweisen Vergleich jedoch keinen Unterschied.

Tabelle 6.4-1: Prozentuale Blickverteilung auf die AOIs in tabellarischer Form

Prozentuale Blickverteilung			
	Ohne	Balken	Schlauch
Kont. HUD	0%	9,26%	8,85%
Schilder	7,72%	6,54%	6,19%
Umwelt	7,40%	5,34%	4,07%
HUD	14,38%	11,42%	12,53%
Straße	60,21%	57,16%	57,78%

Da sich die Blickdauern auf die AOIs Straße, HUD, Umwelt und Verkehrschilder gleichmäßig in Richtung der kontaktanalogen Anzeige verlagern, ist keine dieser Abnahmen signifikant nachweisbar. Lediglich die Abnahme der Umweltblicke von 7,40% auf 4,07% bei der Fahrt mit der Schlauchanzeige erreicht mit einem α -Fehler von 0,056 fast das nötige Signifikanzniveau. Vor allem die zur sicheren Erfüllung der Fahraufgabe wichtigen Straßenblicke nehmen mit keiner der beiden kontaktanalogen Anzeigen signifikant ab.

Zählt man die Blicke auf die kontaktanaloge Anzeige zu den Straßenblicken, stellt sich sogar der in Abbildung 6.4-11 dargestellte positive Effekt ein. Somit wird durch die Voranzeige der Nachführgröße erreicht, dass die Probanden prozentual mehr auf die Straße und somit auf das Verkehrsgeschehen blicken als ohne die Anzeige.

Dieser Zuwachs ist für die Balkenanzeige mit einem α -Fehler von 0,023 signifikant nachweisbar und verfehlt bei der Schlauchanzeige mit einem α -Fehler von 0,056 nur knapp das Signifikanzniveau.

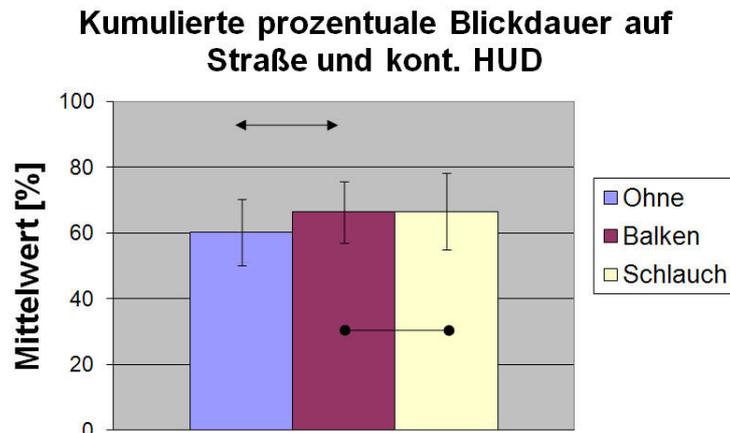


Abbildung 6.4-11: Kumulierte prozentuale Blickdauer auf die AOs Straße und auf das kontaktanaloge HUD.

Das Ergebnis der Blickauswertung zeigt zusammen mit der Verbesserung der Querführung, dass die Voranzeige der Nachführgröße von den Probanden genutzt wird und deren Nutzung einen positiven Effekt hat. Einen Wehmutstropfen stellt jedoch die Verringerung der visuellen Suchaktivität dar, die sich in diesem Experiment aber nicht weiter negativ ausgewirkt hat.

6.4.2.3 Subjektive Kennwerte

Ein wichtiges Maß zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen sind die subjektiven Empfindungen der Probanden, da diese oft das entscheidende Kriterium für den Erfolg eines Systems darstellen.

Zunächst wird auf die mit den Versuchsbedingungen empfundene Fahrperformance eingegangen. Danach wird das Ergebnis der Beanspruchungsmessung mit dem NASA TLX Fragebogen vorgestellt und abschließend der Gefallens- und Akzeptanzaspekt betrachtet.

6.4.2.3.1 Empfundene Fahrperformance

Das Ergebnis der empfundenen Geschwindigkeits- und Spurhaltegüte ist in Abbildung 6.4-12 dargestellt. Dabei wurde auf einer Skala von „1“ für „sehr gut“ bis „6“ für „sehr schlecht“ die Frage beantwortet, wie gut man in der Lage war, die Spur bzw. die erlaubte Geschwindigkeit zu einzuhalten.

Die Testpersonen geben überraschenderweise an, dass sie mit der Balkenanzeige signifikant besser in der Lage sind, sich an die erlaubten Geschwindigkeiten zu halten als ohne Assistenz oder mit der Schlauchanzeige. Dieses nicht mit den objektiven Messwerten übereinstimmende Ergebnis liegt möglicherweise daran, dass den Probanden allgemein die Balkenanzeige besser gefällt als die Schlauchdarstellung und der Vorteil der Bewegungsrichtungsvoranzeige in der Querführung das Urteil bzgl. der Geschwindigkeitshaltung positiv beeinflusst.



Abbildung 6.4-12: Subjektiv empfundene Geschwindigkeits- und Spurhaltegüte

Die empfundene Spurhaltegüte bewerten die Probanden in Übereinstimmung mit den objektiven Messwerten mit der Balkendarstellung, bei einem α -Fehler von 0,030, signifikant besser als ohne Assistenz. Im Vergleich dazu haben die Testpersonen für die Fahrt mit der Schlauchanzeige nicht das Gefühl, dass sich ihre Spurhaltung verbessert hat.

Interessante Resultate liefern auch die Fragen nach der empfundenen Gesamtfahrleistung sowie danach, wie gut die Probanden in der Lage waren sich auf das Fahren zu konzentrieren (siehe Abbildung 6.4-13). Demnach haben sie beim Fahren mit der Balkenanzeige das Gefühl, dass sie die Fahraufgabe insgesamt signifikant (α -Fehler = 0,001) besser erfüllen können als bei der Fahrt ohne Assistenz. Dagegen hat ihrer Meinung nach die Schlauchdarstellung keinerlei Einfluss auf ihre Fähigkeit zur Erfüllung der Fahraufgabe.

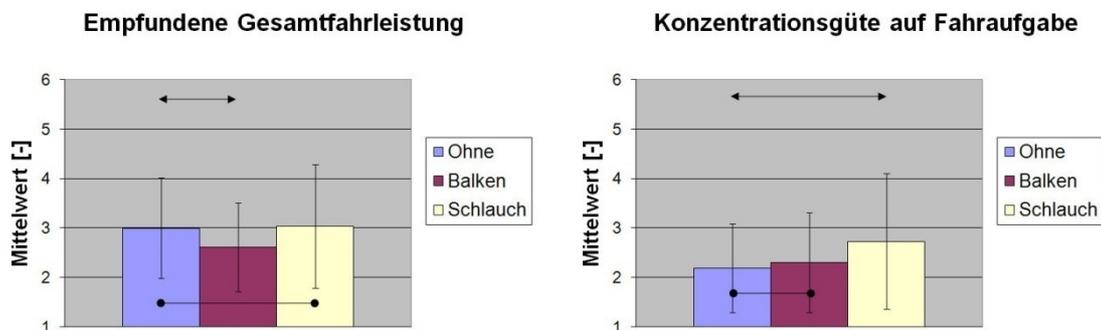


Abbildung 6.4-13: Subjektiv empfundene Gesamtfahrleistung und Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe

Bei der Frage nach der Fähigkeit sich auf das Fahren zu konzentrieren, geben die Probanden an, dass ihnen das bei der Fahrt mit der Schlauchdarstellung signifikant schlechter gelingt als ohne diese Anzeige. Das zeigt, dass die seitlichen, den Fahrschlauch begrenzenden, Linien offensichtlich für die Testpersonen keinen Mehrwert darstellen, sondern ganz im Gegenteil als störend und ablenkend empfunden werden.

6.4.2.4 Empfundene Beanspruchung

Der NASA TLX Fragebogen wird verwendet, um die Abhängigkeit der empfundenen Beanspruchung von den drei Versuchsbedingungen zu erfassen. Anhand der Antworten der Versuchspersonen in sechs Kategorien wird der so genannte „Overall Workload Index OWI“ berechnet. Dabei bedeuten hohe OWI-Werte eine hohe und

niedrige OWI-Werte eine geringe Beanspruchung. Das Ergebnis dieser Befragung ist in Abbildung 6.4-14 dargestellt.

Es zeigt sich, dass keine der beiden kontaktanalogen Darstellungen einen Einfluss auf die empfundene Beanspruchung hat. Das bedeutet, dass sowohl die Balken- als auch die Schlauchdarstellung die empfundene Beanspruchung beim Führen des Fahrzeuges weder erhöhen noch verringern kann.

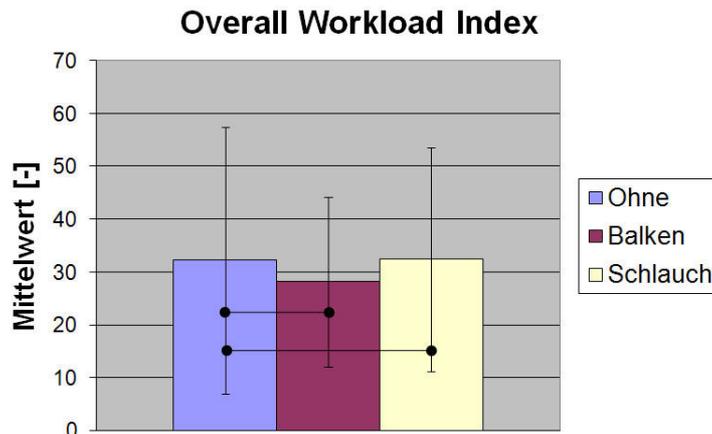


Abbildung 6.4-14: Mit Hilfe des NASA TLX Fragebogens ermittelte empfundene Beanspruchung in Abhängigkeit von der Unterstützungsart

6.4.2.5 Gefallen/Akzeptanz

Der Gefallens- und Akzeptanzaspekt wurde mittels des semantischen Differentials erfasst. Dabei können die Probanden die drei Versuchsbedingungen anhand von sieben gegensätzlichen Adjektivpaaren bewerten. Das Ergebnis dieser Befragung ist in Abbildung 6.4-15 dargestellt

Die Versuchsteilnehmer bewerten die Fahrt ohne Assistenz und das Fahren mit der Balkenanzeige sehr ähnlich. Lediglich in den Punkten „sportlich - unsportlich“ und „einfach – umständlich“ scheint es leichte Abweichungen zu geben, die aber statistisch nicht nachweisbar sind. Anders stellt sich das Resultat für die Fahrt mit der Schlauchanzeige dar. Diese Anzeigeform wird durchgängig schlechter bewertet als die Fahrt ohne Assistenz oder mit der Balkenanzeige. Im Vergleich zur Fahrt ohne Anzeige sind diese Abweichungen für die Punkte „sportlich – unsportlich“ und „motivierend – frustrierend“ mit einem α -Fehler von 0,014 bzw. 0,047 signifikant. In den Punkten „praktisch – unpraktisch“ und „einfach – umständlich“ wird das Signifikanzniveau mit einem α -Fehler von 0,067 bzw. 0,059 nur knapp verfehlt.

Die Gefallens- und Akzeptanzbewertung zeigt somit deutliche Vorteile für die Balkenanzeige gegenüber der Schlauchdarstellung. Im Gegensatz zur dieser erreicht sie ähnlich gute Gefallens- und Akzeptanzwerte wie die nicht-assistierte Fahrt und hat somit gute Chancen von den Fahrern auch genutzt und nicht sofort deaktiviert zu werden.

Semantisches Differential für Gefallen/Akzeptanz

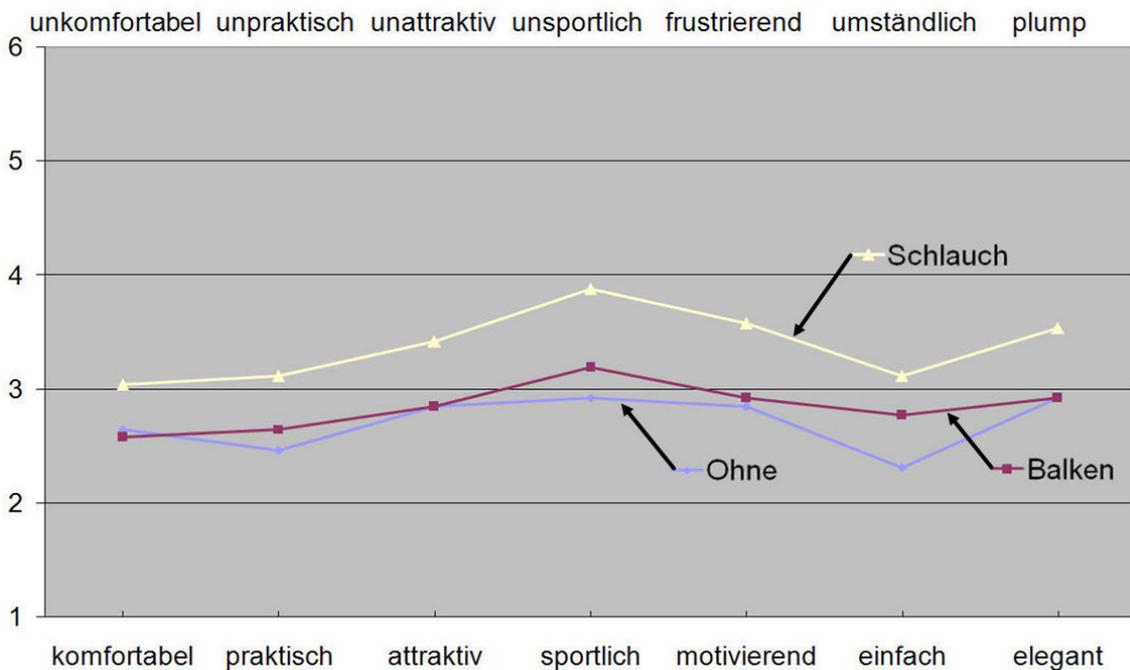


Abbildung 6.4-15: Ergebnis der Gefallensbewertung mittels des semantischen Differentials für die drei Versuchsbedingungen

6.4.3 Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung

Nachstehend wird auf die zu Beginn formulierten Hypothesen eingegangen und die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung werden nochmals zusammengefasst.

Zunächst werden die beiden Hypothesen bezüglich der Fahrperformance behandelt. Die Nullhypothese $Fahr_1/H_0$, welche annimmt, wenn mit der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße gefahren wird, dann hat dies keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltung, kann nur mit leichten Abstrichen beibehalten werden. Zwar zeigt sich, betrachtet über die komplette Fahrt und die Streckenabschnitte mit einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, 60 km/h und 80 km/h, kein Einfluss der kontaktanalogen Anzeigen. In den Streckenabschnitten mit einer erlaubten Geschwindigkeit von 100 km/h tendieren die Probanden allerdings mit der Schlauchanzeige dazu, im Mittel etwas schneller zu fahren als ohne Assistenz. Der Effekt zeigt sich jedoch nicht für die Balkenanzeige. Dieses Resultat stimmt sehr gut mit den von Assmann (1985) im Rahmen eines Realversuches mit 50 Probanden gefundenen Ergebnissen überein. Bei diesem Experiment wurde ebenfalls kein Einfluss einer Bremsweganzeige in Form eines kontaktanalogen Balkens auf die Geschwindigkeitswahl gefunden.

Dagegen wird bei der zweiten Hypothese zur Fahrperformance die Alternativhypothese $Fahr_2/H_1$ die besagt, durch das Fahren mit der Voranzeige der Bewegungstrajektorie ändert sich die Spurhaltung, angenommen. Die Probanden fahren mit beiden Anzeigevarianten mittiger in der Spur und sowohl das 15. Perzentil der TLC2 als auch der Median der TLC2 können signifikant erhöht werden.

Ebenso werden beim Blickverhalten die beiden Alternativhypothesen $Blick_1/H_1$ und $Blick_2/H_1$ angenommen, welche eine Änderung der visuellen Suchaktivität und einen Einfluss auf die prozentuale Verteilung der Blicke vorhersagen. Wie sich zeigt,

führen beide kontaktanalogen Darstellungen zu einer Reduzierung der visuellen Suchaktivität und zu einer Verlagerung der Blicke in Richtung der Anzeige. Wenn man die Blicke auf die kontaktanalogen Anzeigen zu den verkehrsrelevanten Straßenblicken zählt, hat die Verlagerung der Blicke in deren Richtung jedoch einen durchaus positiven Effekt. Das Augenmerk des Fahrers wird dorthin gelenkt, wo er hinsehen soll, nämlich auf die Straße.

Des Weiteren wird bzgl. der empfundenen Beanspruchung die Nullhypothese $Bean_1/H_0$ beibehalten, die keinen Einfluss der Voranzeige der Bewegungstrajektorie auf die empfundene Beanspruchung vorhersagt.

Dagegen wird hinsichtlich der Akzeptanz der beiden Anzeigen die Alternativhypothese $Gefal_1/H_1$ akzeptiert, die behauptet, dass das Fahren mit der Balkendarstellung, im Vergleich zur Fahrt mit der Schlauchdarstellung, eine Änderung der Akzeptanz zur Folge hat. Die subjektive Beurteilung des Gefallens und der Akzeptanz durch das semantische Differential ergibt, dass die Balkenanzeige von den Probanden gegenüber der Schlauchanzeige bevorzugt wird.

Das vorliegende Experiment zeigt deutlich die Auswirkung einer kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße auf die Kriterien Fahrperformance, Blickverhalten, Fahrerbeanspruchung und Gefallen/Akzeptanz. Neben dem geringen Einfluss der Schlauchanzeige auf die Wahl der Geschwindigkeit, haben beide kontaktanalogen Anzeigen einen erheblichen positiven Effekt auf die Querführung. Ebenso beeinflussen sie stark das Blickverhalten der Probanden, indem sie die visuelle Suchaktivität verringern und den Blick in Richtung der kontaktanalogen Anzeigen verlagern. Eine Veränderung der Beanspruchung lässt sich bei beiden Varianten nicht feststellen. Die subjektive Bewertung der Fahrperformance und die Abfrage des Gefallens und der Akzeptanz der beiden Anzeigen ergeben jedoch deutliche Vorteile für die Balkenvariante.

Somit bleibt festzuhalten, dass die kontaktanalogue Voranzeige der Nachführgröße einen durchaus positiven Effekt hat und die Balkenanzeige, aufgrund der subjektiven Probandenbewertungen, insgesamt besser abschneidet als die Schlauchanzeige. Im Rahmen der nachstehenden Experimente wird daher der Einfluss der Balkenanzeige auf die Abstandshaltung und deren Zusammenspiel mit weiteren Assistenzsystemen noch näher untersucht.

6.5 Einfluss von optischer und haptischer Fahrerassistenz

Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich mit dem Einfluss von optisch und haptisch mit dem Fahrer interagierenden Assistenzsystemen zur Unterstützung der Längs- und Querverführung. Im Rahmen des Experimentes soll geklärt werden, wie sich diese Systeme auf die Fahrleistung, das Blickverhalten, den Kraftstoffverbrauch, die empfundene Beanspruchung sowie den Akzeptanz- und Gefallensaspekt auswirken.

Dazu erfahren die Probanden drei Ausprägungen eines Assistenzsystems mit einem einheitlichen Konzept bei der Unterstützung der Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung im Fahrsimulator, wobei der Einfluss der Assistenz auf die oben genannten Größen gemessen wird. Diese ganzheitliche Assistenz ist so konzipiert, dass sie dem Fahrer über den haptischen Sinneskanal anzeigt, was in der momentanen Fahrsituation zu tun ist. Dabei kann er sich innerhalb der erlaubten Schranken frei bewegen, bekommt aber die Grenzen an den entsprechenden Bedienelementen wie Lenkrad und Gaspedal rückgemeldet. Der Fahrer ist jedoch jederzeit in der Lage, die Vorschläge des Fahrzeuges willentlich zu überstimmen. Über den optischen Sinneskanal wird ihm mitgeteilt, warum das Fahrzeug in der aktuellen Situation vorschlägt so zu handeln. Im Rahmen des Versuchs wird den Probanden einmal die Maximalversion des Assistenzsystems mit kombinierter optischer und haptischer Unterstützung präsentiert und dann zwei Varianten, bei denen entweder nur der haptische oder nur der optische Anteil aktiv ist. Wie die einzelnen Komponenten dieses Systems genau funktionieren, wird in Kapitel 3.3.4 erläutert.

Zunächst wird die Methodik vorgestellt, die im vorliegenden Versuch zur Anwendung kommt. Daraufhin werden die im Rahmen des Experiments gefundenen objektiven und subjektiven Ergebnisse aufgezeigt und abschließend zusammengefasst und diskutiert.

6.5.1 Methodik

In diesem Unterkapitel wird die verwendete Versuchsmethodik näher erläutert, die sich weiter in das Probandenkollektiv, den Versuchsaufbau, die unabhängige und die abhängigen Variablen, die Versuchsdurchführung sowie die aufgestellten Hypothesen unterteilt.

6.5.1.1 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv setzt sich aus 13 Frauen und 16 Männern zusammen, also aus insgesamt 29 Versuchsteilnehmern. Das Durchschnittsalter liegt, mit einer Standardabweichung von 11,9 Jahren, bei 43,2 Jahren. Das Altersspektrum erstreckt sich dabei von 18 bis 64 Jahren und umfasst Probanden aus allen Berufs- und Interessensgebieten.

6.5.1.2 Versuchsaufbau

Das Experiment wird an dem in Kapitel 3.1 detailliert beschriebenen statischen Fahrsimulator durchgeführt. Die für den Versuch zur Verfügung stehende Datenbasis ist in Abbildung 6.5-1 zu sehen. Dieser Abbildung sind neben der Versuchsstrecke auch die für die Strecke gültigen Verkehrsvorschriften zu entnehmen.

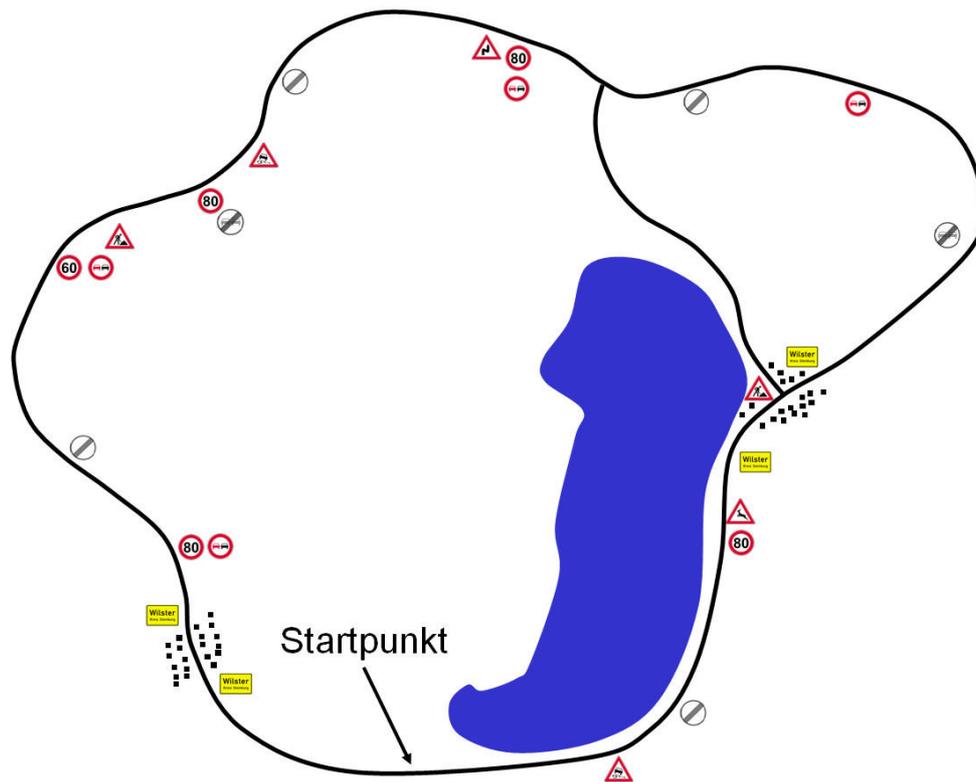


Abbildung 6.5-1: Birdview Darstellung der Versuchsstrecke mit eingzeichnetem Startpunkt und in der Datenbasis verbauten Verkehrsschildern

6.5.1.3 Versuchsdesign

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den unabhängigen sowie mit den abhängigen Variablen des vorliegenden Experimentes.

6.5.1.3.1 Unabhängige Variable

Für die Untersuchung wird ein Versuchsdesign mit abhängigen Stichproben gewählt, was bedeutet, dass jeder Versuchsteilnehmer alle Versuchsbedingungen erfährt. Die unabhängige Variable ist die Art der Fahrerunterstützung. Hierbei gibt es die Fahrt ohne Assistenz sowie drei unterschiedliche Ausprägungen des einheitlichen Systems zur Längs- und Querführungsunterstützung. Nachstehend wird verdeutlicht, wie sich die vier Varianten, die als „ohne Assistenz“, „optische Assistenz“, „haptische Assistenz“ und „optische und haptische Assistenz“ bezeichnet werden, den Probanden darstellen.

Ohne Assistenz

Diese Variante stellt die Referenzbedingung dar und repräsentiert das normale Fahren ohne Unterstützung. Dem Fahrer wird dabei lediglich die momentan gefahrene Ist-Geschwindigkeit im HUD angezeigt (siehe Abbildung 6.5-2 ganz links).

Optische Assistenz

Zur Unterstützung der Geschwindigkeitshaltung wird der Fahrer über eine Anzeige im HUD, mittels einer digitalen Zahl über die Ist-Geschwindigkeit und durch ein Verkehrszeichensymbol über die momentan erlaubte Geschwindigkeit, die automatisch ermittelt wird, informiert (siehe Abbildung 6.5-2 zweite Spalte von links). Ferner wird bei einer Herabsetzung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit, die kommende Geschwindigkeitsbeschränkung in Form eines grau eingefärbten

Verkehrszeichens eingeblendet. Nimmt der Fahrer dann den Fuß vom Gas, erreicht er mit der richtigen Geschwindigkeit den neuen Geschwindigkeitsbereich. In das Sichtfeld des Fahrers, wird zur Unterstützung der Abstandshaltung ein kontaktanaloger Balken projiziert, der einen Sicherheitsabstand von 1,5s anzeigt. Droht der Fahrer die Spur zu verlassen, wird er über einen roten Pfeil im HUD, der in die Richtung der zu erfolgenden Lenkkorrektur weist, vor dem möglichen Fahrfehler gewarnt. Die Voruntersuchung in Kapitel 6.2.2 hat zwar ergeben, dass von den Probanden ein Nachziehen der entsprechenden Spurbegrenzung, die man zu überschreiten droht, bevorzugt wird. Dies zu realisieren würde allerdings selbst im Fahrsimulator einen immensen Aufwand bedeuten, weswegen die Variante mit dem kontaktanalogen roten Pfeil dargestellt wird.

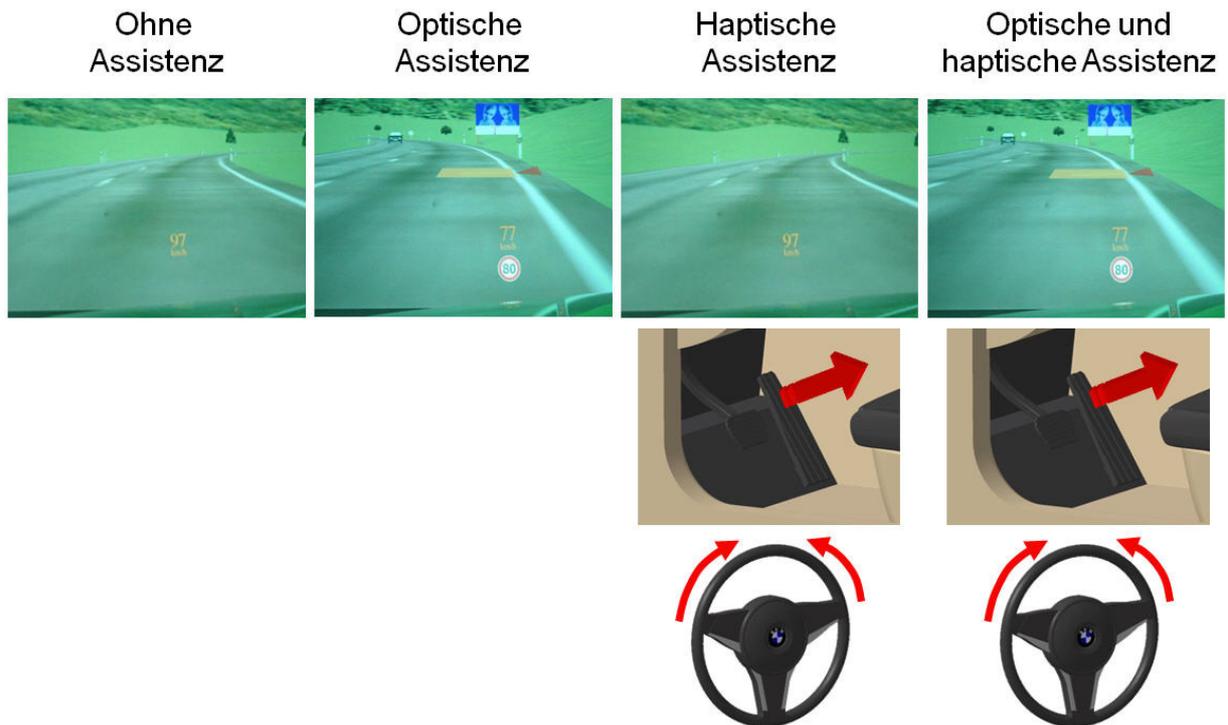


Abbildung 6.5-2: Die Versuchsbedingungen „ohne Assistenz“, „optische Assistenz“, „haptische Assistenz“ und „optische und haptische Assistenz“

Haptische Assistenz

Diese Variante informiert den Fahrer bei der Geschwindigkeitshaltung, durch einen Druckpunkt am aktiven Gaspedal, über die momentan erlaubte Höchstgeschwindigkeit, welche vom Assistenzsystem automatisch ermittelt wird. Lehnt er seinen Fuß an diesem Druckpunkt an, hält er die Sollgeschwindigkeit ein. Ferner kommt ihm der Druckpunkt in der richtigen Entfernung zu einer Geschwindigkeitsherabsetzung entgegen, so dass das Fahrzeug, lediglich aufgrund der Fahrwiderstände, rechtzeitig auf die zulässige Geschwindigkeit verzögert. Die Abstandshaltung wird ebenfalls mittels des aktiven Gaspedals unterstützt, worüber dem Fahrer bei Folgefahrt ein Sicherheitsabstand von 1,5s angezeigt wird. Zur Hilfe bei der Spurhaltung wird das aktive Lenkrad verwendet. Dabei wird der Fahrer über ein gerichtetes Lenkmoment am aktiven Lenkrad wieder in die Spur zurückgeführt, wenn er Gefahr läuft, von dieser abzukommen. Innerhalb der Spur kann sich der Fahrer seine Position ohne jegliches Zusatzmoment frei wählen. In Abbildung 6.5-2, in der dritten Spalte von links, ist diese Assistenzvariante visualisiert.

Optische und haptische Assistenz

Bei dieser in Abbildung 6.5-2 in der rechten Spalte dargestellten Variante werden die Funktionen aus der optischen und der haptischen Assistenz miteinander verbunden. Der Fahrer wird also optisch über die erlaubte Geschwindigkeit und den 1,5-sekündigen Sicherheitsabstand informiert sowie mittels der roten Dreiecke vor dem Abkommen von der Spur gewarnt. Durch das aktive Gaspedal und das aktive Lenkrad werden die herrschenden Grenzen haptisch rückgemeldet. Lehnt der Fahrer seinen Fuß an dem Druckpunkt des Gaspedals an, hält er die erlaubte Geschwindigkeit bzw. einen Sicherheitsabstand von 1,5 Sekunden ein. Droht er von der Spur abzukommen, wird er über ein gerichtetes Lenkmoment auf der Fahrbahn gehalten. Diese Variante stellt somit die aufgrund der systemergonomischen Analyse in Kapitel 2 geforderte Version dar, bei der Fahrer und Assistenzsystem über einen gemeinsamen Summenpunkt auf die Fahrzeugdynamik einwirken und der Regler seine Handlungsvorschläge über den optische Kanal erklärt.

6.5.1.3.2 Abhängige Variablen

Zur Klärung der formulierten Fragestellung dienen die abhängigen Variablen, die den Einfluss der vier Versuchsbedingungen auf die Fahrperformance, das Blickverhalten, die Fahrerbeanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt charakterisieren. Die Fahrperformance in Abhängigkeit der Variante wird dabei über Kennwerte bestimmt, welche den Einfluss der Ausprägungen auf die Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung kennzeichnen. Bei den Blickkennwerten werden jene verwendet, die es erlauben, Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen im Blickverhalten zu ziehen. Anhand der subjektiven Messwerte wird der Effekt der Assistenzsysteme auf die empfundene Fahrperformance, die Beanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt bestimmt. Eine ausführliche Darstellung und Erklärung der Kennwerte erfolgt in Kapitel 5.

6.5.1.4 Versuchsablauf

Eine genaue Beschreibung des Versuchsablaufes kann in Kapitel 6.3.1.4 nachgelesen werden. Der Ablauf der Versuche im Fahrsimulator ist zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse standardisiert und immer gleich.

6.5.1.5 Hypothesen

Nachfolgend werden die Hypothesen zum Einfluss der Assistenzvarianten auf die Kriterien Fahrperformance, Blickverhalten, Beanspruchung sowie Gefallen- und Akzeptanz formuliert.

Fahrperformance:

Wie die Untersuchung in Kapitel 6.3 zur Anzeige verkehrsrelevanter Informationen gezeigt hat, trägt die alleinige optische Ausgabe der erlaubten Geschwindigkeit nicht zu einer Verbesserung der Geschwindigkeitshaltgüte bei. Sie informiert den Fahrer zwar über die zulässige Geschwindigkeit, unterstützt ihn aber nicht weiter bei deren Einhaltung. Im Gegensatz dazu ist jedoch anzunehmen, dass eine haptische Rückmeldung über die erlaubte Höchstgeschwindigkeit mittels eines Druckpunktes am Gaspedal zu einer besseren Geschwindigkeitshaltung führt, da sich der Fahrer durch diesen bequem führen lassen kann und somit aktiv unterstützt wird. Aus dieser Theorie leiten sich folgende Hypothesen ab.

Fahr_1/H₀: Wenn bei der „optischen Assistenz“ die erlaubte Geschwindigkeit in Symbolform rückgemeldet wird, dann hat dies im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltegüte.

Fahr_1/H₁: Das Darstellen der erlaubten Geschwindigkeit bei der „optischen Assistenz“ verändert im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ die Geschwindigkeitshaltegüte.

Fahr_2/H₀: Wenn mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann hat dies verglichen mit der Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“ keinen Effekt auf die Geschwindigkeitshaltegüte.

Fahr_2/H₁: Das Fahren mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ verändert die Geschwindigkeitshaltung gegenüber der Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“.

Assmann (1985) zeigt in einem Realversuch, dass die kontaktanaloge Anzeige des Bremsweges zu einer leichten Verbesserung der Abstandshaltung führt. Diese dürfte jedoch im Vergleich zu der haptischen Rückmeldung am Gaspedal, über die der Fahrer aktiv bei der Einhaltung eines korrekten Sicherheitsabstandes unterstützt wird, nicht so stark ausfallen, da sie lediglich die Ausgabe eines Sollwertes ist, den Fahrer aber nicht weiter bei dessen Einhaltung hilft. Auf diesen Vermutungen beruhen die folgenden Hypothesen zur Abstandshaltung.

Fahr_3/H₀: Das Fahren mit dem kontaktanalogen Abstandsbalken bei der „optischen Assistenz“ hat im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ keinen Einfluss auf die Abstandshaltung.

Fahr_3/H₁: Der kontaktanaloge Abstandsbalken bei der „optischen Assistenz“ verändert im Gegensatz zur Fahrt „ohne Assistenz“ die Abstandshaltegüte.

Fahr_4/H₀: Durch die zusätzliche haptische Rückmeldung über einen korrekten Sicherheitsabstand wird bei der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“, im Vergleich zur „optischen“ und „ohne Assistenz“ die Abstandshaltung nicht beeinflusst.

Fahr_4/H₁: Das Fahren mit der zusätzlichen haptischen Abstandsrückmeldung bei der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ verändert gegenüber den Varianten „optische“ und „ohne Assistenz“ die Abstandshaltung.

Der Versuch zur kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße in Kapitel 6.4 zeigt, dass diese zu einer Verbesserung in der Querführung führt. Ebenso ergeben Untersuchungen von *Marstaller et al. (2001)* und *Mann (2007)*, dass die Spurhaltegüte durch eine haptische Assistenz am Lenkrad, die den Fahrer durch ein korrigierendes Lenkmoment unterstützt, wenn er droht von der Fahrspur abzukommen, deutlich gesteigert werden kann. Wie schon bei dem Einfluss auf die Geschwindigkeits- und Abstandshaltung wird davon ausgegangen, dass der Effekt der haptischen Assistenz stärker zum Tragen kommt als der Einfluss der optischen Assistenz. Dies liegt an der handlungsunterstützenden Wirkung der Haptik im Gegensatz zu der reinen Information durch die optische Rückmeldung. Somit ergeben sie die folgenden Hypothesen zum Einfluss der Assistenzvarianten auf die Spurhaltung.

Fahr_5/H₀: Die „optische Assistenz“ hat im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ keinen Einfluss auf die Querführung.

Fahr_5/H₁: Wenn mit der „optischen Assistenz“ gefahren wird, dann verändert sich im Gegensatz zum nicht-assistierten Fahren die Spurhaltegüte.

Fahr_6/H₀: Das Fahren mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ hat im Vergleich zur Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“ keine Veränderung der Spurhaltegüte zur Folge.

Fahr_6/H₁: Wenn mit der haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann ändert sich gegenüber der Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“ die Qualität der Spurhaltung.

Blickverhalten:

Das Experiment in Kapitel 6.4 zur kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße ergibt, dass die visuelle Suchaktivität durch eine derartige Ausgabe, die sich permanent im zentralen Sehfeld befindet, herabgesetzt wird, woraus sich das nachstehende Hypothesenpaar zum Blickverhalten ableitet.

Blick_1/H₀: Die „optische“ und die „optische und haptische Assistenz“ haben im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt keinen Einfluss auf die visuelle Suchaktivität.

Blick_1/H₁: Wenn mit der „optischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann verändert sich im Gegensatz zur Fahrt „ohne Assistenz“ die visuelle Suchaktivität.

Bei der rein „haptischen Assistenz“ erfolgt die Rückmeldung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über den Druckpunkt am aktiven Gaspedal. Vertraut der Fahrer dieser Vorgabe, hält er stets die erlaubte Geschwindigkeit ein, ohne dass er seine aktuelle Istgeschwindigkeit im HUD überprüfen muss. Im Gegensatz dazu muss der Fahrer bei der nicht-assistierten Fahrt und der „optischen Assistenz“ seine Istgeschwindigkeit im HUD kontrollieren. Bei der Variante der kombinierten „optischen und haptischen“ Assistenz hat der Fahrer zwar auch den Druckpunkt am aktiven Gaspedal, der ihm die erlaubte Geschwindigkeit angibt. Es wird ihm jedoch im HUD zusätzlich noch die erlaubte Geschwindigkeit optisch rückgemeldet, wodurch der Reiz entsteht auf das HUD zu blicken und das korrekte Übereinstimmen von Ist und Soll zu überprüfen. Aus dieser Theorie ergibt sich das folgende Hypothesenpaar.

Blick_2/H₀: Die „haptische Assistenz“ hat im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt keinen Einfluss auf das Blickverhalten in Richtung der Anzeige der Istgeschwindigkeit im HUD.

Blick_2/H₁: Wenn mit der „haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann verändert sich im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt das Blickverhalten auf die Istgeschwindigkeitsanzeige.

Kraftstoffverbrauch:

Der Fahrer wird bei den beiden Versuchsausprägungen „haptische“ sowie „optische und haptische Assistenz“, über den Druckpunkt am Gaspedal aktiv bei der Geschwindigkeits- und Abstandshaltung unterstützt. Folgt er diesen Vorschlägen, führt dies zu einer ruhigeren Gaspedalstellung und somit zu weniger sinnlosen Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen. Dadurch werden die zulässige Höchstgeschwindigkeit und der korrekte Sicherheitsabstand konstanter eingehalten,

woraus ein geringerer Kraftstoffverbrauch resultieren müsste. Dagegen werden dem Fahrer bei der „optischen Assistenz“ der Sollabstand und die Sollgeschwindigkeit nur visuell rückgemeldet, er aber nicht aktiv bei der Aufgabenerfüllung assistiert. Die Untersuchung in Kapitel 6.3 zeigt, dass die alleinige optische Rückmeldung keine Verbesserung der Geschwindigkeitshaltegüte zur Folge hat. Ferner wird, wie die vorstehenden Vermutungen zur Fahrperformance belegen, nur ein geringer Effekt auf die Abstandshaltung erwartet. Dies führt zu den nachstehend dargestellten Hypothesen.

Kraft_1/H₀: Das Fahren mit der „optischen Assistenz“ beeinflusst im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ den Kraftstoffverbrauch nicht.

Kraft_1/H₁: Wenn mit der „optischen Assistenz“ gefahren wird, dann ändert sich im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt der Kraftstoffverbrauch.

Kraft_2/H₀: Das Fahren mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ beeinflusst gegenüber der Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“ den Kraftstoffverbrauch nicht.

Kraft_2/H₁: Durch die „haptische“ und die „optische und haptische Assistenz“ ändert sich im Vergleich zur Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“ der Kraftstoffverbrauch.

Beanspruchung:

Bei der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ wird der Fahrer, im Gegensatz zu den anderen beiden Versuchsausprägungen, aktiv bei der Erfüllung der Fahraufgabe unterstützt. Vor allem die haptische Assistenz bei der Längsführung bietet dem Fahrer die Möglichkeit, dass er sich von dem Druckpunkt am aktiven Gaspedal bequem führen lässt. Dabei wird dem Fahrer in Bezug auf die Geschwindigkeitshaltung das Erkennen und Erinnern der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sowie deren korrekte Einhaltung abgenommen. Daraus leitet sich folgendes Hypothesenpaar zur empfundenen Beanspruchung ab.

Bean_1/H₀: Die „haptische“ und die „optische und haptische Assistenz“ hat im Vergleich zum Fahren mit der „optischen“ und „ohne Assistenz“ keinen Einfluss auf Beanspruchung.

Bean_1/H₁: Wenn mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann ändert sich gegenüber dem Fahren mit der „optischen“ und „ohne Assistenz“ die empfundene Beanspruchung.

Gefallen/Akzeptanz:

Wie bei dem Hypothesenpaar zur empfundenen Beanspruchung erläutert, wird der Fahrer bei der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ aktiv bei der Fahraufgabe unterstützt, was bei den anderen Varianten nicht der Fall ist. Diese aktive Assistenz sollte zu einer Erleichterung und Vereinfachung der Fahraufgabe führen, so dass die so genannte wahrgenommene pragmatische Qualität steigt (siehe hierzu *Hassenzahl, 2003*), die einen direkten Einfluss auf den Gefallens- und Akzeptanzaspekt hat. Aus dieser Herleitung ergibt sich nachstehende Hypothese.

Gefal_1/H₀: Wenn mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann ändert sich verglichen mit der Fahrt „ohne Assistenz“ und der „optischen Unterstützung“ die Akzeptanzbewertung nicht.

Gefal_1/H₁: Die „haptische“ und die „optische und haptische Assistenz“ haben gegenüber dem Fahren „ohne Assistenz“ und der „optischen Unterstützung“ einen Einfluss auf die Akzeptanzbewertung.

6.5.2 Ergebnisdarstellung

Nachfolgend wird auf die Ergebnisse des vorliegenden Experimentes eingegangen. Dabei werden zunächst die Resultate der Fahrperformancemessung vorgestellt, die sich in Kennwerte zur Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung unterteilen. Dem schließen sich die Ergebnisse zum Blickverhalten, zum Spritverbrauch und zur subjektiven Befragung an.

6.5.2.1 Fahrperformance

Die Fahrperformancebetrachtung umfasst die Geschwindigkeits- und Abstandshaltung sowie in die Querführung.

6.5.2.1.1 Geschwindigkeitshaltung

In diesem Unterkapitel wird der Einfluss der Assistenzvarianten auf das Geschwindigkeitshaltevermögen bestimmt. Hierzu werden nachstehend die Ergebnisse der Kennwerte mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, Standardabweichung der Geschwindigkeit, Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, maximale Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit und die Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit vorgestellt.

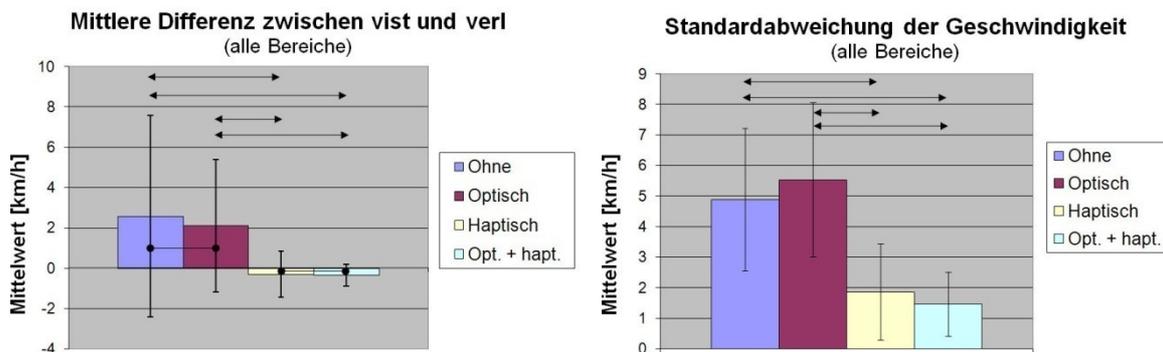


Abbildung 6.5-3: Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit sowie Standardabweichung der Geschwindigkeit über alle Geschwindigkeitsbereiche

In Abbildung 6.5-3 links ist der Effekt der Assistenzvarianten auf die mittlere Differenz zwischen erlaubter und gefahrener Geschwindigkeit zu sehen. Demnach hat die optische Anzeige der erlaubten Geschwindigkeit, im Vergleich zur Fahrt ohne Unterstützung, keinerlei Auswirkung. Die Probanden fahren trotz der Anzeige der erlaubten Geschwindigkeit im Mittel etwa 2 km/h zu schnell. Erst durch die haptische Rückmeldung der erlaubten Geschwindigkeit über das aktive Gaspedal, durch dessen Druckpunkt sich die Versuchspersonen führen lassen können, kann ein signifikanter Einfluss erzielt werden (α -Fehler < 0,01). Dadurch wird nahezu exakt die erlaubte Geschwindigkeit eingehalten. Der gleiche positive Effekt zeigt sich auch für die kombinierte „optische und haptische Assistenz“, wodurch ebenfalls die mittlere Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, im Vergleich zur Fahrt ohne Unterstützung, signifikant (α -Fehler < 0,01) verringert wird.

Ein ähnliches Resultat zeigt sich für die Standardabweichung der Geschwindigkeit bezogen auf alle Streckenabschnitte mit konstanter Sollgeschwindigkeit (siehe Abbildung 6.5-3 rechts). Im Vergleich zum Kennwert mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, nimmt die Standardabweichung der Geschwindigkeit beim Fahren mit „optischer Assistenz“ zu sogar tendenziell, was bei einem α -Fehler von 0,074 jedoch nicht signifikant ist. Erst wieder durch die „haptische Assistenz“ über das aktive Gaspedal kann die Standardabweichung der gefahrenen Geschwindigkeit signifikant reduziert werden (α -Fehler $< 0,001$). Dieser Rückgang der Standardabweichung ergibt sich, im Vergleich zur normalen Fahrt und zur „optischen Assistenz“, auch für die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ (α -Fehler $< 0,001$). Durch die „kombinierte Assistenz“ kann die Standardabweichung, verglichen mit der „haptischen Unterstützung“, jedoch nicht weiter reduziert werden, was offensichtlich daran liegt, dass der Rückgang hauptsächlich auf den Einfluss des aktiven Gaspedals zurückzuführen ist. Für den prozentualen Anteil, bei dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, ergibt sich, wie auch schon für die mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit sowie für die Standardabweichung der Geschwindigkeit, kein positiver Einfluss durch die „optische Assistenz“ (siehe Abbildung 6.5-4 links). Beim Fahren mit dieser Unterstützungsform wird die erlaubte Geschwindigkeit genauso häufig um mehr als 10 km/h übertreten wie beim Fahren ohne jegliche Hilfe (α -Fehler $> 0,25$). Erst wieder durch die „haptische“ bzw. die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ kann diese Kenngröße im Vergleich zur normalen Fahrt bzw. zur „optischen Unterstützung“ signifikant (α -Fehler jeweils $< 0,001$) verringert werden.

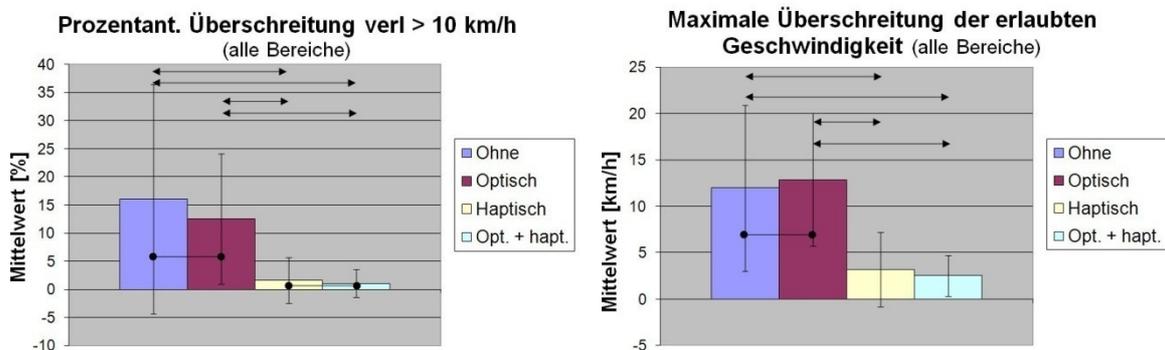


Abbildung 6.5-4: Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird und maximale Überschreitung der Geschwindigkeit über alle Geschwindigkeitsbereiche

Wie in Abbildung 6.5-4 rechts ersichtlich, zeigt sich das gleiche Resultat für die maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit. Diese Kenngröße wird ebenfalls durch die „optische Assistenz“, im Vergleich zur normalen Fahrt, nicht beeinflusst (α -Fehler $> 0,25$). Werden die Probanden jedoch durch das aktive Gaspedal bei ihrer Geschwindigkeitshaltung assistiert, wird die erlaubte Geschwindigkeit im Mittel nur noch um maximal 3,2 km/h übertreten, was einer signifikanten Reduzierung im Vergleich zur normalen Fahrt und der mit „optischer Assistenz“ entspricht (α -Fehler jeweils $< 0,001$). Den gleichen positiven Effekt wie die „haptische Assistenz“ hat auch die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“. Hier kann ebenfalls die maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit im Vergleich zur Referenzbedingung und zur „optischen Assistenz“ signifikant verringert werden (α -Fehler jeweils $< 0,001$).

Ein interessantes Ergebnis liefert der in Abbildung 6.5-5 dargestellte Kennwert „Geschwindigkeitsüberschreitung bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit“, der angibt, um wie viel km/h zu schnell man beispielsweise in eine Ortschaft einfährt.

Obwohl bei der „optischen Assistenz“ bereits in der entsprechenden Entfernung vor einer Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit eine Voranzeige der kommenden Geschwindigkeitsbeschränkung erfolgt, so dass der Fahrer die Möglichkeit hat auf das neue Geschwindigkeitsniveau nur durch Zurücknehmen des Gaspedals zu verzögern, kann die Geschwindigkeitsüberschreitung bei der Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit, im Vergleich zur Referenzbedingung, nicht reduziert werden (α -Fehler $> 0,25$). Dagegen wird die Geschwindigkeitsüberschreitung bei Verminderung der erlaubten Geschwindigkeit sowohl durch die „haptische“ als auch durch die kombinierte „optische und haptische Assistenz“, im Vergleich zur normalen Fahrt und zur „optischen Unterstützung“, signifikant reduziert (α -Fehler jeweils $< 0,05$).

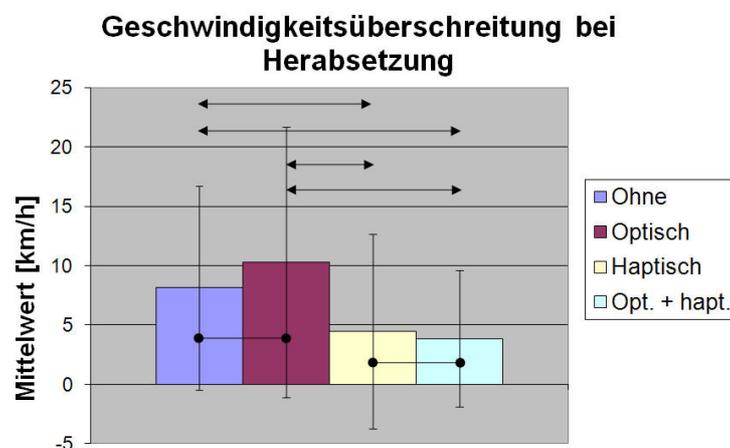


Abbildung 6.5-5: Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit

Zusammenfassend lässt sich für die Geschwindigkeitshaltung keinerlei positiver Einfluss der „optischen Assistenz“, bei der die erlaubte Geschwindigkeit im HUD in Form eines Symbols angezeigt wird, im Vergleich zur normalen Fahrt erkennen. Tendenziell wird sogar die Standardabweichung der erlaubten Geschwindigkeit erhöht, was bei einem α -Fehler von 0,074 jedoch nicht signifikant ist. Dagegen haben die „haptische Unterstützung“ durch den Druckpunkt des aktiven Gaspedals sowie die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ einen äußerst positiven Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltung. Im Vergleich zur normalen Fahrt und zur „optischen Assistenz“ können die Kennwerte mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, Standardabweichung der Geschwindigkeit, Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, maximale Überschreitung der Geschwindigkeit und die Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit signifikant verbessert werden. Zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ besteht jedoch kein signifikanter Unterschied. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die positiven Effekte hauptsächlich auf die Unterstützung durch das aktive Gaspedal zurückzuführen sind.

6.5.2.1.2 Abstandshaltung

Um den Einfluss der Assistenzvarianten auf die Abstandshaltung bei Folgefahrt zu charakterisieren, werden die Kennwerte mittlerer und minimaler Sekundenabstand, Mittelwert, Minimum und Standardabweichung der TTC und die Time Exposed TTC verwendet.

Abbildung 6.5-6 links zeigt das Resultat im Hinblick auf den mittleren Sekundenabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug bei Folgefahrt. Demnach stellen die Probanden „ohne Assistenz“ im Mittel einen Abstand von 2,57 Sekunden ein. Dieser Sekundenabstand wird im Vergleich zur Referenzbedingung durch alle Assistenzvarianten signifikant reduziert, was auf den ersten Blick einer Verschlechterung der Abstandshaltung entspricht. Betrachtet man jedoch die in Abbildung 6.5-6 rechts dargestellten Ergebnisse des minimalen Sekundenabstandes, ergibt sich, dass trotz des geringeren mittleren Abstandes diese Kenngröße nicht negativ beeinflusst wird. Das bedeutet, dass die Probanden zwar insgesamt dichter auffahren, es aber dadurch nicht erhöht zu kritischen Situationen kommt.

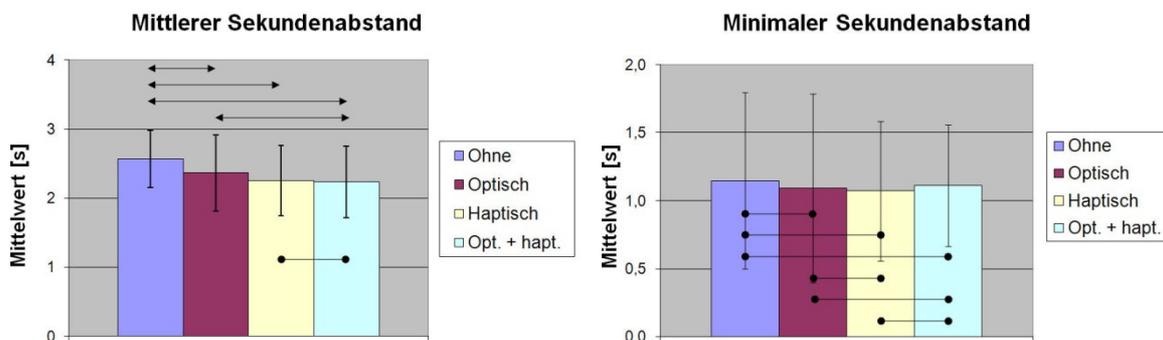


Abbildung 6.5-6: Mittlerer und minimaler Sekundenabstand für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner als vier Sekunden ist

Dies wird durch den Mittelwert und das Minimum der Time to Collision gestützt, welche von *Gibson & Crooks (1938)*, *Gibson (1979)* und *Lee (1976)* als die für den Menschen maßgebliche Größe angesehen wird, um Bewegungen relativ zu anderen Objekten, durchzuführen. Wie man Abbildung 6.5-7 links entnehmen kann, haben die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ keinen Einfluss auf den Mittelwert der TTC (α -Fehler jeweils $> 0,25$). Lediglich beim Fahren mit der „optischen Assistenz“, in Form des kontaktanalogen Balkens, kann eine signifikante Abnahme des Mittelwertes der TTC im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ festgestellt werden.

Die Assistenzvarianten, haben wie auch schon beim Minimum des Sekundenabstandes (siehe Abbildung 6.5-7 rechts), keinerlei Einfluss auf das Minimum der TTC.

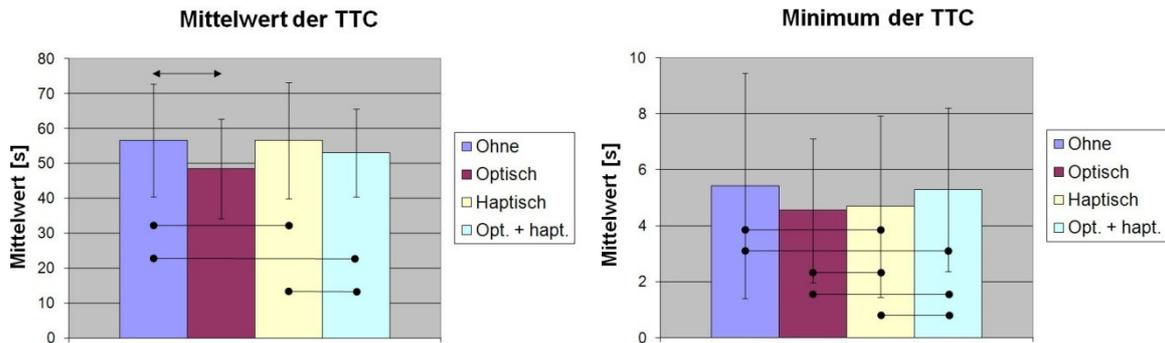


Abbildung 6.5-7: Mittelwert und Minimum der Time to Collision für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner vier Sekunden ist

Abbildung 6.5-8 links zeigt, dass die „optische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ jedoch einen positiven Einfluss auf die Standardabweichung der Time to Collision bei Folgefahrt haben. Sie kann durch die beiden Assistenzvarianten, im Vergleich zur Referenzbedingung, signifikant (α -Fehler < 0,01 für optisch und α -Fehler < 0,05 für optisch und haptisch) verringert werden. Dieser positive Effekt ist augenscheinlich auf den kontaktanalogen Abstandsbalken zurückzuführen, durch den die Probanden offensichtlich Schwankungen im Abstand besser detektieren können und somit in der Lage sind, einen konstanteren Abstand einzuhalten.

Darüber hinaus hat auch der geringere mittlere Sekundenabstand keine negativen Auswirkungen auf die Time Exposed TET (siehe Abbildung 6.5-8 rechts), die den Anteil der Zeit an der Gesamtzeit angibt, bei dem die TTC bei Folgefahrt kleiner als 4 Sekunden ist. Für diesen Kennwert kann zwischen keiner der Versuchsbedingungen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

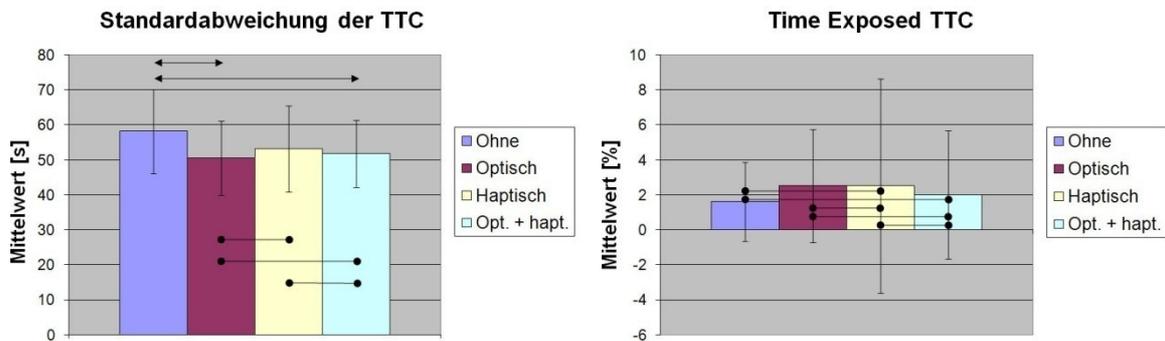


Abbildung 6.5-8: Standardabweichung der Time to Collision und Time Exposed TTC für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner als vier Sekunden ist

Zusammenfassend lässt sich für die Abstandshaltung feststellen, dass zwar durch die Längsführungsassistenz ein im Mittel geringerer Sekundenabstand gefahren wird, dies jedoch wie das Minimum des Sekundenabstandes, der Mittelwert und das Minimum der TTC und die TET zeigen, keine weiteren negativen Auswirkungen auf die Abstandshaltung hat. Für die beiden Versuchsbedingungen, bei denen die Probanden durch den kontaktanalogen Balken bei der Abstandshaltung unterstützt werden, kann sogar die Standardabweichung der TTC signifikant verringert werden, was sich in einer konstanteren Einhaltung des Abstandes zum Vordermann äußert.

Die geringeren Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug sind mit größter Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass die Assistenzsysteme in einem statischen Simulator untersucht wurden. Diese Annahme wird gestützt durch Ergebnisse von *van der Hulst et al. (1996)* und *Hoedemaker et al. (1998)*, die in einem statischen Simulator den Einfluss eines ACC-Systems auf die Abstandshaltung untersucht haben. Aus beiden Studien resultiert, dass beim Fahren mit dem ACC der Abstand zum Vorausfahrenden abnimmt. Bei einem weiteren Experiment in einem statischen Simulator zum Einfluss eines ACC auf die Abstandshaltung von *Nilsson & Nabo (1994)* ergibt sich, dass sich der mittlere Abstand bei der Fahrt mit ACC nicht verändert. Dem hingegen haben die Studie von *Peters (1996)* in einem Simulator mit Bewegungssystem und das Realexperiment von *Fancher et al. (1998)* eine Vergrößerung des Abstandes beim Fahren mit ACC als Resultat.

Ursächlich liegt dieser Effekt wahrscheinlich darin begründet, dass die Probanden in der Simulation, aufgrund der fehlenden Bewegungsdynamik und des schlechteren visuellen Eindrucks durch den eingeschränkten Sichtbereich der Sichtsimulation, das dadurch subjektiv höher empfundene Risiko bei Folgefahrt kompensieren, indem sie einen viel größeren Abstand zum Vordermann einstellen als sie dies in der Realität tun. Der Regelalgorithmus eines ACC macht jedoch keinen Unterschied zwischen Realfahrt und Simulatorexperiment und stellt immer den gleichen Sekundenabstand zum Vorderfahrzeug ein. Somit ergeben sich für ein- und dasselbe Assistenzsystem, in Abhängigkeit vom Untersuchungsort, gegensätzliche Ergebnisse. Im vorliegenden Experiment, bei dem der Abstand durch das Assistenzsystem nicht automatisch eingeregelt wird, sondern die Probanden über das System bei der Abstandshaltung unterstützt werden, kommt es wohl zu folgendem Effekt: Aufgrund der Hilfe durch das System wird das subjektiv empfundene Risiko bei Folgefahrt reduziert und die Probanden trauen sich trotz der fehlenden Bewegungsdynamik und des schlechteren visuellen Eindrucks einen geringeren Sekundenabstand zum Vorderfahrzeug einzustellen.

6.5.2.1.3 Querführung

Im Zusammenhang mit dem Einfluss der Assistenzvarianten auf die Querführung werden die mittlere Spurposition, die Standardabweichung der Spurposition sowie das 15. Perzentil und der Median der Time to Line Crossing betrachtet.

In Abbildung 6.5-9 ist links die mittlere Spurposition über die komplette Fahrt und rechts die mittlere Spurposition in Links- und Rechtskurven dargestellt. Es ist zu erkennen, dass über die komplette Runde betrachtet, die mittlere Spurposition von allen Assistenzvarianten, im Vergleich zur Referenzbedingung, signifikant in Richtung zur Spurmitte hin beeinflusst wird (α -Fehler jeweils $< 0,01$). Das bedeutet, dass die Probanden mit allen Unterstützungsvarianten weniger stark nach links versetzt in der jeweiligen Spur fahren. Am stärksten in Richtung Spurmitte wird die mittlere Spurposition von der „optischen“ und gleichermaßen von der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ beeinflusst. Mit diesen beiden Varianten wird über die komplette Fahrt gesehen auch signifikant mittiger gefahren als mit dem aktiven Lenkrad der haptischen Variante alleine. Ebenso wie die mittlere Spurposition über die komplette Fahrt, steht auch die mittlere Spurposition für die Links- und Rechtskurven separiert betrachtet, in sehr guter Übereinstimmung mit den in Kapitel 6.4 gefundenen Ergebnissen zur Voranzeige der Nachführgröße mittels des kontaktanalogen Balkens.

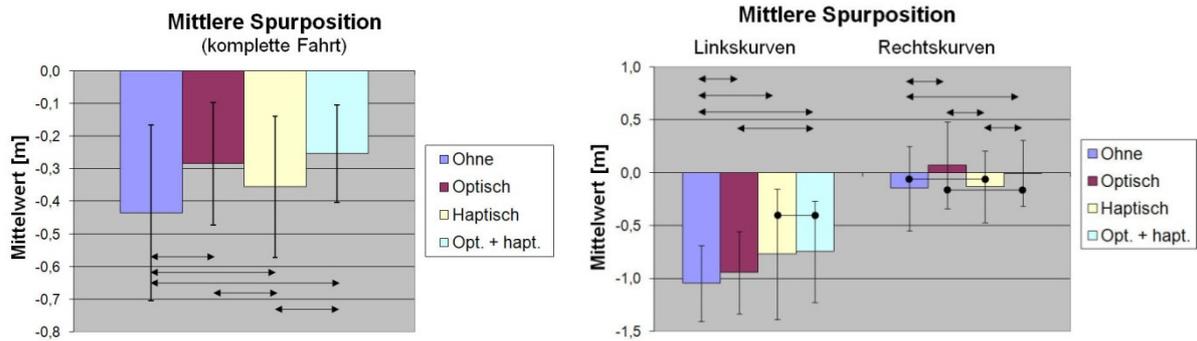


Abbildung 6.5-9: Mittlere Spurposition für die komplette Fahrt und separat für Linkskurven und Rechtskurven

Wie man in Abbildung 6.5-9 rechts erkennen kann, wird die mittlere Spurposition in allen Linkskurven zur Spurmitte hin gelenkt (α -Fehler jeweils $< 0,05$). Die größte Auswirkung haben die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“, was auf das aktive Lenkrad zurückzuführen ist, welches über ein gegendrehendes Lenkmoment das zu starke Annähern an den Spurrand verhindert. Anders stellt sich das Ergebnis bei der mittleren Spurposition in allen Rechtskurven dar. Dort wird die mittlere Spurposition sehr stark von der optischen Komponente beeinflusst, was man an der signifikant veränderten Spurposition der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ im Vergleich zur Referenzbedingung sowie der rein „haptischen Unterstützung“ sieht. Fahren die Versuchspersonen die Rechtskurven nur mit dem aktiven Lenkrad alleine, hat dies im Vergleich zur Fahrt ohne Unterstützung keinerlei Einfluss auf die Spurposition.

Abbildung 6.5-10 links zeigt, dass sich ferner ein sehr positiver Einfluss der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“, im Vergleich zur Referenzbedingung und der „optischen Variante“, hinsichtlich der Standardabweichung der Spurposition auf Geraden nachweisen lässt (α -Fehler jeweils $< 0,001$). Keinerlei Unterschied besteht zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Variante“. Ebenso lässt sich, wie in Abbildung 6.5-10 zu sehen, über alle Versuchsbedingungen kein Effekt auf die Standardabweichung der Spurposition in Linkskurven feststellen. Anders stellt sich dies für Rechtskurven dar. Dort kann die Standardabweichung der Spurposition, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, durch alle Assistenzvarianten signifikant (α -Fehler jeweils $< 0,01$) herabgesetzt werden.

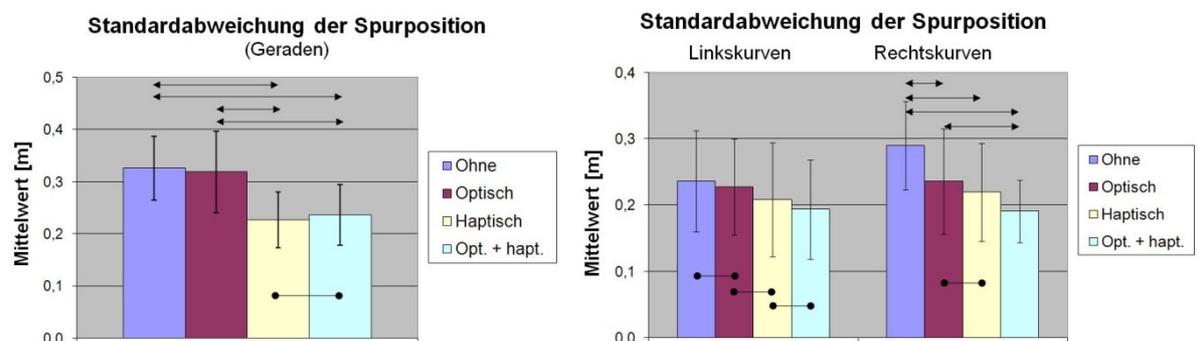


Abbildung 6.5-10: Standardabweichung der Spurposition auf Geraden sowie in Linkskurven und Rechtskurven

Ein erfreuliches Resultat liefert die Betrachtung des in Abbildung 6.5-11 dargestellten 15. Perzentils der Time to Line Crossing. Es wird, über die komplette Fahrt betrachtet, von allen Assistenzvarianten, im Vergleich zur Referenzbedingung, signifikant (α -Fehler jeweils $< 0,01$) erhöht. Ebenso kann das 15. Perzentil der TLC2 in der Reihenfolge „optisch“, „haptisch“ und kombiniert „optisch und haptisch“ jeweils nochmals signifikant weiter verbessert werden. Abbildung 6.5-11 zeigt, dass für alle Linkskurven lediglich die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ einen signifikant positiven Einfluss auf die TLC2 hat. Durch die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ ist die TLC2 signifikant höher als bei der Referenzbedingung, der „optischen Assistenz“ und der „haptischen Variante“ (α -Fehler jeweils $< 0,05$). Ein etwas anderes Resultat ergibt sich für das 15. Perzentil der TLC2 in Rechtskurven. Hier haben wieder alle Assistenzvarianten, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, eine Verbesserung des 15. Perzentils der TLC2 zur Folge.

Ein ähnlich positives Ergebnis wie beim 15. Perzentil der Time to Line Crossing ergibt sich auch, wie in Abbildung 6.5-12 zu erkennen, für den Median der TLC2 in Abhängigkeit der Assistenzvarianten. Dieser kann, ebenso wie das 15. Perzentil der TLC2 über die komplette Fahrt sowie in Links- und Rechtskurven mit Hilfe der Assistenzvarianten signifikant verbessert werden.

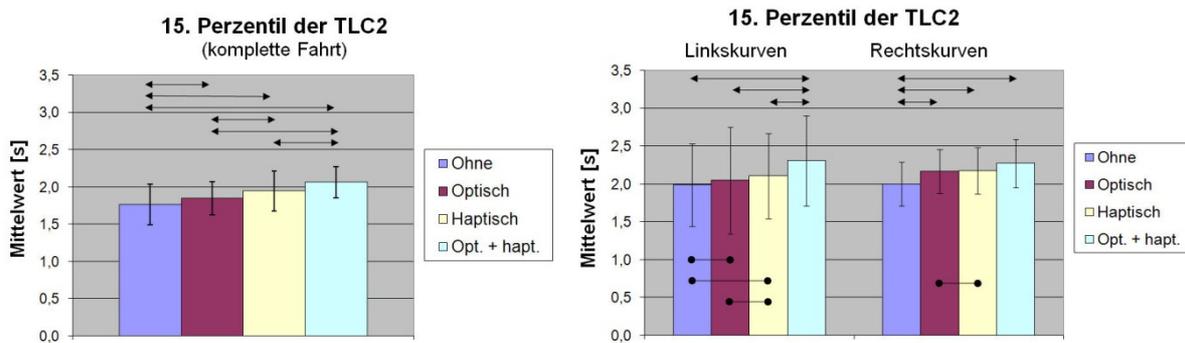


Abbildung 6.5-11: 15. Perzentil der Time to Line Crossing für die komplette Fahrt sowie in Links- und Rechtskurven

Betrachtet man alle Kennwerte zur Spurhaltung, haben die Assistenzvarianten insgesamt eine äußerst positive Wirkung auf das Spurhaltevermögen der Probanden. So lässt sich die mittlere Spurposition, über die komplette Fahrt gesehen, mit allen Assistenzbedingungen positiv in Richtung Spurmitte beeinflussen. Ferner kann die Standardabweichung der Spurposition durch die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ sowohl auf Geraden als auch in Rechtskurven, im Vergleich zur Referenzbedingung und der „optischen Assistenz“, signifikant verringert werden. Ein sehr positiver Einfluss zeigt sich auch beim 15. Perzentil der Time to Line Crossing. Dieses kann über die komplette Fahrt gesehen in der Reihenfolge „optisch“, „haptisch“ und kombiniert „optisch und haptisch“ im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt jeweils signifikant erhöht werden. Ebenso wird das 15. Perzentil der TLC2 auch in Linkskurven von allen Assistenzvarianten signifikant verbessert. In Rechtskurven erfolgt jedoch nur durch die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ eine signifikante Erhöhung des Kennwertes.

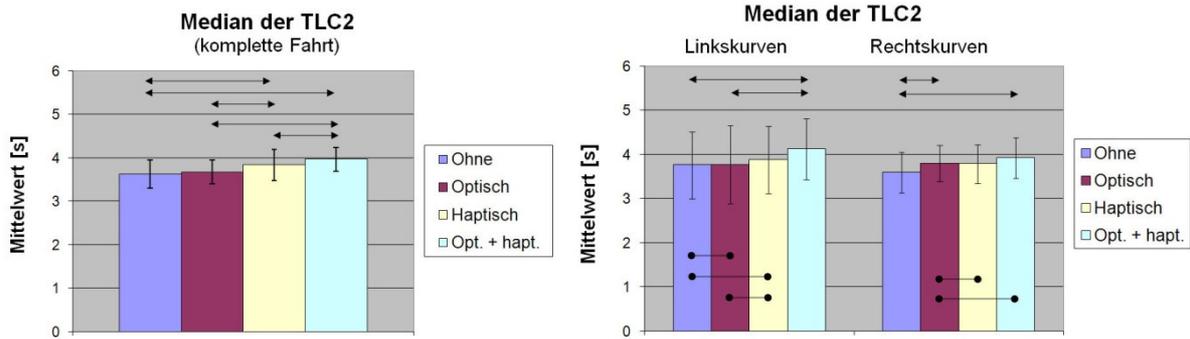


Abbildung 6.5-12: Median der Time to Line Crossing für Geraden sowie in Links- und Rechtskurven

6.5.2.2 Blickverhalten

Nachstehend wird der Einfluss der Assistenzvarianten auf das Blickverhalten der Probanden untersucht. Hierzu werden die Kennwerte visuelle Suchaktivität und prozentualer Anteil an Tachoblicken betrachtet.

Wie man in Abbildung 6.5-13 sehen kann, hat keines der Assistenzsysteme einen signifikanten Einfluss auf die visuelle Suchaktivität. Dies steht auf den ersten Blick im Widerspruch zu dem in Kapitel 6.4 gefundenen Ergebnis, wonach die Voranzeige der Nachführgröße in Form eines kontaktanalogen Balkens die visuelle Suchaktivität signifikant verringert. Dadurch müsste die visuelle Suchaktivität auch bei der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ herabgesetzt werden.

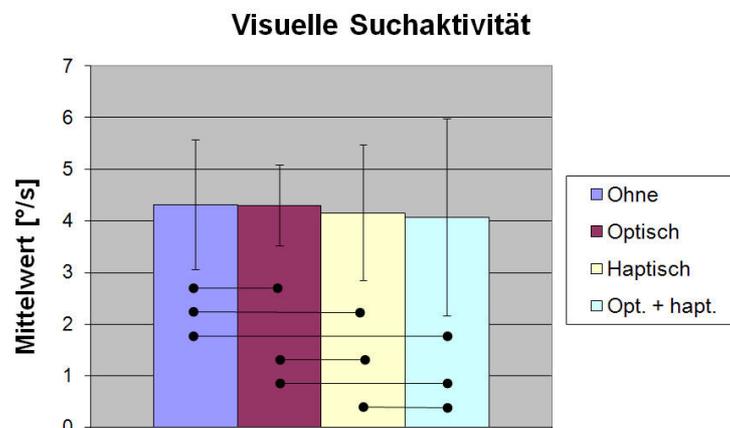


Abbildung 6.5-13: Visuelle Suchaktivität in Abhängigkeit der Assistenzvariante

Bezieht man jedoch das in Abbildung 6.5-14 dargestellte Ergebnis zum prozentualen Anteil an HUD Blicken in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung in die Betrachtung mit ein, wird das Resultat für die visuelle Suchaktivität plausibel. Es wird deutlich, dass die rein „optische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ im Vergleich zur haptischen Unterstützung eine signifikante Erhöhung des prozentualen Anteils an HUD Blicken zur Folge haben. Dies liegt daran, dass bei der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ die erlaubte Geschwindigkeit im HUD in Form eines Symbols dargestellt wird. Durch die erhöhten Blickabwendungen weg von der Fahrszene auf die Sollgeschwindigkeitsanzeige bei der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Unterstützung“, wird

die Verringerung der visuellen Suchaktivität durch die Blickbindungseffekte der kontaktanalogen Voranzeige der Bewegungsrichtung kompensiert.

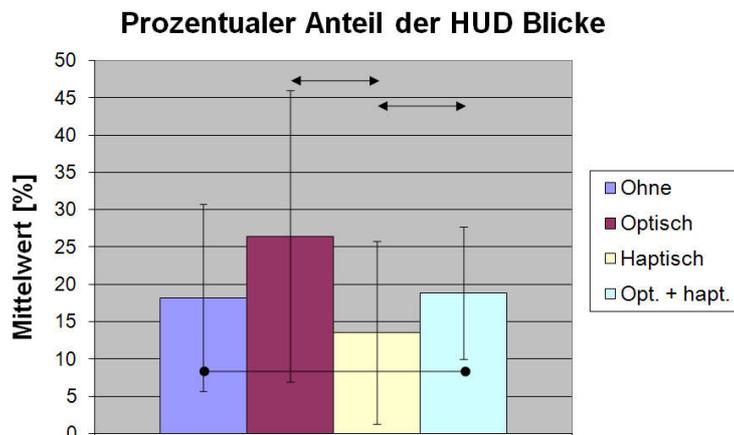


Abbildung 6.5-14: Prozentualer Anteil an Tachoblicken in Abhängigkeit der Assistenzvariante

Somit lässt sich für das Blickverhalten der Versuchspersonen festhalten, dass durch die Überlagerung mit der optischen Anzeige der erlaubten Geschwindigkeit im HUD kein Einfluss auf die visuelle Suchaktivität feststellbar ist. Positiv ist, dass offensichtlich die alleinige haptische Rückmeldung von fahrrelevanten Informationen ohne zusätzliche optische Anzeige über ein gewisses Potential zur Verringerung der Blickabwendungen weg von der Fahrscene zu verfügen scheint.

6.5.2.3 Kraftstoffverbrauch

Dieses Unterkapitel behandelt den Einfluss der Versuchsbedingungen auf den Kraftstoffverbrauch. Um diesen zu berechnen wird das Programm DRIVOR (Klauke, 2005) verwendet. Dieses bestimmt den aus einem gefahrenen Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofil resultierenden Kraftstoffverbrauch. Dafür benötigt die Software neben den Werten des Fahrzyklus noch die exakte Fahrzeugbedatung. Diese umfasst unter anderem das Drehmoment- und Verbrauchskennfeld des Motors sowie die Übersetzungsverhältnisse und Schaltzeitpunkte des Automatikgetriebes und die Übersetzung des Hinterachsdifferentials. Ferner werden charakteristische Kenndaten des Fahrzeuges wie z.B. die Masse, der Luftwiderstandsbeiwert und die Stirnfläche benötigt. Bezüglich der Fahrzeugbereifung sind der dynamische Radhalbmesser und der Reifentyp anzugeben. Weiterhin müssen die Trägheiten sämtlicher Komponenten des Antriebsstranges definiert werden.

Die Ergebnisse der mit dem Programm DRIVOR durchgeführten Verbrauchsberechnung sind in Abbildung 6.5-15 dargestellt. Wie man in Abbildung 6.5-15 links sehen kann, wird der Kraftstoffverbrauch durch die haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und zum Fahren mit „optischer Assistenz“ signifikant von ca. 7 l/100km bzw. 7,4 l/100km auf etwa 6,4 l/100km reduziert. Dagegen hat die „optische Unterstützung“, verglichen mit der Fahrt „ohne Assistenz“, keinen nachweisbaren Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Ebenso besteht zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen“ Unterstützung kein Unterschied.

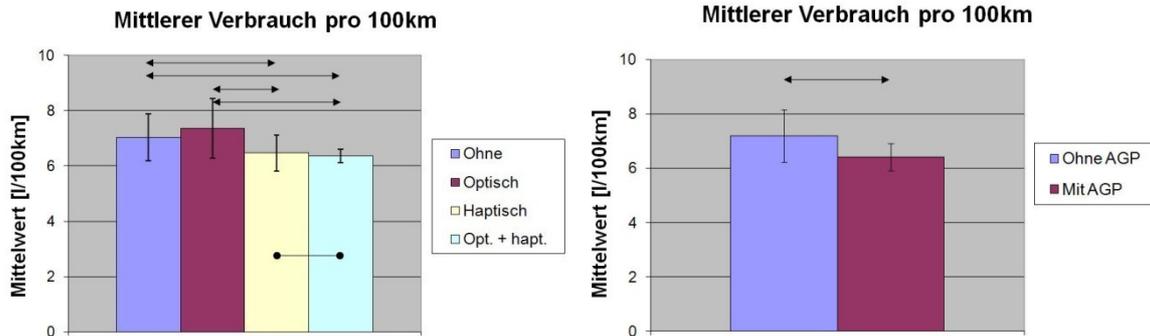


Abbildung 6.5-15: Mittlerer Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit der Assistenzvariante (links) und in Abhängigkeit davon, ob mit der ohne der Unterstützung durch das aktive Gaspedal gefahren wurde (rechts)

Fasst man den Kraftstoffverbrauch beim nicht-assistierten Fahren und bei der Fahrt mit „optischer Unterstützung“ zusammen, was beides dem Fahren „ohne AGP“ entspricht, ergibt sich ein mittlerer Verbrauch von 7,2 l/100km. Gruppiert man die beiden Varianten, bei denen „mit AGP“ gefahren wird, ist der Verbrauchsdurchschnitt 6,4 l/100km (siehe Abbildung 6.5-15 rechts). Der signifikante Rückgang des Verbrauchs von 7,2 l/100km auf 6,4 l/100km entspricht einer Reduzierung von immerhin 10,9%. Bei einer jährlichen Fahrleistung von 25000 Kilometer und einem Ausgangskraftstoffverbrauch von 8,0 l/100km bedeutet dies eine Ersparnis von über 250 Euro/Jahr.

6.5.2.4 Subjektive Kennwerte

Neben den objektiven Messwerten sind auch die subjektiven Eindrücke der Probanden ein wichtiges Erfolgskriterium für Fahrerassistenzsysteme.

Um die Wirkung der verschiedenen Varianten charakterisieren zu können, wird nachfolgend auf die Ergebnisse der mit den Versuchsbedingungen empfundenen Fahrperformance und Beanspruchung eingegangen. Abschließend wird der mittels des semantischen Differentials erfasste Gefallens- und Akzeptanzaspekt diskutiert.

6.5.2.4.1 Empfundene Fahrperformance

Die von den Probanden empfundene Fahrperformance wird bezüglich der Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung sowie für die sich aus diesen drei Aspekten zusammensetzende Gesamtfahrleistung abgefragt. Ferner werden die Versuchsteilnehmer nach ihrem Sicherheitsgefühl und der Konzentrationsfähigkeit auf die Fahraufgabe befragt. Diese Fragen werden auf einer Schulnotenskala von „1“ für „sehr gut“ bis „6“ für „sehr schlecht“ bewertet.

Aus der Abbildung 6.5-16 links ist ersichtlich, dass die „optische Unterstützung“ in Form einer Sollgeschwindigkeitsanzeige in Übereinstimmung mit den objektiven Messergebnissen keinerlei Einfluss auf die empfundene Geschwindigkeitshaltegüte hat. Beim Fahren mit der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ wird das empfundene Geschwindigkeitshaltevermögen im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und der „optischen Assistenz“ signifikant verbessert. Zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen“ Variante besteht diesbezüglich kein Unterschied.

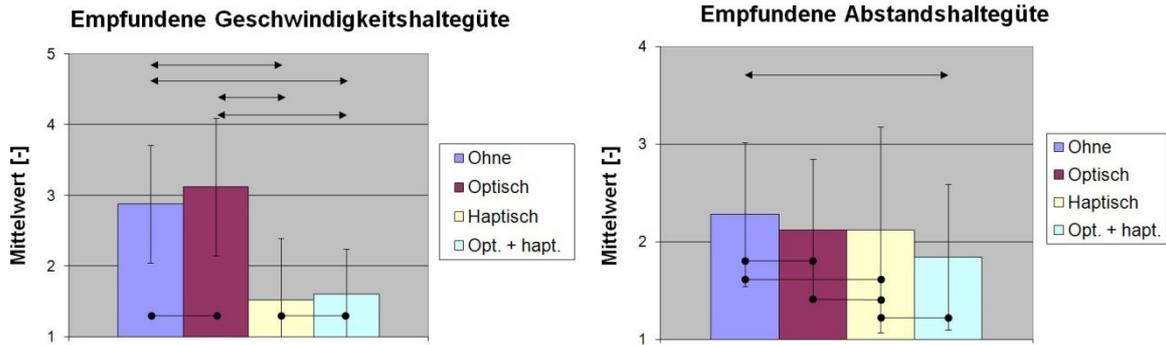


Abbildung 6.5-16: Empfundene Geschwindigkeits- und Abstandshaltegüte für das Fahren ohne Assistenz sowie mit „optischer“, „haptischer“ und „optischer und haptischer“ Unterstützung

Die empfundene Abstandshaltegüte (siehe Abbildung 6.5-16 rechts) kann im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ lediglich von der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ signifikant gesteigert werden. In Übereinstimmung mit den objektiven Kenngrößen wird das Abstandshaltevermögen mit der „optischen“ und der „haptischen Unterstützung“, verglichen mit der Referenzbedingung, nicht besser bewertet. Ebenso gibt es bei der Probandenbewertung keinerlei Unterschiede innerhalb der drei Assistenzvarianten.

Das Ergebnis zur empfundenen Spurhaltegüte ist in Abbildung 6.5-17 zu sehen. Demnach beurteilen die Testfahrer ihre Spurhaltegüte mit der „haptischen Unterstützung“ durch das aktive Lenkrad signifikant besser als beim Fahren mit der Referenzbedingung und der „optischen Assistenz“. Diese Verbesserung der empfundenen Spurhaltegüte im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt wird durch die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ nicht erreicht. Das Ergebnis der subjektiven Probandenbewertung zur Spurhaltegüte stimmt somit nur begrenzt mit den objektiven Messwerten überein.

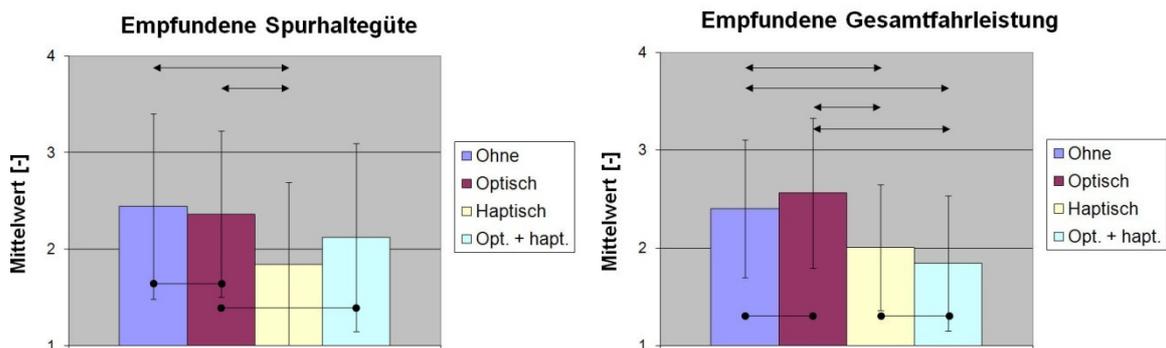


Abbildung 6.5-17: Empfundene Spurhaltegüte und Gesamtfahrleistung in Abhängigkeit von der Art der Unterstützung

Die empfundene Gesamtfahrleistung kann, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und zur „optischen Unterstützung“, sowohl mit der „haptischen“ als auch mit der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ signifikant verbessert werden (siehe Abbildung 6.5-17 rechts). Für den paarweisen Vergleich zwischen der Referenzbedingung und der „optischen Unterstützung“ sowie zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ gibt es, bzgl. der empfundenen Gesamtfahrleistung, keinen Unterschied.

Die in Abbildung 6.5-18 dargestellte Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe kann, im Vergleich zur Referenzbedingung, durch keines der Assistenzsysteme signifikant verbessert werden. Allerdings haben die Probanden das Gefühl, dass sie sich bei der Fahrt mit der „optischen Unterstützung“ signifikant schlechter auf die Fahraufgabe konzentrieren können als mit der „haptischen“ oder der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“.

Die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ hat, im Vergleich zur Referenzbedingung, eine positive Auswirkung auf das empfundene Sicherheitsgefühl (siehe Abbildung 6.5-18 rechts). Werden die Probanden nur „optisch“ oder nur „haptisch“ unterstützt, hat dies, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, keinen Einfluss auf die wahrgenommene Sicherheit. Im paarweisen Vergleich wird die „optische Assistenz“, bezüglich der empfundenen Sicherheit, signifikant schlechter bewertet als die „haptische“ oder die kombinierte „optische und haptische“. Zudem werden bei der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ im Vergleich zur rein „haptischen Assistenz“ die empfundene Sicherheit und die wahrgenommene Abstandshaltgüte offensichtlich durch die zusätzlichen erklärenden optischen Rückmeldungen gesteigert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die subjektiven Probandenurteile gut mit den objektiven Messwerten übereinstimmen. Eine Ausnahme stellt jedoch die empfundene Spurhaltegüte dar. Dies liegt möglicherweise daran, dass der alleinige haptische Lenkeingriff oft gar nicht wahrgenommen wird, die Probanden aber dennoch besser die Spur halten. Bei der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ kommt zu dem haptischen Lenkeingriff noch das rote Dreieck, welches die Richtung zeigt, in der die Lenkkorrektur erfolgen soll. Möglicherweise werden dadurch Fehler in der Spurhaltung für die Probanden deutlicher wahrnehmbar, sodass sie diese trotz einer objektiv besseren Spurhaltegüte als schlechter empfinden.

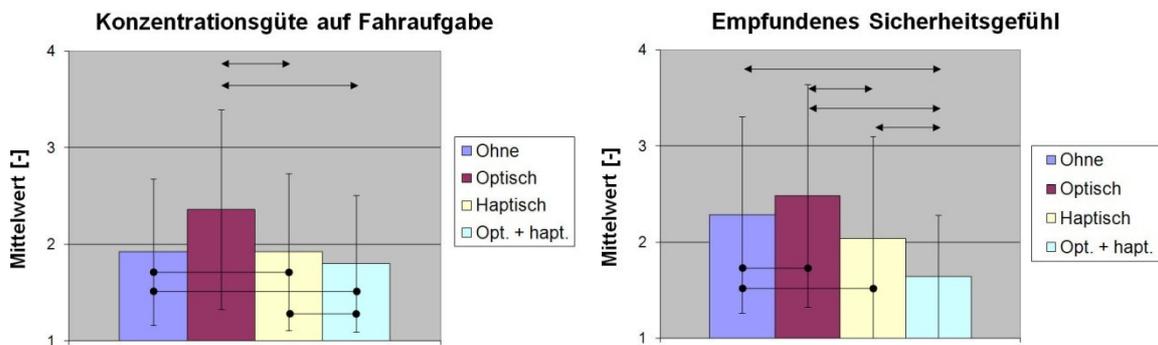


Abbildung 6.5-18: Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe und empfundenes Sicherheitsgefühl für das Fahren ohne Assistenz sowie mit „optischer“, „haptischer“ und „optischer und haptischer“ Assistenz

6.5.2.4.2 Empfundene Beanspruchung

Die empfundene Beanspruchung wird mittels des NASA TLX Fragebogens gemessen. Das Ergebnis der Befragung ist der so genannte Overall Workload Index OWI, der auf einer Skala von „0“ bis „100“ die subjektive Beanspruchung angibt. Dabei bedeuten hohe OWI-Werte eine hohe und niedrige OWI-Werte eine geringe Beanspruchung.

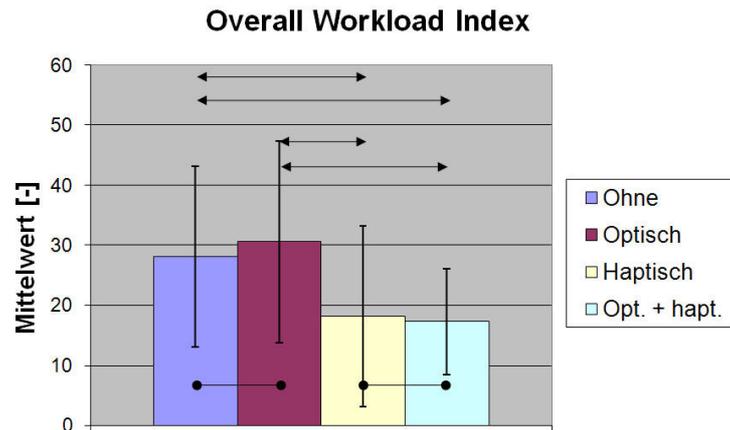


Abbildung 6.5-19: Mittels des NASA TLX Fragebogens ermittelter Overall Workload Index OWI in Abhängigkeit von der Unterstützungsart

Abbildung 6.5-19 stellt die empfundene Beanspruchung in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung dar. Die alleinige „optische Unterstützung“ hat demzufolge keinerlei Einfluss auf den Workload Index und kann somit den Fahrer nicht entlasten. Dagegen ergibt sich jedoch für die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ ein sehr positives Ergebnis. Beide Unterstützungsvarianten sind in der Lage, die empfundene Beanspruchung, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt und zur „optischen Assistenz“, signifikant zu verringern (α -Fehler jeweils $< 0,01$). Kein Unterschied besteht zwischen der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Unterstützung“.

6.5.2.4.3 Gefallen/Akzeptanz

Zur Erfassung des Gefallens- und Akzeptanzaspektes wird das semantische Differential verwendet. Bei diesem beurteilen die Testpersonen die Versuchsbedingungen anhand von sieben gegensätzlichen Adjektivpaaren. Das Ergebnis dieser Befragung ist in Abbildung 6.4-20 zu sehen.

Demnach liegt in allen Bewertungspunkten, eine Ausnahme bildet das Adjektivpaar sportlich – unsportlich, die „optische Assistenz“ nahezu gleichauf mit der nicht-assistierten Fahrt. All diese paarweisen Vergleiche ergeben ansonsten keine signifikanten Unterschiede. Lediglich der Vergleich bezüglich der empfundenen Sportlichkeit ergibt, dass das Fahren mit der „optischen Assistenz“ als signifikant unsportlicher empfunden wird als das Fahren ohne Unterstützung.

Das Ergebnis der Gefallensbewertung durch das semantische Differential ist somit, dass die alleinige „optische Assistenz“ in keinem der Punkte besser bewertet wird als die Referenzbedingung und zudem als deutlich unsportlicher empfunden wird. Anders stellt sich dies für die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ dar. Diese beiden Varianten werden zwar als weniger sportlich als die nicht-assistierte Fahrt, aber als deutlich einfacher, praktischer und komfortabler empfunden.

Betrachtet man die Verläufe der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ zeigt sich ebenfalls, dass diese in allen Bewertungspunkten nahezu gleiche Werte aufweisen. Der paarweise Vergleich der beiden Assistenzvarianten zeigt für kein weiteres der Adjektivpaare einen signifikanten Unterschied.

Semantisches Differential für Gefallen/Akzeptanz

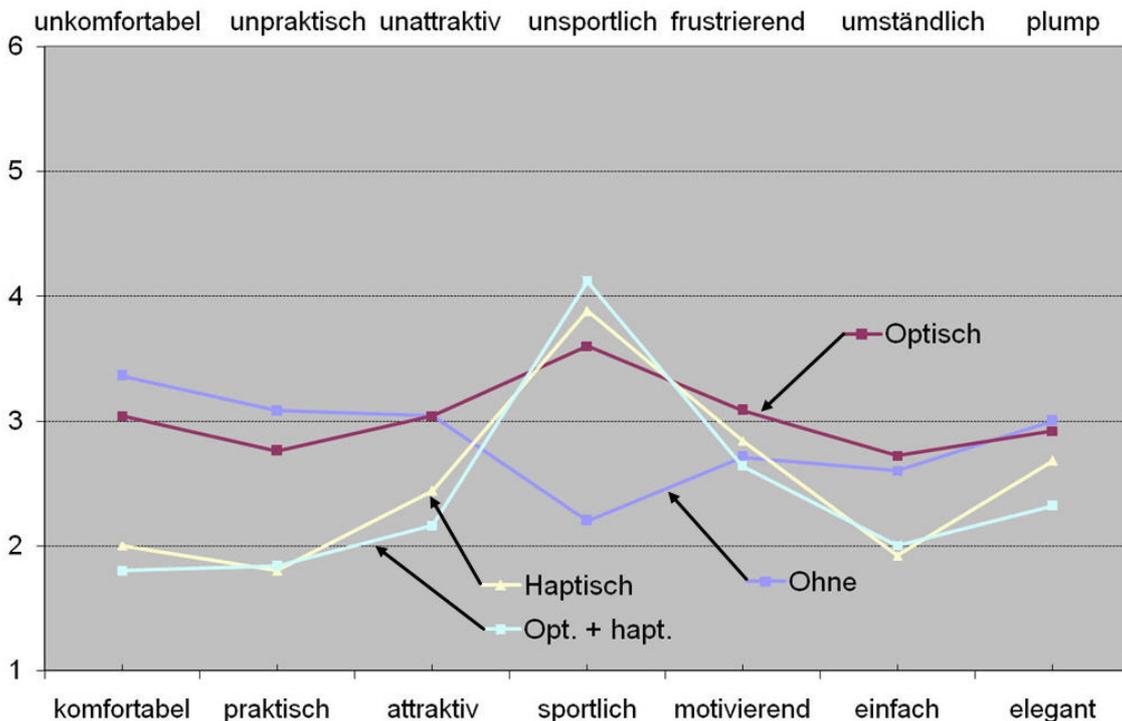


Abbildung 6.5-20: Resultat der Gefallensbefragung durch das semantische Differential

Anders stellt sich dies für die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ im Vergleich zur Referenzbedingung dar. Beide Assistenzvarianten werden als signifikant komfortabler, praktischer und einfacher, aber unsportlicher empfunden. Bezüglich der Adjektivpaare attraktiv – unattraktiv, motivierend – frustrierend und elegant – plump lassen sich statistisch keine überzufälligen Unterschiede nachweisen.

6.5.3 Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung

Im Rahmen der Ergebnisdiskussion wird zunächst auf die formulierten Hypothesen eingegangen, daraufhin werden die wichtigsten Erkenntnisse des Experimentes zusammengefasst.

Bezüglich der Geschwindigkeitshaltung wird die Nullhypothese $Fahr_1/H_0$ beibehalten, die annimmt, dass sich beim Fahren mit der „optischen Assistenz“ die Geschwindigkeitshaltungsgüte im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ nicht ändert. Wie sich zeigt, hat die alleinige „optische Assistenz“ keinerlei Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltungsgüte der Probanden. Dies deckt sich sehr gut mit den von Hogema *et al.* (1994) und Hogema *et al.* (1995) gefundenen Ergebnissen. Hier konnte für das Fahren mit einem ACC-System ebenfalls kein Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltungsgüte nachgewiesen werden, wenn nur die optische Information über die erlaubte Geschwindigkeit angezeigt wird. Erst als die Sollgeschwindigkeit automatisch für das ACC übernommen wurde, konnte eine signifikante Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeit erreicht werden.

Dagegen wird die Alternativhypothese $Fahr_2/H_1$ akzeptiert, die besagt, das Fahren mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ verändert die

Geschwindigkeitshaltung gegenüber der Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“. Dementsprechend haben die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Assistenz“, im Vergleich zur Referenzbedingung und zur „optischen Unterstützung“, auf alle zur Charakterisierung der Geschwindigkeitshaltegüte verwendeten Kennwerte einen signifikant positiven Einfluss.

Hinsichtlich der Abstandshaltung wird die Alternativhypothese Fahr_3/H₁, die postuliert, der kontaktanaloge Abstandsbalken bei der „optischen Assistenz“ verändert im Gegensatz zur Fahrt „ohne Assistenz“ die Abstandshaltegüte, akzeptiert. Der kontaktanaloge Balken hat zwar einen Einfluss auf die Abstandshaltung, jedoch wird durch ihn einerseits die Standardabweichung der TTC verringert, andererseits der Sekundenabstand und der Mittelwert der TTC bei Folgefahrt aber signifikant reduziert. Das hat allerdings keinen negativen Einfluss auf die Fahrsicherheit, aber auch keine Verbesserung zur Folge. Dieses Ergebnis steht zwar im Widerspruch zu dem von *Assmann (1985)* in einem Realversuch gefundenen Ergebnis, dass sich durch eine kontaktanaloge Abstandsanzeige die Sicherheitsabstände bei Kolonnenfahrt vergrößern. Diese Abweichung lässt sich jedoch verstehen, wenn man den in 6.5.2.1.2 bereits erläuterten Effekt von statischen Fahrsimulatoren auf die Abstandshaltung in die Betrachtung mit einbezieht.

Bei der Hypothese Fahr_4 zur Abstandshaltung wird die Nullhypothese beibehalten, die aussagt, dass durch die zusätzliche haptische Rückmeldung über einen korrekten Sicherheitsabstand bei der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“, im Vergleich zur „optischen“ und „ohne Assistenz“, die Abstandshaltung nicht beeinflusst wird. Mit der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ wird, wie man anhand der Kennwerte Minimum des Sekundenabstandes, Mittelwert und Minimum der TTC und der Time Exposed TTC erkennen kann, keine Verbesserung bei der Abstandshaltung herbeigeführt. Lediglich die Standardabweichung der TTC kann mit der kombinierten „optischen und haptischen Unterstützung“, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, verringert werden. Diese nicht nachweisbare Verbesserung der Abstandshaltung dürfte aller Wahrscheinlichkeit nach auch auf den in 6.5.2.1.2 erläuterten Effekt von statischen Fahrsimulatoren auf die Abstandshaltung zurückzuführen sein.

In guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Kapitel 6.4 wird die Alternativhypothese Fahr_5/H₁ angenommen. Sie besagt, wenn mit der „optischen Assistenz“ gefahren wird, dann verändert sich im Gegensatz zum nicht-assistierten Fahren die Spurhaltegüte. Wie die Untersuchung zeigt, hat die „optische Assistenz“ einen signifikant positiven Einfluss auf die Spurposition, das 15. Perzentil und den Median der TLC2.

Ebenso wird die Alternativhypothese Fahr_6/H₁ zur Spurhaltung akzeptiert. Sie postuliert: „wenn mit der haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann ändert sich gegenüber der Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“ die Qualität der Spurhaltung.“ Das Experiment lässt den Schluss zu, dass mit Hilfe der „haptischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ sowohl die Standardabweichung der Spurposition als auch das 15. Perzentil der TLC2, im Vergleich zur Referenzbedingung und der „optischen Assistenz“, nochmals positiv beeinflusst werden können. Dieser positive Einfluss eines aktiven Lenkrades auf die Spurführungsgüte steht in sehr guter Übereinstimmung mit den von *Marstaller et al. (2001)* und *Mann (2007)* gefundenen Ergebnissen.

Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Hypothesen wird bezüglich des Blickverhaltens die Nullhypothese Blick_1/H₀ beibehalten, die annimmt, die „optische“ und die „optische und haptische Assistenz“ haben im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt keinen Einfluss auf die visuelle Suchaktivität. Dies liegt an der bei der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ im HUD dargestellten Sollgeschwindigkeitssymbolik. Durch die erhöhten Blickabwendungen weg von der Fahrscene auf die Anzeige wird auch die visuelle Suchaktivität entsprechend erhöht und werden somit die Blickbindungseffekte der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße kompensiert (vgl. hierzu Kapitel 6.4 zur kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße).

Im Gegensatz zur ersten wird bei der zweiten Blickhypothese die Alternativhypothese Blick_2/H₁, die besagt, wenn mit der „haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann verändert sich im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt das Blickverhalten auf die Istgeschwindigkeitsanzeige, zumindest teilweise bestätigt. Der prozentuale Anteil der HUD Blicke kann zwar nicht im Vergleich zur Referenzbedingung reduziert werden, jedoch gegenüber der „optischen“ und der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“. Somit zeigt sich für Assistenzsysteme mit einer haptischen Schnittstelle zum Fahrer ein nicht unwichtiges Potential, unnötige Blickabwendungen von der Verkehrsszene zu vermeiden.

Bezüglich des Kraftstoffverbrauches wird die Nullhypothese Kraft_1/H₀ die postuliert, das Fahren mit der „optischen Assistenz“ beeinflusst im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ den Kraftstoffverbrauch nicht, beibehalten. Wie der Versuch zeigt, hat die „optische Assistenz“ weder eine Verringerung noch eine Erhöhung des Verbrauchs zur Folge.

Dagegen wird die Alternativhypothese Kraft_2/H₁ angenommen, die behauptet, durch die „haptische“ und die „optische und haptische Assistenz“ ändert sich im Vergleich zur Fahrt mit der „optischen“ oder „ohne Assistenz“ der Kraftstoffverbrauch. Es ergibt sich für die beiden Ausprägungen, bei denen die Probanden durch das aktive Gaspedal unterstützt werden, eine signifikante Reduzierung des Verbrauchs um 10,9% im Vergleich zu den beiden Versuchsbedingungen, bei denen ohne die haptische Assistenz gefahren wird.

Hinsichtlich der empfundenen Beanspruchung bestätigt sich die Alternativhypothese Bean_1/H₁, die vorgibt, wenn mit der „haptischen“ und der „optischen und haptischen Assistenz“ gefahren wird, dann ändert sich gegenüber dem Fahren mit der „optischen“ und „ohne Assistenz“ die empfundene Beanspruchung. Die Beanspruchungsmessung mittels des NASA TLX Fragebogens zeigt, dass der Overall Workload Index sowohl mit der „haptischen“ als auch mit der „optischen und haptischen Assistenz“ signifikant reduziert werden kann.

Ebenso kann die Alternativhypothese Gefal_1/H₁ angenommen werden, die besagt, die „haptische“ und die „optische und haptische Assistenz“ haben gegenüber dem Fahren „ohne Assistenz“ und der „optischen Unterstützung“ einen Einfluss auf die Akzeptanzbewertung. Wie die Gefallensbeurteilung durch das semantische Differential ergibt, werden die „haptische“ und die „optische und haptische Unterstützung“ als eindeutig einfacher, praktischer und komfortabler empfunden als die nicht-assistierte Fahrt und das Fahren mit „optischer Assistenz“.

Die hier vorgestellte Studie zeigt somit deutlich, welche Effekte eine unterstützende Fahrerassistenz, in Abhängigkeit von der Darstellungsart, auf die Kriterien Fahrperformance, Blickverhalten, Kraftstoffverbrauch, Beanspruchung und den

Gefallens- und Akzeptanzaspekt hat. Die Längsführung und die empfundene Beanspruchung können, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, nicht allein durch eine „optische Unterstützung“ verbessert werden. Bei den Probanden trifft diese Art der Unterstützung auch nur auf geringe Akzeptanz. Lediglich bei der Querführung lässt sich ein positiver Effekt auf die Spurhaltung erkennen.

Im Gegensatz dazu haben jedoch die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische Unterstützung“ sehr großes Potential. Durch diese Art der Fahrerunterstützung werden sowohl die Geschwindigkeits- und Spurhaltung als auch der Kraftstoffverbrauch und die Beanspruchung äußerst positiv beeinflusst. Die von den Fahrern empfundene Fahrleistung und der Gefallens- und Akzeptanzaspekt können auch deutlich gesteigert werden. Diese beiden Varianten liegen in allen Bewertungskriterien nahezu gleich auf, wobei sich für die kombinierte „optische und haptische Assistenz“ ein leichter Vorteil bei den objektiven Kennwerten zur Spurhaltung und bei der subjektiven Bewertung zur empfundenen Sicherheit und zur wahrgenommenen Abstandshaltung zeigt.

Somit bleibt festzuhalten, dass diese beiden Assistenzvarianten ein enormes Potential zur Erhöhung der aktiven Sicherheit, bei gleichzeitiger Akzeptanz durch den Fahrer, haben.

6.6 Vergleichende Untersuchung von ACC und aktivem Gaspedal

Dieser Abschnitt behandelt eine Untersuchung, in der zwei unterschiedliche Konzepte zur Unterstützung der Längsführung miteinander verglichen werden. Zudem wird jede der beiden Varianten den Probanden in zwei unterschiedlichen Ausprägungen hinsichtlich der optischen Rückmeldung dargestellt. Das Experiment soll klären, wie sich die unterschiedlichen Ausprägungen auf die Fahrleistung, das Blickverhalten, die empfundene Beanspruchung sowie den Akzeptanz- und Gefallensaspekt auswirken.

Bei dem ersten Konzept werden die Versuchspersonen durch das, in Kapitel 3.3 näher erläuterte, aktive Gaspedal bei der Längsführung unterstützt. Dabei wird den Probanden über einen spürbaren Druckpunkt am Gaspedal, die von ihnen über ein Bedienelement eingestellte Wunschgeschwindigkeit angezeigt, die sie einhalten, wenn sie ihren Fuß an dem Druckpunkt anlehnen. Befindet sich ein Fahrzeug näher als 150m vor dem Eigenfahrzeug, wird den Fahrern über den Druckpunkt ein Sicherheitsabstand von 1,8 Sekunden rückgemeldet. Bezüglich des angezeigten Sicherheitsabstandes muss angemerkt werden, dass dieser im Gegensatz zum vorherigen Versuch von 1,5s auf 1,8s vergrößert wurde, da die 1,5s von den Probanden im Fahrsimulator als zu gering empfunden wurden.

Das zweite Konzept ist das so genannte „Adaptive Cruise Control ACC“, das eine Teilautomatisierung der Längsführung darstellt und ebenfalls in Kapitel 3.3 detailliert beschrieben wird. Hier geben die Probanden lediglich die gewünschte Geschwindigkeit vor und das Fahrzeug stellt diese selbstständig, ohne weiteres Zutun des Fahrers, ein. Kommt ein Fahrzeug in den Erfassungsbereich von 150 Meter vor dem eigenen Fahrzeug, versucht das System einen Abstand von 1,8s einzuhalten.

Hinsichtlich der optischen Rückmeldung wird zwischen der symbolischen und der kontaktanalogen Anzeige des eingestellten Abstandes unterschieden. Bei der symbolischen Variante erfolgt diese anhand eines Symbols im HUD. Bei der zweiten Variante wird der eingestellte Abstand kontaktanalog auf der Straße, in Form eines dem eigenen Fahrzeug in der entsprechenden Entfernung vorherfahrenden Balkens, angezeigt.

Im Weiteren wird zunächst die Methodik vorgestellt, die im vorliegenden Versuch zur Anwendung kommt. Daraufhin werden die im Rahmen des Experiments gefundenen objektiven und subjektiven Ergebnisse aufgezeigt. Eine abschließende Zusammenfassung und Ergebnisdiskussion rundet das Kapitel ab.

6.6.1 Methodik

In diesem Unterkapitel wird die verwendete Versuchsmethodik näher erläutert, die sich weiter in das Probandenkollektiv, den Versuchsaufbau, die unabhängige und die abhängigen Variablen, die Versuchsdurchführung sowie die aufgestellten Hypothesen unterteilt

6.6.1.1 Probandenkollektiv

An der Untersuchung nehmen insgesamt 25 Probanden teil, 8 Frauen und 17 Männer. Das Durchschnittsalter der Versuchspersonen liegt mit einer Standardabweichung von 10,7 Jahren bei 39,5 Jahren. Das Altersspektrum reicht von 18 bis 62 Jahren. Das Probandenkollektiv umfasst Personen aus allen

Berufsbranchen sowie mit und ohne Technikinteresse. Wie in Kapitel 4 zur Versuchsmethodik und Statistik aufgeführt wird, benötigt man nach *Bubb (2003)* für statistisch abgesicherte Erkenntnisse aus Fahrversuchen eine Versuchspersonenanzahl, die größer oder gleich der Zahl an möglichen Permutationen der Versuchsvarianten ist. Diese Forderung wird, im Gegensatz zu den vorherigen Untersuchungen, im hier vorliegenden Experiment erstmals verletzt, da insgesamt fünf unterschiedliche Ausprägungen untersucht werden, so dass sich eine Probandenanzahl von mindestens 120 ergibt. Es ist jedoch leicht ersichtlich, dass eine solche Zahl an Probanden aus Kosten- und Zeitgründen für ein derart umfangreiches Simulatorexperiment nicht erreicht werden kann. Um dennoch die Versuchsdaten interferenzstatistisch auswerten zu können, wurde bei dem vorliegenden Experiment versucht, den Transfereffekt durch eine möglichst gute Durchmischung der Versuchsvarianten zu verringern.

6.6.1.2 Versuchsaufbau

Das Experiment findet an dem in Kapitel 3.2 detailliert beschriebenen statischen Fahr Simulator statt. Die nachfolgende Abbildung 6.6-1 zeigt die für den Versuch zur Verfügung stehende Datenbasis. Als Strecke wird der in der Abbildung rot hervorgehobene Autobahnring verwendet, den die Probanden im Uhrzeigersinn durchfahren. Ferner sind die neben der Strecke aufgestellten Verkehrszeichen abgebildet.

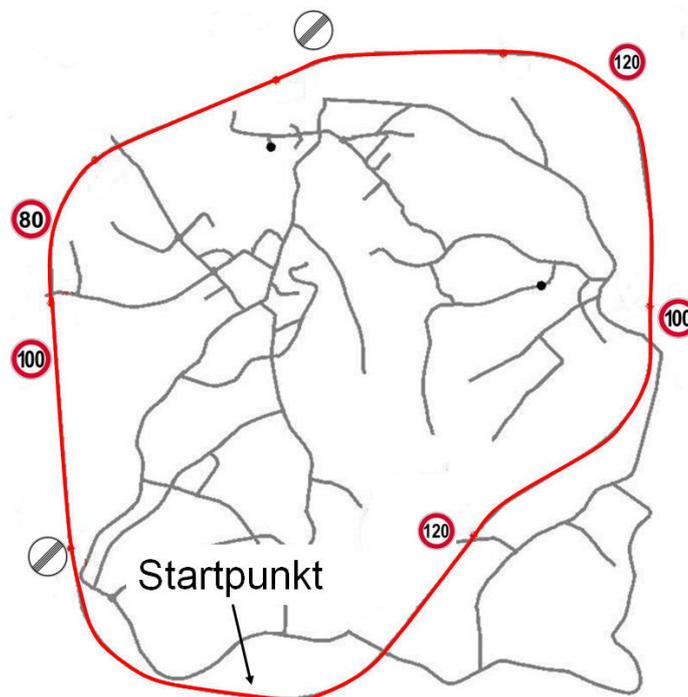


Abbildung 6.6-1: Birdview Darstellung der Versuchsstrecke mit in der Datenbasis verbauten Verkehrsschildern

6.6.1.3 Versuchsdesign

6.6.1.3.1 Unabhängige Variable

Bei dem vorliegenden Experiment erfährt jeder der Versuchsteilnehmer alle Versuchsbedingungen, sodass ein Versuchsdesign mit abhängigen Stichproben vorliegt. Die unabhängige Variable ist die Art der Fahrerunterstützung. Hierbei gibt es

die Fahrt ohne Assistenz sowie vier unterschiedliche Konzepte zur Unterstützung des Fahrers bei der Längsführung. Im Folgenden werden die insgesamt fünf Varianten, welche als „ohne Assistenz“, „AGP symb.“, „AGP kont.“, „ACC symb.“, und „ACC kont.“ bezeichnet werden, beschrieben. Die vier Assistenzsysteme verlangen, dass die Probanden die Wunschgeschwindigkeit jeweils selbstständig über ein Bedienelement einstellen (siehe Abbildung 6.6-3). Diese Wunschgeschwindigkeit dient dann für den jeweiligen Regler als Sollgröße, nach der, bei freier Fahrt ohne Vordermann, die Istgeschwindigkeit geregelt wird. An dieser Stelle ist es wichtig festzuhalten, dass das manuelle Setzen der Wunschgeschwindigkeit den gravierenden Unterschied zum vorhergehenden Experiment darstellt, bei dem die zu fahrende Geschwindigkeit automatisch vom Assistenzsystem vorgegeben wurde.

Ohne Assistenz

Die Fahrt „ohne Assistenz“ ist die Referenzbedingung des Experiments. Dort bekommen die Probanden lediglich die momentane Istgeschwindigkeit in digitaler Form im HUD angezeigt. Wie sich dies den Versuchsteilnehmern darstellt, ist in Abbildung 6.6-2 zu sehen.

Aktives Gaspedal mit symbolischer Anzeige „AGP symb.“

Diese Variante unterstützt den Fahrer bei der Längsführung über das aktive Gaspedal. Bei freier Fahrt ohne Vorderfahrzeug wird den Versuchspersonen die über das Bedienelement eingestellte Wunschgeschwindigkeit als haptisch spürbarer Druckpunkt sowie als digitale Zahl im HUD angezeigt. Befindet sich ein Fahrzeug im Erfassungsbereich des Abstandssensors, wird dies, wie in Abbildung 6.6-3 oben links gezeigt, über ein im HUD erscheinendes PKW-Symbol rückgemeldet. Dann wird nicht mehr auf die eingestellte Wunschgeschwindigkeit, sondern auf einen Sekundenabstand von 1,8s geregelt. Wegen der besseren Vergleichbarkeit der Versuchsbedingungen untereinander, kann dieser Sekundenabstand bei keiner der Assistenzvarianten von den Probanden verstellt werden.



Abbildung 6.6-2: Sicht des Fahrers bei der Fahrt ohne Assistenz

Aktives Gaspedal mit kontaktanaloger Anzeige „AGP kont.“

Im Gegensatz zur Variante „AGP symb.“ wird hier dem Fahrer der Sekundenabstand in Form eines kontaktanalogen, dem Fahrzeug vorausfahrenden, Balkens angezeigt (siehe Abbildung 6.6-3 unten links). Um die Detektion eines vorausfahrenden PKWs rückzumelden, wechselt der Balken, bei erkanntem Vorderfahrzeug, die Farbe von grün nach orange. Bis auf diesen Unterschied in der optischen Rückmeldung sind die beiden „AGP-Varianten“ regelungstechnisch identisch.

ACC mit symbolischer Anzeige „ACC symb.“

Im Gegensatz zu den beiden Ausprägungen mit dem aktiven Gaspedal, regelt das Fahrzeug bei der Variante „ACC symb.“, völlig ohne Zutun des Fahrers, auf die über

das Bedienelement eingestellte Wunschgeschwindigkeit. Ebenso versucht der ACC-Regler bei Folgefahrt völlig selbstständig einen Abstand von 1,8 Sekunden einzustellen. Wie auch schon bei der Variante „AGP symb.“ wird bei „ACC symb.“ die Detektion eines Vorderfahrzeuges über ein PKW-Symbol, wie in Abbildung 6.6-3 oben rechts dargestellt, rückgemeldet. Allerdings hat der Fahrer jederzeit über eine Betätigung des Gaspedals die Möglichkeit, das Reglerverhalten zu überstimmen. Ein Drücken des Bremspedals deaktiviert das System.

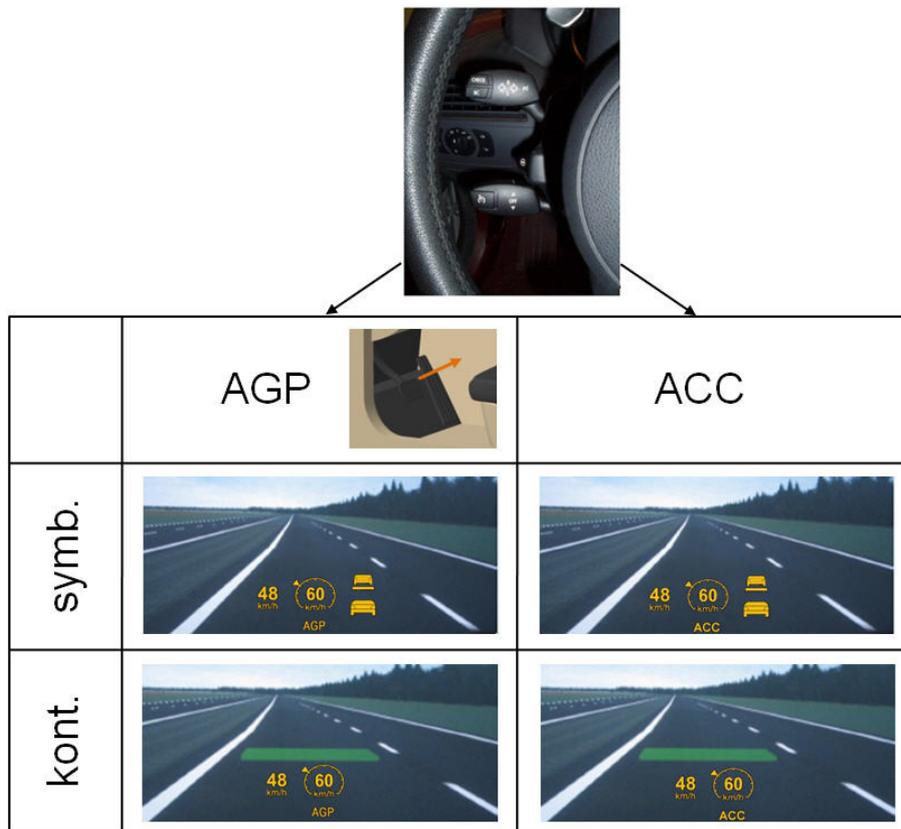


Abbildung 6.6-3: Die vier unterschiedlichen Assistenzvarianten „AGP symb.“, „AGP kont.“, „ACC symb.“, und „ACC kont.“

ACC mit kontaktanaloger Anzeige „ACC kont.“

Den Probanden wird hier, wie schon bei der Variante „AGP kont.“, der Sekundenabstand über einen kontaktanalogen, dem Fahrzeug vorausfahrenden, Balken dargestellt, der, bei erfolgreicher Detektion eines Vorderfahrzeuges, die Farbe von grün nach orange wechselt (siehe Abbildung 6.6-3 unten rechts). Das Reglerverhalten bei der Geschwindigkeits- bzw. Abstandsregelung ist jedoch völlig identisch mit der Ausprägung „ACC symb.“.

6.6.1.3.2 Abhängige Variablen

Um den Einfluss der Assistenzkonzepte auf die Fahrperformance, das Blickverhalten, die Fahrerbeanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt nachzuweisen, dienen die abhängigen Variablen. Eine genaue Beschreibung der hierfür verwendeten Kennwerte kann in Kapitel 5 nachgelesen werden.

6.6.1.4 Versuchsablauf

Eine exakte Beschreibung des für alle Simulatorexperimente standardisierten Versuchsablaufes findet sich in Kapitel 6.3.1.4.

6.6.1.5 Hypothesen

Anhand der nachfolgenden Hypothesen wird der erwartete Einfluss der Assistenzvarianten auf die Fahrperformance, das Blickverhalten, die Beanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt beschrieben.

Fahrperformance:

Wie die Untersuchung in Kapitel 6.5 zeigt, hat die Unterstützung des Fahrers beim Einhalten der erlaubten Geschwindigkeit einen äußerst positiven Effekt auf die Geschwindigkeitshaltegüte. Da auch beim vorliegenden Versuch eine ähnliche Unterstützung stattfindet, sollte sich der gleiche positive Einfluss wiederum ergeben. Zwischen der Ausführung mit dem aktiven Gaspedal und der Längsführungsübernahme durch das ACC sollte kein Unterschied bestehen, da hinter beiden Ausprägungen die identische Regellogik steckt. Hieraus leiten sich die folgenden Hypothesen zur Geschwindigkeitshaltegüte ab.

Fahr_1/H₀: Die Längsführungsunterstützung bei den vier Assistenzvarianten verändert die Geschwindigkeitshaltung im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ nicht.

Fahr_1/H₁: Das Fahren mit der Längsführungsunterstützung bei den vier Assistenzvarianten hat verglichen mit der zur Fahrt „ohne Assistenz“ einen Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltegüte.

Fahr_2/H₀: Die vier Assistenzvarianten unterscheiden sich bezüglich der Geschwindigkeitshaltung nicht.

Fahr_2/H₁: Zwischen den vier Assistenzvarianten besteht ein Unterschied in Bezug auf die Güte der Geschwindigkeitshaltung.

Die Regelvorgabe für die beiden FAS Regler bezüglich des einzuhaltenden Sollabstandes bei Folgefahrt wurde für dieses Experiment, aufgrund der Vorerfahrungen aus der Untersuchung in Kapitel 6.5, bewusst von 1,5s auf 1,8s vergrößert. Demnach sollte sich der auch schon von *Peters (1996)* in einem Simulator mit Bewegungssystem und von *Fancher & Ervin (1998)* in einem Realversuch positive Einfluss der Assistenzsysteme auf die Abstandshaltegüte ergeben. Wie schon bei der Geschwindigkeitshaltung dürfte jedoch zwischen dem aktiven Gaspedal und dem ACC kein Unterschied bestehen, da hinter beiden Darstellungsformen die gleiche Regelalgorithmik steht. Somit ergeben sich folgende Hypothesen zur Abstandshaltung.

Fahr_3/H₀: Die Unterstützung in der Längsführung bei den vier Assistenzvarianten verändert die Abstandshaltung im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ nicht.

Fahr_3/H₁: Wenn mit der Längsführungsunterstützung bei den vier Assistenzvarianten gefahren wird, dann hat dies im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ einen Effekt auf die Abstandshaltung.

Fahr_4/H₀: Die vier Assistenzvarianten unterscheiden sich bezüglich der Abstandshaltung nicht.

Fahr_4/H₁: Zwischen den vier Assistenzvarianten besteht ein Unterschied bezüglich der Abstandshaltegüte.

Die Experimente in den Kapiteln 6.4 und 6.5 zeigen, dass die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße einen positiven Einfluss auf die Spurhaltegüte hat. Diese Anzeige wird bei den Assistenzvarianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ verwendet, um den Probanden den Sollabstand rückzumelden. Daher sollte es bei diesen beiden Versuchsausprägungen, im Gegensatz zu den Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“, wiederum zu dem positiven Effekt auf die Querführung kommen. Daher kommt es zu folgenden Hypothesen zur Spurhaltegüte.

Fahr_5/H₀: Wenn mit den Assistenzvarianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“ gefahren wird, dann hat dies im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt keinen Einfluss auf die Querführung.

Fahr_5/H₁: Durch das Fahren mit den beiden Assistenzsystemen „AGP symb.“ und „ACC symb.“ verändert sich im Gegensatz zum nicht-assistierten Fahren die Spurhaltegüte.

Fahr_6/H₀: Das Fahren mit den beiden Assistenzvarianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ beeinflusst die Querführungsgüte gegenüber der nicht-assistierten Fahrt nicht.

Fahr_6/H₁: Wenn mit der Unterstützungsvariante „AGP kont.“ oder „ACC kont.“ gefahren wird, dann ändert sich im Gegensatz zur Fahrt „ohne Assistenz“ die Spurhaltegüte.

Blickverhalten:

Die Untersuchung in Kapitel 6.4 hat nachgewiesen, dass die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße zu einer Verringerung der visuellen Suchaktivität führt. Da diese Anzeigeform bei den Versuchsvarianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ eingesetzt wird, um den eingestellten Abstand darzustellen, sollte sich dieser Effekt bei den beiden Ausprägungen wieder einstellen. Zusätzlich wird bei diesen zwei Ausprägungen die kontaktanaloge Abstandsanzeige dazu verwendet, um den Probanden durch einen Farbwechsel des Balkens von Grün nach Orange rückzumelden, ob der Regler des Assistenzsystems das Vorderfahrzeug detektiert hat. Dadurch fallen im Vergleich zu den Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“ die Blicke auf die symbolische Abstandsanzeige im HUD weg, bei der anhand eines erscheinenden Fahrzeugsymbols kontrolliert werden muss, ob das vorausfahrende Fahrzeug vom FAS Regler erkannt wurde. Somit kommt es zu den nachstehend aufgeführten Hypothesen zum Blickverhalten.

Blick_1/H₀: Wenn mit den Varianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ gefahren wird, dann hat dies im Vergleich zum Fahren mit den restlichen Versuchsvarianten keinen Einfluss auf die visuelle Suchaktivität.

Blick_1/H₁: Das Fahren mit den Versuchsausprägungen „AGP kont.“ und „ACC kont.“ Verändert, verglichen mit den anderen Versuchsausprägungen, die visuelle Suchaktivität.

Blick_2/H₀: Durch das Fahren mit den Assistenzvarianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ wird im Vergleich zu den übrigen drei Varianten der Anteil der Blicke weg von der Fahrszene auf die Anzeige der Ist- und Sollgeschwindigkeit sowie auf den eingestellten Abstand nicht beeinflusst.

Blick_2/H₁: Wenn mit den Ausprägungen „AGP kont.“ und „ACC kont.“ gefahren wird, dann verändert sich gegenüber den Varianten „ohne Assistenz“, „AGP symb.“ und „ACC symb.“ der Anteil der Blicke weg von der Fahrszene auf die Anzeige der Ist- und Sollgeschwindigkeit sowie auf den eingestellten Abstand.

Beanspruchung:

Wie die Ergebnisse aus Kapitel 6.5 beweisen, führt die haptische Unterstützung zu einer signifikanten Abnahme der empfundenen Beanspruchung. Da das Fahren mit dem aktiven Gaspedal in der vorliegenden Untersuchung vergleichbar ist mit der Realisierung aus Kapitel 6.5, kann auch hier von einem Rückgang der Beanspruchung ausgegangen werden. Ebenso sollte es beim Fahren mit dem ACC zu einer Abnahme der Beanspruchung kommen, zumal dem Fahrer bei dieser höher automatisierten Form der Assistenz die Längsführungsaufgabe sogar völlig abgenommen wird. Das legt die Vermutung nahe, dass es durch die Unterstützung mit dem ACC noch zu einer weiteren Abnahme der Beanspruchung kommt, als es beim AGP schon der Fall ist. Allerdings muss bei der Längsführungsautomatisierung durch das ACC angemerkt werden, dass der Fahrer dann die monitive Tätigkeit der Überwachung des Automaten zu erledigen hat. Auf diesen Vermutungen beruhen die folgenden Hypothesen zur Beanspruchung.

Bean_1/H₀: Das Fahren mit den vier Assistenzvarianten hat im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt keinen Einfluss auf die Beanspruchung.

Bean_1/H₁: Wenn mit den Unterstützungsvarianten gefahren wird, dann verändert sich verglichen zur Fahrt „ohne Assistenz“ die empfundene Beanspruchung.

Bean_2/H₀: Durch das Fahren mit dem ACC ändert sich im Vergleich zur Fahrt mit dem AGP die empfundene Beanspruchung nicht.

Bean_2/H₁: Wenn mit den ACC-Ausprägungen gefahren wird, dann hat dies gegenüber dem Fahren mit den AGP-Varianten einen Einfluss auf die Beanspruchung.

Gefallen/Akzeptanz:

Im Gegensatz zum Fahren mit dem ACC ist der Fahrer bei den Varianten mit dem AGP aktiv in den Regelkreis eingebunden. Dadurch ist er in der Lage, jederzeit die Vorschläge des Reglers zu überstimmen und nach seinem eigenen Wunsch zu handeln. Beim ACC dagegen kann er die Handlungsausführung nur überwachen, aber nicht beeinflussen. Diese Möglichkeit zur Einflussnahme beim aktiven Gaspedal sollte zu einer höheren Akzeptanz des Systems führen, wodurch sich das nachstehende Hypothesenpaar ergibt.

Gefal_1/H₀: Durch das Fahren mit den beiden AGP-Varianten verändert sich im Vergleich zur Fahrt mit den ACC Varianten die Akzeptanzbewertung nicht.

Gefal_1/H₁: Wenn mit dem AGP gefahren wird, dann hat dies gegenüber dem Fahren mit dem ACC eine Auswirkung auf die Bewertung der Akzeptanz.

Die kontaktanaloge Rückmeldung des eingestellten Abstandes gibt dem Fahrer, im Gegensatz zur symbolischen Abstandsanzeige, die Möglichkeit, die Vorgaben bzw.

Handlungen des FAS Reglers zur Abstandshaltung ohne Umcodieraufwand zu überwachen. Diese Aufgabenvereinfachung müsste sich positiv auf die wahrgenommene pragmatische Qualität auswirken (siehe hierzu *Hassenzahl, 2003*) und somit zu einer Steigerung der Akzeptanz führen. Daraus leitet sich nachstehendes Hypothesenpaar ab.

Gefal_2/H₀: Die kontaktanaloge Darstellung des Abstandes hat im Vergleich zur symbolischen Anzeige keinen Einfluss auf die Akzeptanzbewertung.

Gefal_2/H₁: Durch das Fahren mit der kontaktanalogen Abstandsdarstellung ändert sich im Vergleich zur symbolischen Rückmeldung des Abstandes die Bewertung der Akzeptanz.

6.6.2 Ergebnisdarstellung

Im Anschluss werden die Ergebnisse des beschriebenen Experimentes vorgestellt. Hierbei wird zunächst die Wirkung der Assistenzvarianten auf die Fahrperformance behandelt. Diese unterteilt sich in die Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung. Daraufhin wird der Einfluss der Assistenzvarianten auf das Blickverhalten und die subjektive Empfindung eingegangen.

6.6.2.1 Fahrperformance

Die Bestimmung des Einflusses auf die Fahrperformance untergliedert sich in die Punkte Geschwindigkeits- und Abstandshaltung sowie in die Querführung.

6.6.2.1.1 Geschwindigkeitshaltung

Dieses Unterkapitel betrachtet die Auswirkung der Assistenzvarianten auf die Geschwindigkeitshaltegüte ein. Zunächst werden die Kennwerte mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, Standardabweichung der Geschwindigkeit, Prozentanteil von Überschreitungen der zulässigen Sollgeschwindigkeit um mehr als 10 km/h, maximale Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit und anfängliche Geschwindigkeitsüberschreitung über alle Geschwindigkeitsbereiche betrachtet.

In Abbildung 6.6-3 links ist die mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Versuchsbedingung dargestellt. Hier wird deutlich, dass sich mit allen Assistenzvarianten, bis auf das aktive Gaspedal mit symbolischer Anzeige, die mittlere Differenz im Vergleich zur Referenzbedingung signifikant erhöht (α -Fehler jeweils $< 0,05$). Unter den Assistenzvarianten besteht kein nachweisbarer Unterschied bezüglich der mittleren Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit. Dies bedeutet zunächst, dass die Probanden mit den Assistenzsystemen im Mittel schneller fahren als bei der nicht-assistierten Fahrt.

Hinsichtlich der in Abbildung 6.6-3 rechts gezeigten Standardabweichung der Geschwindigkeit, lässt sich über alle Bereiche mit konstanter Sollgeschwindigkeit für das Fahren mit den beiden ACC Varianten, im Gegensatz zur Referenzbedingung und den beiden AGP-Ausprägungen, eine signifikante Abnahme feststellen (α -Fehler jeweils $< 0,001$). Das Fahren mit dem aktiven Gaspedal ist dagegen, im Vergleich zur Referenzbedingung, nicht in der Lage, die Standardabweichung der Geschwindigkeit herabzusetzen.

Die Assistenzvarianten haben, ebenso wie bei der mittleren Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit (siehe Abbildung 6.6-4 links), keinen positiven Effekt auf den prozentualen Anteil, zu dem die erlaubte Geschwindigkeit

um mehr als 10 km/h überschritten wird. Dieser Kennwert wird, über alle Geschwindigkeitsbereiche gesehen, von den Assistenzvarianten sogar tendenziell erhöht, was allerdings nur für das aktive Gaspedal mit kontaktanaloger Abstandsanzeige signifikant ist.

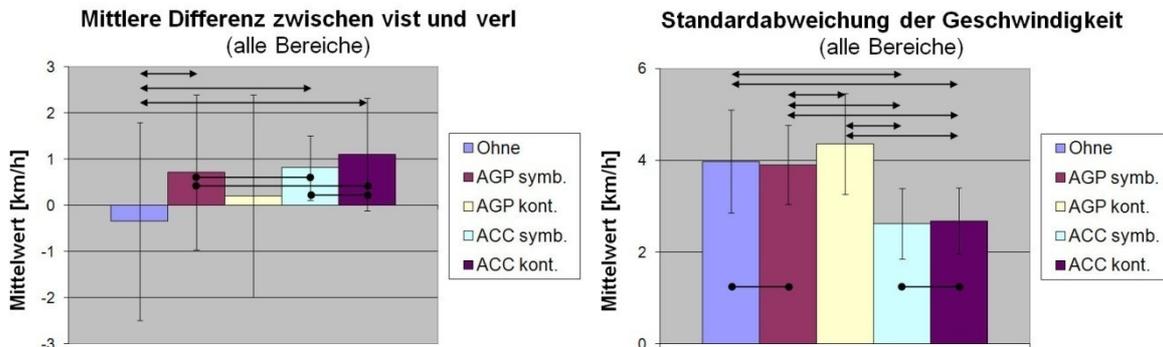


Abbildung 6.6-3: Mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit sowie Standardabweichung der Geschwindigkeit über alle Geschwindigkeitsbereiche

Es stellt sich auch kein positiver Einfluss der Assistenzvarianten auf die maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit ein (siehe Abbildung 6.6-4 rechts). Dieser Kennwert wird analog zu dem prozentualen Anteil, zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten, wird von allen Assistenzbedingungen tendenziell sogar noch erhöht. Diese Zunahme lässt sich allerdings nur für das Fahren mit dem aktiven Gaspedal mit symbolischer Abstandsrückmeldung signifikant nachweisen.

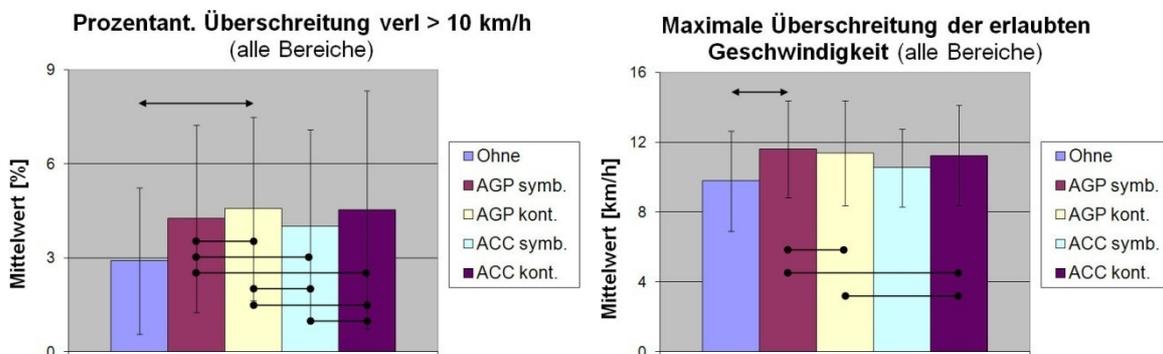


Abbildung 6.6-4: Prozentanteil, zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird und maximale Überschreitung der Geschwindigkeit über alle Geschwindigkeitsbereiche

Somit stehen die bisherigen Ergebnisse zur Geschwindigkeitshaltung in völligem Widerspruch zu den in Kapitel 6.5 gefundenen Resultaten. Dort wurden beim Fahren mit dem aktiven Gaspedal die Kennwerte mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, Standardabweichung der Geschwindigkeit, Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird und maximale Überschreitung der Geschwindigkeit signifikant verbessert.

Warum diese Abweichung auftritt, wird nachstehend erörtert. Betrachtet man das in Abbildung 6.6-5 gezeigte Ergebnis zur Geschwindigkeitsüberschreitung bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit, sieht man, dass die Probanden mit

allen Assistenzvarianten durchschnittlich mit 15 km/h Geschwindigkeitsüberschuss signifikant schneller in den neuen Geschwindigkeitsbereich einfahren als mit der Referenzbedingung (α -Fehler jeweils $< 0,001$). Mit dieser fahren sie lediglich mit ca. 8 km/h Geschwindigkeitsüberschuss in den neuen Bereich ein. Dieses Resultat für die Referenzbedingung deckt sich genau mit den Werten für die nicht-assistierte Fahrt in Kapitel 6.5. Dort konnte allerdings beim Fahren mit dem aktiven Gaspedal der Geschwindigkeitsüberschuss signifikant auf einen Wert von ca. 4 km/h reduziert werden. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass bei der Studie in Kapitel 6.5 die Sollgeschwindigkeit, automatisch und bezogen auf Sollgeschwindigkeitsherabsetzungen, vorausschauend am aktiven Gaspedal eingestellt wurde und bei dem vorliegenden Experiment vom Fahrer über das in Abbildung 6.6-3 dargestellte Bedienelement manuell gesetzt werden muss.

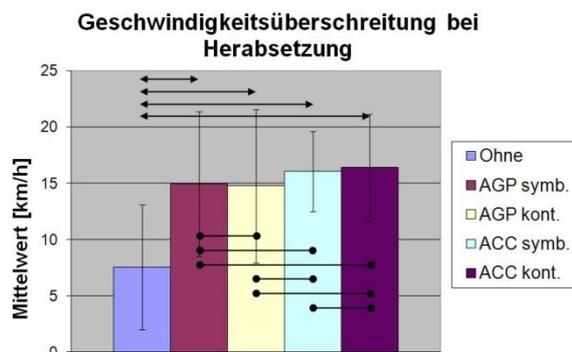
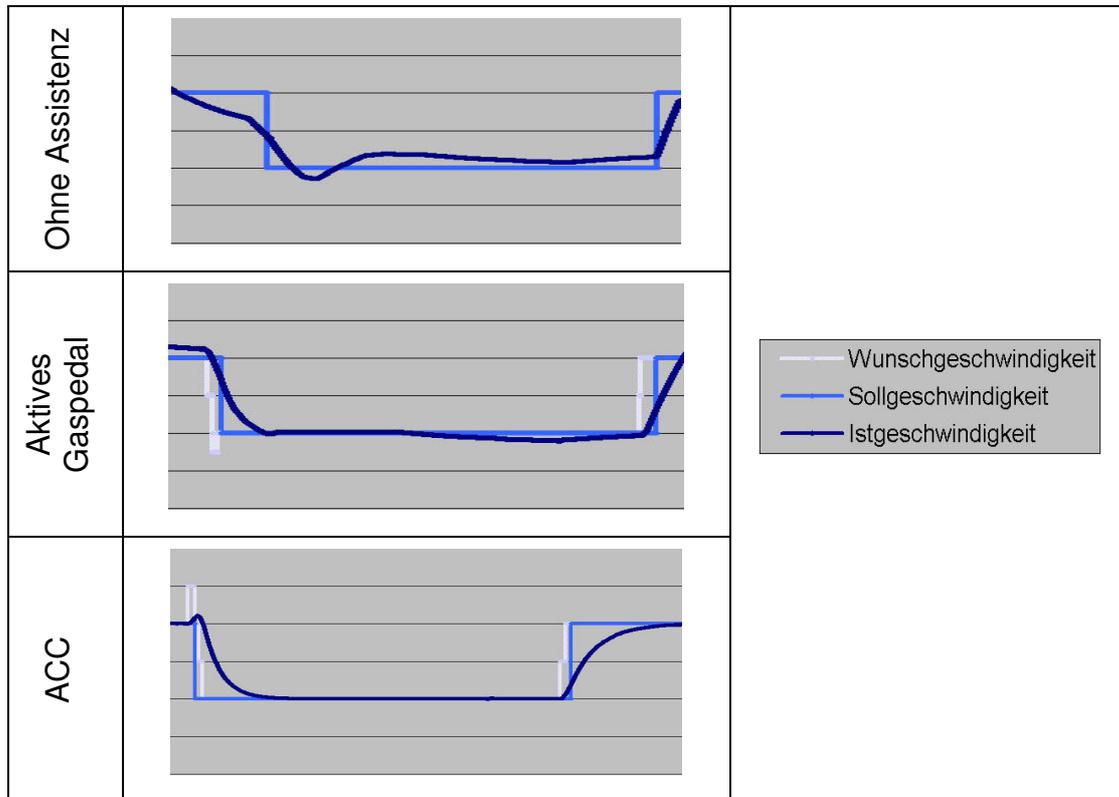


Abbildung 6.6-5: Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit

Betrachtet man den in Tabelle 6.6-1 dargestellten zeitlichen Verlauf von Ist-, Soll- und Wunschgeschwindigkeit für die Referenzbedingung und das Fahren mit AGP und ACC für den Bereich in und um Geschwindigkeitssenkungen sieht man, dass die Probanden durch das manuelle Setzen der Wunschgeschwindigkeit in ihrer antizipatorischen Fähigkeit behindert werden. Beim Fahren ohne Assistenz braucht der Fahrer nach Erkennen der kommenden Geschwindigkeitsherabsetzung lediglich seinen Fuß vom Gaspedal zu nehmen und das Fahrzeug verliert aufgrund der Fahrwiderstandskräfte an Geschwindigkeit. Bei den Assistenzvarianten muss er dagegen, nach Erkennen der Situation, an das Bedienelement zum Einstellen der Wunschgeschwindigkeit greifen und diese neu setzen. Erst dann reagiert die Automatik auf die neuen Gegebenheiten und beginnt die Geschwindigkeit herabzusetzen bzw. den Druckpunkt am aktiven Gaspedal anzupassen. Durch diesen systembedingten Zeitverzug fahren die Probanden mit den Assistenzsystemen signifikant schneller in den neuen Geschwindigkeitsbereich ein. Dies hat natürlich, neben dem nachteiligen Einfluss auf die Geschwindigkeitsüberschreitung bei Herabsetzung der Sollgeschwindigkeit, auch die gezeigten negativen Auswirkungen auf die Kennwerte mittlere Differenz zwischen gefahrener und erlaubter Geschwindigkeit, Standardabweichung der Geschwindigkeit, Prozentanteil zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird und maximale Überschreitung der Geschwindigkeit.

Tabelle 6.6-1: Zeitlicher Verlauf von Ist-, Soll- und Wunschgeschwindigkeit für den Bereich in und um eine Geschwindigkeitssenke für die nicht-assistierte Fahrt sowie das Fahren mit AGP und ACC



Zu den soeben aufgezeigten Defiziten beim manuellen Setzen der Wunschgeschwindigkeit kommt noch ein weiteres sich negativ auswirkendes Problem hinzu. In Abbildung 6.6-6 ist der Verlauf von Ist-, Soll- und Wunschgeschwindigkeit sowie der Gaspedalstellung für das Fahren mit ACC über einen längeren Zeitabschnitt dargestellt. Wie man sehen kann, delegiert der Fahrer, nach anfänglicher eigener Durchführung des Beschleunigungsvorganges, die Längsregelung an das System und vergisst dabei völlig, die Wunschgeschwindigkeit an die herrschende Sollgeschwindigkeit anzupassen. Dadurch durchfährt er einen Streckenabschnitt, in dem eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 km/h gilt, durchweg mit 130 km/h und den darauf folgenden, für den eine Sollgeschwindigkeit von 80 km/h gilt, zur Hälfte mit 130 km/h. Ferner kann man erkennen, dass die Wunschgeschwindigkeit teilweise erst in die falsche Richtung verstellt wird, was eine Geschwindigkeitserhöhung anstatt einer Geschwindigkeitsreduktion zur Folge hat.

Eliminiert man jedoch bei der Bestimmung der Geschwindigkeitshaltegüte sämtliche Sollgeschwindigkeitssenken, ergibt sich für die Kennwerte Standardabweichung der Geschwindigkeit und maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit das in Abbildung 6.6-7 dargestellte Bild.

Beim Fahren mit den beiden ACC-Ausprägungen werden sowohl die Standardabweichung der Geschwindigkeit als auch die maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit, im Vergleich zur Referenzbedingung und zu den beiden AGP-Varianten, signifikant reduziert. Ebenso wird beim Fahren mit dem AGP mit der symbolischen Abstandsanzeige die Standardabweichung der Geschwindigkeit, im Vergleich zur Referenzbedingung, signifikant herabgesetzt. Hinsichtlich der

maximalen Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit verfehlen beide AGP-Varianten mit einem α -Fehler von jeweils 0,077 nur knapp das Signifikanzniveau. Ebenso hat das Eliminieren der Sollgeschwindigkeitssenken den Effekt, dass, der Prozentanteil, zu dem die erlaubte Geschwindigkeit um mehr als 10 km/h überschritten wird, bei allen Versuchsausprägungen auf einen Wert von unter einem Prozent fällt, wobei es zwischen den Varianten keinen signifikanten Unterschied gibt (siehe im Vergleich dazu Abbildung 6.6-4, wenn die Senken nicht eliminiert werden).

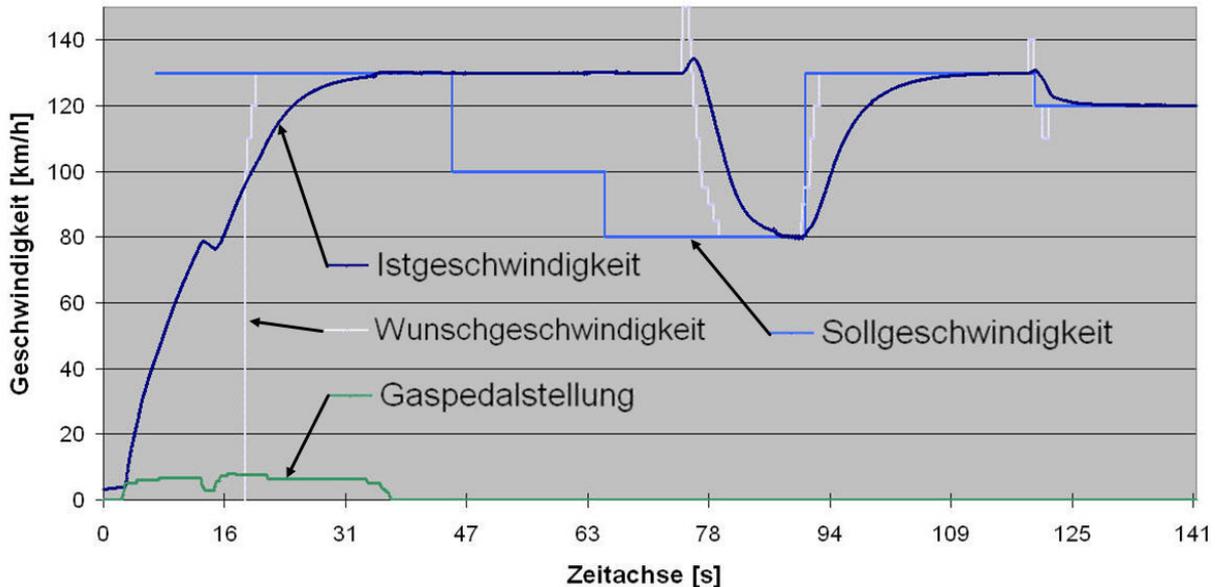


Abbildung 6.6-6: Zeitlicher Verlauf von Ist-, Soll- und Wunschgeschwindigkeit sowie der Gaspedalstellung für die Fahrt mit ACC

Zusammenfassend kann, über alle Geschwindigkeitsbereiche gesehen, kein positiver Einfluss der Assistenzvarianten festgestellt werden. Lediglich die Standardabweichung der Geschwindigkeit kann durch beide ACC-Ausprägungen signifikant verringert werden. Eine genauere Betrachtung der Stellen, an denen die Sollgeschwindigkeit herabgesetzt wird, zeigt jedoch warum die Assistenzvarianten keinen positiven Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltegüte haben. Dadurch, dass die Probanden bei den Assistenzsystemen die Wunschgeschwindigkeit manuell setzen müssen, fahren sie deutlich schneller in die Sollgeschwindigkeitssenken ein als bei der nicht-assistierten Fahrt. Dieser Effekt macht die Vorteile der Assistenzvarianten, die sich durch Eliminieren der Sollgeschwindigkeitssenken zeigen lassen, wieder zunichte.

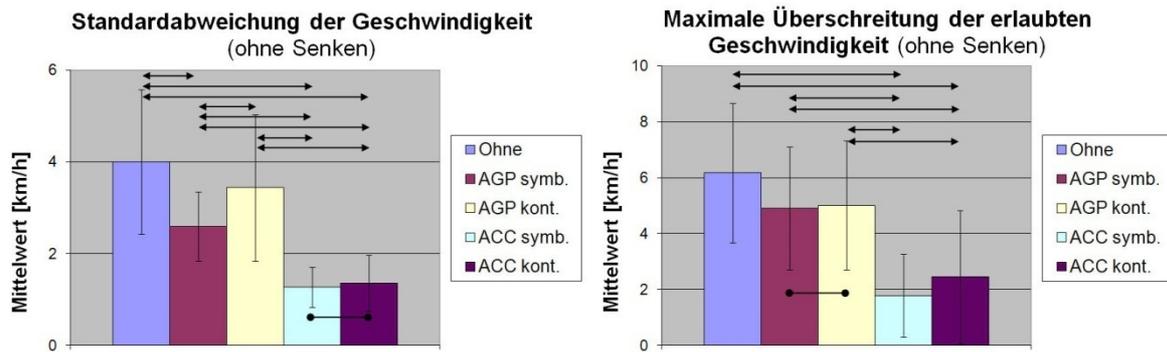


Abbildung 6.6-7: Standardabweichung und maximale Überschreitung der Geschwindigkeit ohne Sollgeschwindigkeitssenken

6.6.2.1.2 Abstandshaltung

Das folgende Unterkapitel behandelt den Einfluss der Assistenzvarianten auf die Abstandshaltung bei Folgefahrt. Hierzu werden die Größen mittlerer und minimaler Sekundenabstand, Mittelwert, Minimum und Standardabweichung der TTC und die Time Exposed TTC betrachtet. Die aufgeführten Kennwerte werden immer dann bestimmt, wenn der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug kleiner als vier Sekunden ist.

Abbildung 6.6-8 links zeigt das Ergebnis für den mittleren Sekundenabstand. Demnach hat keine der vier Assistenzvarianten einen Einfluss auf diese Kenngröße. Lediglich mit den beiden ACC-Varianten wird, im Vergleich zur Fahrt mit dem aktiven Gaspedal, teilweise ein geringerer Sekundenabstand gefahren. Das Ergebnis der beiden ACC- und AGP-Ausprägungen ist jeweils untereinander statistisch identisch. Das ist plausibel, da jedes Mal der gleiche Regelalgorithmus hinterlegt ist.

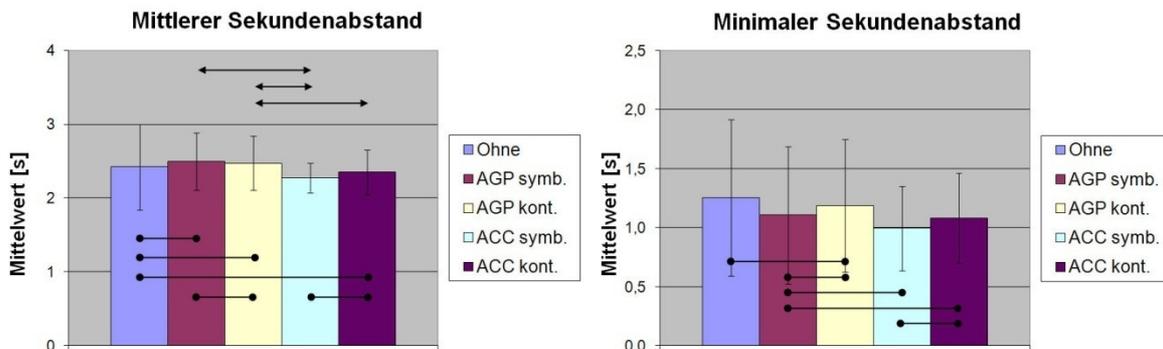


Abbildung 6.6-8: Mittlerer und minimaler Sekundenabstand für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner als vier Sekunden ist

Obwohl mit den beiden ACC-Versionen im Mittel teilweise dichter aufgefahren wird als mit den AGP-Ausprägungen, hat dies keinerlei negative Auswirkung auf den sicherheitskritischen minimalen Sekundenabstand (siehe Abbildung 6.6-8 rechts). Ebenso ergibt der Vergleich mit der Referenzbedingung hinsichtlich des minimalen Sekundenabstands bei Folgefahrt für alle vier Assistenzvarianten keine signifikanten Unterschiede.

Ein ähnliches Ergebnis wie für den minimalen Sekundenabstand ergibt sich auch, wie in Abbildung 6.6-9 zu sehen, für den Mittelwert und das Minimum der TTC.

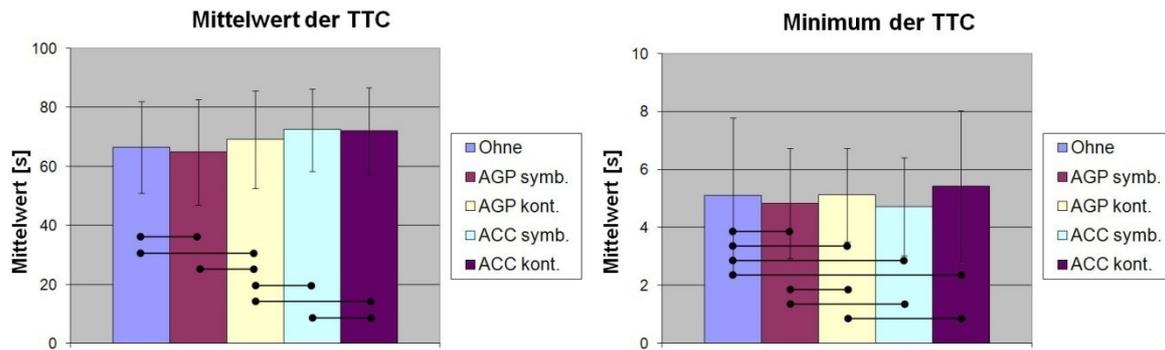


Abbildung 6.6-9: Mittelwert und Minimum der Time to Collision für Folgefahrten, bei denen der zeitliche Abstand kleiner als vier Sekunden ist

Hier lassen sich sowohl kein Einfluss der Assistenzvarianten, im Vergleich zur Referenzbedingung, als auch keine Unterschiede innerhalb der den Fahrer unterstützenden Systeme feststellen. Bei den meisten paarweisen Vergleichen liegt der α -Fehler weit über 0,25.

Der Vollständigkeit halber ist noch zu erwähnen, dass sich das gleiche Ergebnis, wie für den Mittelwert und das Minimum der TTC, auch für die Standardabweichung der Time to Collision und die Time Exposed TTC ergibt. Hinsichtlich dieser beiden Kennwerte lassen sich wiederum für alle vier Assistenzvarianten untereinander und im Vergleich zur Referenzbedingung keinerlei signifikante Unterschiede ausmachen.

Zusammenfassend lässt sich somit für die Abstandshaltung festhalten, dass sowohl die beiden AGP-Varianten als auch die zwei ACC-Ausprägungen, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, keinen Effekt auf die hier verwendeten Kennwerte haben. Auch gibt es innerhalb der vier Assistenzvarianten, mit Ausnahme des mittleren Sekundenabstandes bei Folgefahrt, ebenso keine signifikanten Unterschiede, was an dem für alle vier Ausprägungen stets gleichen Regelalgorithmus liegt. Der Unterschied beim mittleren Sekundenabstand kann darauf zurückgeführt werden, dass, im Gegensatz zu den ACC-Varianten, bei den beiden AGP-Ausprägungen der Fahrer die handlungsausführende Komponente ist und der Regler über den Druckpunkt lediglich einen Handlungsvorschlag macht.

Generell lässt sich wieder der schon in Kapitel 6.5 festgestellte und erläuterte Effekt von statischen Fahrsimulatoren auf die Abstandshaltung ausmachen. Im Gegensatz zu dem Experiment in Kapitel 6.5, gibt es bei der vorliegenden Studie, hinsichtlich des mittleren Sekundenabstandes, jedoch keine Unterschiede zwischen der Referenzbedingung und den Assistenzvarianten. Das liegt daran, dass der Soll-Sekundenabstand für die Regler der Assistenzsysteme, aufgrund des Vorwissens aus dem Versuch in Kapitel 6.5, von 1,5 auf 1,8 Sekunden vergrößert wurde. Der mittlere Sekundenabstand ist, bei Folgefahrt mit der Referenzbedingung aus dem vorliegenden Experiment, mit einem α -Fehler größer 0,25 identisch mit dem entsprechenden Wert des Experimentes in Kapitel 6.5. Somit ist als interessantes Nebenergebnis festzuhalten, dass die Kenngröße mittlerer Sekundenabstand eine, über verschiedene statische Simulatoren und unterschiedliche Streckenprofile hinweg, sehr gut vergleichbare Kenngröße ist.

6.6.2.1.3 Querführung

Im Folgenden wird die Auswirkung der Assistenzvarianten auf die Querführung behandelt. Hierzu werden die Kennwerte mittlere Spurposition sowie 15. Perzentil und Median der Time to Line Crossing näher untersucht.

In Abbildung 6.6-10 ist der Kennwert mittlere Spurposition in Abhängigkeit von der Versuchsbedingungen dargestellt. Es ergibt sich, analog zu den vorangegangenen Untersuchungen, eine generelle leichte Abweichung von der Spurmitte nach links, die jedoch mit durchschnittlich 10cm nicht mehr so stark ausfällt. Dies kann daran liegen, dass die Probanden bei den vorigen Experimenten auf einer einspurigen Landstraßenstrecke und bei dem vorliegenden Versuch auf einer zweispurigen Autobahn gefahren sind. Ein Effekt, der sich jedoch im Gegensatz zu den Studien zur Voranzeige der Bewegungsrichtung und zur Wirkung von optischer und haptischer Fahrerassistenz nicht reproduziert, ist die mittigere Spurposition bei der Fahrt mit der Balkenanzeige. Demnach müssten die Versuchspersonen bei den Varianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ weniger stark von der Spurmitte abweichen, was hier aber nicht der Fall ist. Allerdings fahren die Probanden unerwarteterweise mit der Variante „AGP symb.“ signifikant mittiger innerhalb der Spur als mit allen anderen Versuchsbedingungen (α -Fehler jeweils $< 0,05$). Unter den anderen Assistenzvarianten sowie für deren Vergleiche mit der Referenzbedingung gibt es keine signifikanten Effekte hinsichtlich der Spurposition. Dieses zunächst überraschende Ergebnis, das im Widerspruch zu den Erkenntnissen aus den Kapiteln 6.4 und 6.5 steht, wird im Folgenden durch die weitere Analyse der Spurhaltekennwerte erklärt.

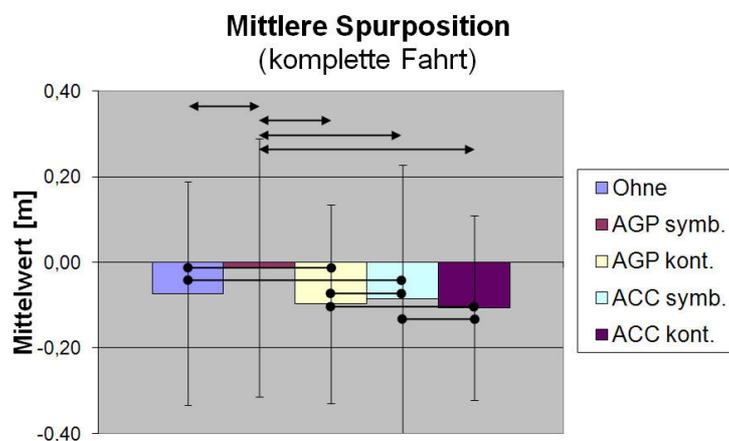


Abbildung 6.6-10: Mittlere Spurposition für die komplette Fahrt

Ein sehr interessantes Resultat liefern jedoch das 15. Perzentil und der Median der Time to Line Crossing, die in Abbildung 6.6-11 und 6.6-12 für die komplette Fahrt und für die Kurvenbereiche dargestellt sind. Demzufolge nehmen das 15. Perzentil und der Median der TLC2 bei der Fahrt mit den Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“, verglichen mit der Referenzbedingung, sowohl für die komplette Fahrt als auch für die Kurven signifikant ab.

Da die Probanden bei diesen Versuchsbedingungen über das AGP bzw. ACC lediglich bei der Längsregelung assistiert werden, bedeutet dies, dass die alleinige Unterstützung in der Längsführungsaufgabe eine Verschlechterung in der Querführung bewirkt. Dieser Effekt wurde auch schon von *Buld et al. (2002)* gefunden, bei deren Experiment die alleinige Assistenz in der Längsführung mittels

eines ACCs eine signifikante Verschlechterung der Spurführung zur Folge hatte. Dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach darauf zurückzuführen, dass der Fahrer die Führungsaufgabe als eine geschlossene Handlungseinheit sieht und nicht die technisch getroffene Trennung in Längsführung und Querführung vornimmt. Dies entspricht auch dem Bild von *Bubb (1993a)*, der die Fahraufgabe als eine einzige zweidimensionale Aufgabe charakterisiert. Diesem Modell entsprechend erwartet der Fahrer, sobald er in einem Teil der Führungsaufgabe unterstützt wird, intuitiv auch eine Assistenz im entsprechend anderen Bereich. Die Konsequenz dieser Erwartungshaltung ist offensichtlich eine Abnahme der Aufmerksamkeit für die komplette Führungsaufgabe, sobald in einem Teilbereich davon unterstützt wird. Daraus resultiert dann die gefundene Verminderung in der Leistung in dem nicht unterstützten Aufgabenteil.

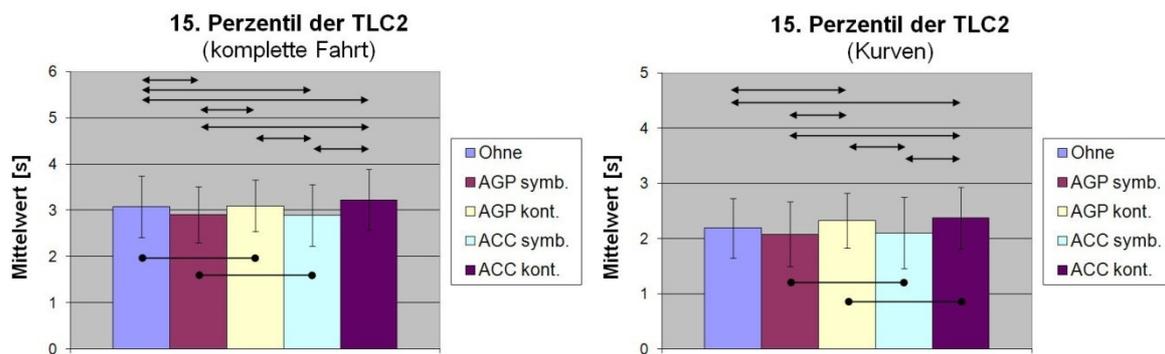


Abbildung 6.6-11: 15. Perzentil der Time to Line Crossing für die komplette Fahrt sowie in Kurven

Assistiert man jedoch dem Fahrer neben der Längsführung auch bei der Querführung, wie dies durch den kontaktanalogen Abstandsbalken in den Versuchsbedingungen „AGP kont.“ und „ACC kont.“ der Fall ist, entspricht die Querführungsgüte wieder dem Ausgangsniveau der Referenzbedingung. Somit gibt es zwischen der Referenzfahrt und den Assistenzvarianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ hinsichtlich des 15. Perzentils und des Median der TLC2 keine signifikanten Unterschiede. Als logische Konsequenz ist somit auch die Querführung mit den beiden Assistenzvarianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ signifikant besser als mit den Versionen „AGP symb.“ und „ACC symb.“ (α -Fehler jeweils $< 0,05$). Innerhalb der kontaktanalogen bzw. symbolischen Varianten gibt es dahingegen keinerlei signifikante Unterschiede bezüglich des 15. Perzentils und des Median der TLC2.

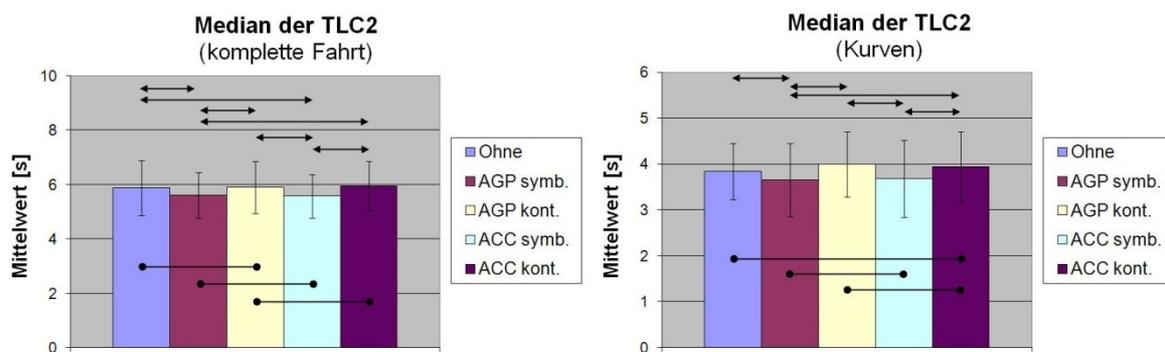


Abbildung 6.6-12: Median der Time to Line Crossing für die komplette Fahrt sowie in Kurven

Somit lässt sich zusammenfassend ein negativer Effekt der alleinigen Längsführungsassistenz durch die beiden Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“ auf die Querführung feststellen. Dadurch nehmen, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, sowohl das 15. Perzentil als auch der Median der TLC2 signifikant ab. Dies liegt offensichtlich daran, dass der Mensch die Führungsaufgabe als eine geschlossene Handlungseinheit betrachtet. Folglich hat die Assistenz in einem Teil davon eine entsprechende Aufmerksamkeitsreduzierung für die komplette Führungsaufgabe zur Folge. Als Konsequenz daraus nimmt die Leistung im nicht-unterstützten Bereich ab. Die Querführungsassistenz durch den kontaktanalogen Abstandsbalken bei den Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“ kompensiert jedoch diesen Effekt, so dass wieder die Spurhaltegüte der Referenzbedingung erreicht wird. Dieser Effekt, der sich ergibt, wenn der Fahrer inadäquat bei der Längs- und Querführung unterstützt wird, erklärt auch die nicht mit den vorhergehenden Untersuchungen in den Kapiteln 6.4 und 6.5 übereinstimmenden Werte für die mittlere Spurposition in Abbildung 6.6-10.

6.6.2.2 Blickverhalten

Wie bereits in der Untersuchung zum Einfluss von optischer und haptischer Fahrerassistenz in Kapitel 6.5, werden die Kennwerte visuelle Suchaktivität und prozentualer Anteil der HUD Blicke betrachtet, um den Einfluss der Assistenzsysteme auf das Blickverhalten zu bestimmen.

Abbildung 6.6-13, dass die beiden AGP-Varianten, im Vergleich zur Referenzbedingung, keinerlei Effekt auf die visuelle Suchaktivität haben. Diese Kenngröße wird dagegen sehr stark von den beiden ACC-Ausprägungen beeinflusst. Bei der Fahrt mit dem ACC mit der symbolischen Abstandsrückmeldung ist die visuelle Suchaktivität signifikant geringer als mit der Referenzbedingung und der Variante „AGP symb.“. Den größten Einfluss auf die visuelle Suchaktivität hat jedoch das ACC mit der kontaktanalogen Abstandsrückmeldung. Hier ist die visuelle Suchaktivität signifikant niedriger als mit allen anderen Versuchsbedingungen (α -Fehler jeweils $< 0,01$).

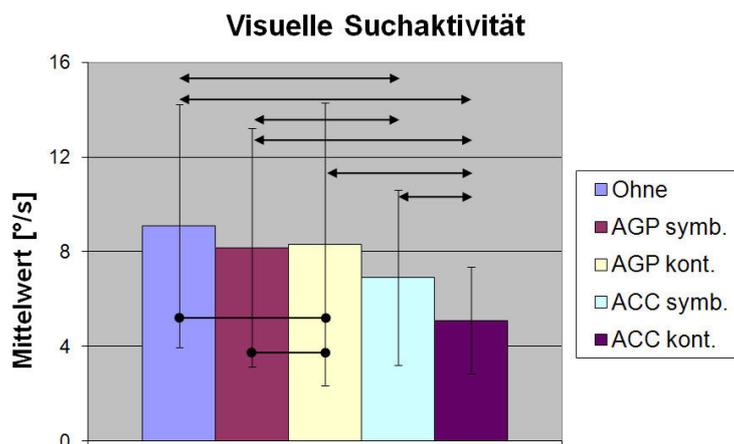


Abbildung 6.6-13: Visuelle Suchaktivität in Abhängigkeit von der Assistenzvariante

Geht man jedoch auf den Kennwert prozentualer Anteil der HUD Blicke, der in Abbildung 6.6-14 gezeigt ist, ein wird deutlich, warum die visuelle Aktivität mit der Versuchsbedingung „ACC kont.“ so stark abnimmt. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass mit der Variante „ACC kont.“, im Vergleich zu allen anderen

Ausprägungen, signifikant weniger auf die Informationen im HUD geblickt wird. Diese Reduzierung der Blickabwendungen hat die gefundene Abnahme der visuellen Suchaktivität zur Folge. Die Reduzierung der Blickabwendungen liegt zum einen daran, dass der Fahrer den Blick nicht in Richtung der Anzeige im HUD abwenden muss, um den Abstand und die Detektion des Vorderfahrzeuges zu überprüfen, da dies kontaktanalog auf der Straße rückgemeldet wird. Zum anderen muss nur selten die Übereinstimmung der Istgeschwindigkeit mit der Wunschgeschwindigkeit im HUD kontrolliert werden, da diese von der ACC-Automatik völlig selbstständig eingehalten wird. Somit muss der Fahrer nur dann auf das HUD zu blicken, wenn er eine neue Wunschgeschwindigkeit einstellt. Der positive Effekt der verringerten Blickabwendungen, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, lässt sich jedoch nicht für die Versuchsbedingung „AGP kont.“ nachweisen, obwohl bei dieser Ausprägung die Abstandsrückmeldung ebenso kontaktanalog erfolgt. Das liegt vermutlich daran, dass der Fahrer zum einen für das manuelle Einstellen der Wunschgeschwindigkeit auf das HUD blicken, zum anderen hin und wieder das korrekte Einhalten der gesetzten Wunschgeschwindigkeit kontrollieren muss. Er wird zwar bei der Einhaltung dieser Geschwindigkeit über das AGP unterstützt, ist aber dennoch die handlungsausführende Instanz. Bei der Ausprägung „AGP symb.“, bei der die Rückmeldung des eingestellten Abstandes und der Detektion des Vorderfahrzeuges symbolisch im HUD erfolgt, stellt sich sogar ein negativer Effekt ein. Der prozentuale Anteil der HUD Blicke nimmt bei dieser Variante, im Vergleich zu allen anderen Versuchsbedingungen, signifikant zu. Das ist darauf zurückzuführen, dass der Proband sowohl für den Einstellvorgang der Wunschgeschwindigkeit als auch für die Kontrolle der Istgeschwindigkeit und der erfolgreichen Detektion des Vorderfahrzeuges seinen Blick in Richtung des HUDs abwenden muss.

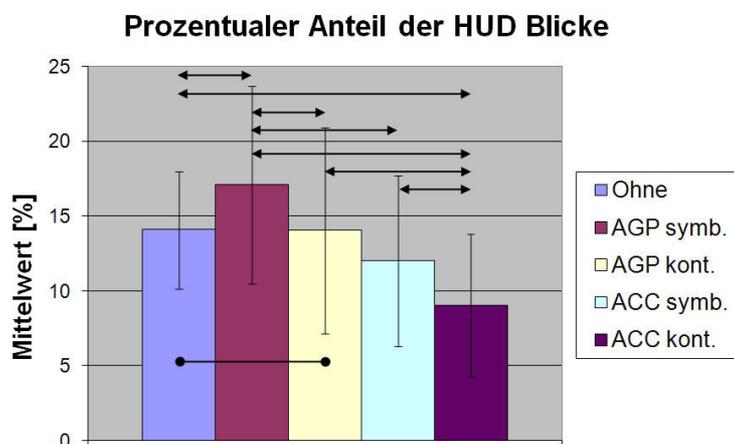


Abbildung 6.6-14: Prozentualer Anteil an Tachoblicken in Abhängigkeit von der Assistenzvariante

Zusammenfassend lässt sich somit ein negativer Effekt der Variante „AGP symb.“ auf das Blickverhalten feststellen, da damit die Versuchspersonen signifikant mehr von der Straße weg auf das HUD blicken als mit allen anderen Versuchsbedingungen. Dagegen hat das ACC mit kontaktanaloger Abstandsrückmeldung einen positiven Effekt auf das Blickverhalten, da es den prozentualen Anteil der Blicke weg von der Straße, im Vergleich zu allen anderen Ausprägungen, signifikant reduziert.

6.6.2.3 Subjektive Kennwerte

6.6.2.3.1 Empfundene Fahrperformance

Abbildung 6.6-15 links ist zu entnehmen, dass alle Assistenzvarianten einen signifikant positiven Einfluss auf die empfundene Geschwindigkeitshaltegüte haben. Ferner ist dieser subjektive Eindruck mit den beiden ACC-Ausprägungen jeweils signifikant besser als mit den beiden AGP-Ausführungen.

Hinsichtlich der wahrgenommenen Abstandshaltegüte ergibt sich, im Vergleich zur Referenzbedingung, nur eine signifikante Steigerung mit den ACC-Varianten (siehe Abbildung 6.6-15 rechts). Die Abstandshaltegüte beim Fahren mit den AGP-Ausprägungen unterscheidet sich nicht signifikant vom nicht-assistierten Fahren. Der Vergleich der AGP- mit den ACC-Realisierungen zeigt einen statistisch nachweisbaren Vorteil für die ACC-Version mit der kontaktanalogen Abstandsdarstellung. Von den Probanden werden sowohl die beiden AGP-Versionen als auch die zwei ACC-Darstellungen, wie schon bei der Geschwindigkeitshaltegüte, auch im Hinblick auf die Abstandshaltung gleich eingestuft.

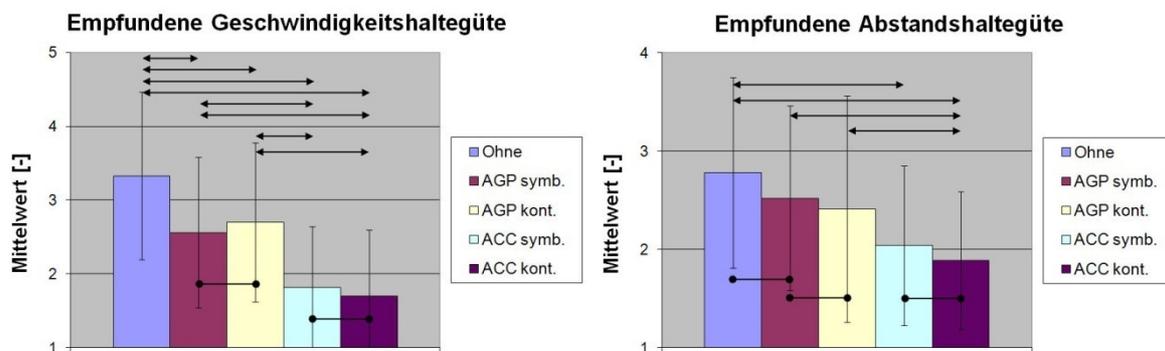


Abbildung 6.6-15: Empfundene Geschwindigkeits- und Abstandshaltegüte in Abhängigkeit von der Form der Assistenz

Die Frage nach der empfundenen Spurhaltegüte in Abhängigkeit der Versuchsbedingungen liefert das in Abbildung 6.6-16 links dargestellte Ergebnis. Demzufolge hat keine der Varianten einen Einfluss auf diesen Kennwert. Dieses Ergebnis ist insofern erschreckend, als den Versuchspersonen die schlechtere Spurhaltung mit den Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“ gar nicht auffällt.

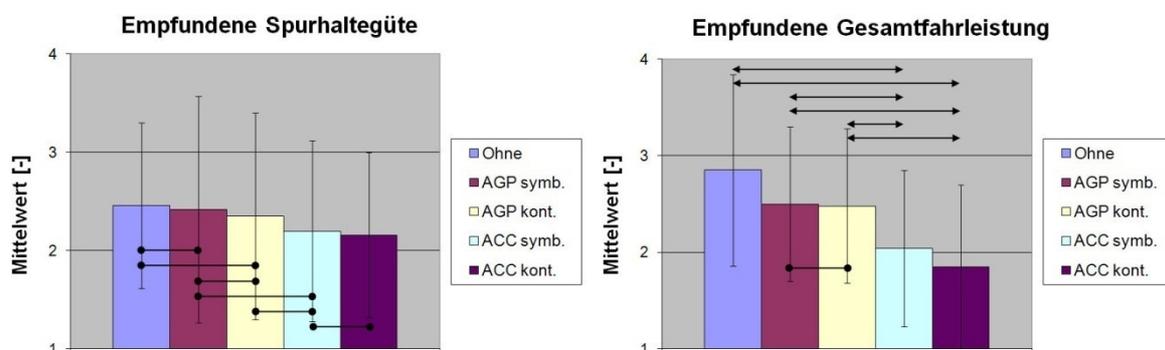


Abbildung 6.6-16: Empfundene Spurhaltegüte und Gesamtfahrleistung in Abhängigkeit von der Art der Unterstützung

Abbildung 6.6-16 rechts lässt erkennen, dass die Versuchsteilnehmer ihre Gesamtfahrleistung beim Fahren mit den beiden ACC-Versionen als signifikant besser empfinden als mit der Referenzbedingung. Beim Fahren mit den beiden AGP-Ausprägungen beurteilen die Probanden ihre Gesamtfahrleistung im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt zwar tendenziell als gesteigert, der Unterschied ist jedoch bei einem α -Fehler von knapp über 5%, bei dem festgelegten Signifikanzniveau nicht signifikant. Weiterhin bewerten die Versuchspersonen ihre Gesamtfahrleistung mit den beiden ACC-Lösungen signifikant besser als mit den zwei AGP-Varianten.

Hinsichtlich der in Abbildung 6.6-17 links dargestellten Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe, haben die Assistenzvarianten im Vergleich zur Referenzbedingung keinen Einfluss. Lediglich die Gegenüberstellung des Fahrens mit der Variante „ACC kont.“ und der Ausprägung „AGP kont.“ liefert einen signifikanten Vorteil für das ACC mit der kontaktanalogen Abstandsrückmeldung.

Anders stellt sich das Ergebnis beim empfundenen Sicherheitsgefühl dar (siehe Abbildung 6.6-17 rechts). Dieses kann vom ACC mit der kontaktanalogen Abstandsrückmeldung, verglichen mit der nicht-assistierten Fahrt, deutlich gesteigert werden. Ebenso wird es von dieser ACC-Ausprägung, im Gegensatz zu den beiden AGP-Varianten, signifikant verbessert. Die beiden AGP- und ACC-Darstellungen haben, wie auch bei der Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe, untereinander keine unterschiedlichen Auswirkungen auf das Sicherheitsgefühl.

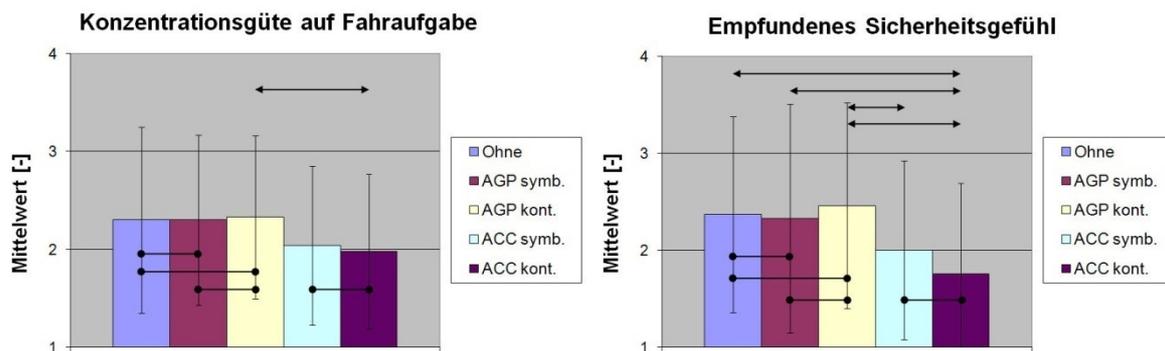


Abbildung 6.6-17: Konzentrationsgüte auf die Fahraufgabe und empfundenes Sicherheitsgefühl für das Fahren mit den verschiedenen Versuchsausprägungen

Zusammenfassend kann man sagen, dass die beiden ACC-Varianten einen positiven Einfluss auf die subjektive Probandenbewertung haben. Die empfundene Geschwindigkeits- und Abstandshaltung und die Gesamtfahrleistung werden, verglichen mit der nicht-assistierten Fahrt, signifikant verbessert. Zudem kann vom ACC mit kontaktanaloger Abstandsrückmeldung, im Vergleich zur Referenzbedingung, das Sicherheitsgefühl erhöht werden. Im Gegensatz dazu haben die beiden AGP-Ausprägungen nur einen signifikant positiven Einfluss auf die empfundene Geschwindigkeitshaltgüte. Eine signifikante Verbesserung des Gesamtfahrleistungseindrucks durch das AGP wird knapp verfehlt. Erschreckenderweise wird die objektiv gemessene Verschlechterung der Spurhaltegüte mit den beiden Versuchsbedingungen „AGP symb.“ und „ACC symb.“, im Vergleich zur Referenzbedingung, von den Probanden nicht erkannt.

6.6.2.3.2 Empfundene Beanspruchung

In Abbildung 6.6-18 ist das Resultat dieser subjektiven Probandeneinschätzung dargestellt. Der OWI wird sowohl vom ACC mit der symbolischen Abstandsanzeige als auch dem mit der kontaktanalogen Abstandsrückmeldung, im Vergleich zur Referenzbedingung und den beiden AGP-Ausprägungen, signifikant gesenkt. Die AGP-Lösungen haben dagegen im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt keine Verringerung des OWI zur Folge. Ebenso gibt es innerhalb der beiden AGP-Varianten und der zwei ACC-Realisierungen keine Unterschiede.

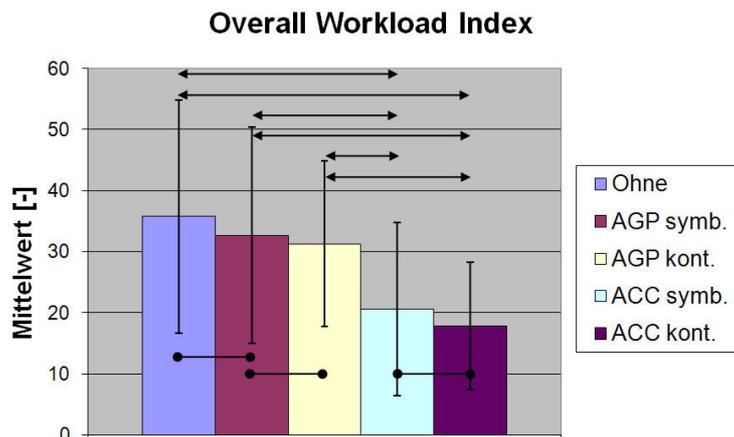


Abbildung 6.6-18: Mittels des NASA TLX Fragebogens ermittelter Overall Workload Index OWI in Abhängigkeit von der Unterstützungsart

6.6.2.3.3 Gefallen/Akzeptanz

Zur Erfassung des Gefallens- und Akzeptanzaspektes wird das semantische Differential verwendet. Hier bewerten die Testpersonen die Versuchsausprägungen mittels sieben gegensätzlicher Adjektivpaare. Das Ergebnis dieser Befragung ist in Abbildung 6.6-19 dargestellt.

Vergleicht man die Kennlinie der Referenzbedingung mit den entsprechenden Bewertungen der beiden vorhergehenden Untersuchungen, bei denen auch das semantische Differential verwendet wurde, erkennt man die sehr gute Übereinstimmung zwischen den unterschiedlichen Versuchsreihen mit zum Teil wechselnden Probanden.

Wie man den zwei Graphen der beiden unterschiedlichen ACC-Ausprägungen entnehmen kann, werden diese von den Testpersonen völlig identisch bewertet. Die ACC-Varianten unterscheiden sich in keinem der Bewertungspunkte signifikant voneinander. Anders stellt sich das für den Vergleich der ACC-Versionen mit dem nicht-assistierten Fahren dar. Dabei wird das ACC als komfortabler, praktischer, attraktiver und eleganter, jedoch unsportlicher, empfunden. Hinsichtlich der Punkte motivierend und einfach werden diese drei Versuchsausprägungen als gleichwertig gesehen. Die gleiche Ähnlichkeit der Verlaufsgraphen wie beim ACC, findet sich auch bei den AGP-Varianten, jedoch mit leichten Vorteilen für das aktive Gaspedal mit kontaktanaloger Abstandsrückmeldung. Die Ausprägung „AGP kont.“ wird dabei als komfortabler, praktischer und eleganter gesehen als die Ausführung „AGP symb.“. Hinsichtlich der anderen Punkte gibt es zwischen den zwei AGP-Darstellungsarten keinen Unterschied.

Der Vergleich der beiden AGP-Ausprägungen mit der Referenzbedingung ergibt, dass das aktive Gaspedal als weniger motivierend und unsportlicher empfunden wird als das nicht-assistierte Fahren. Die Variante „AGP symb.“ wird zudem als umständlicher wahrgenommen. Hinsichtlich der Adjektivpaare praktisch – unpraktisch, attraktiv – unattraktiv und elegant – plump gibt es dahingegen keine signifikanten Unterschiede. Lediglich beim Punkt Komfort wird das aktive Gaspedal mit kontaktanaloger Abstandsrückmeldung als komfortabler angesehen als das nicht-assistierte Fahren.

Semantisches Differential für Gefallen/Akzeptanz

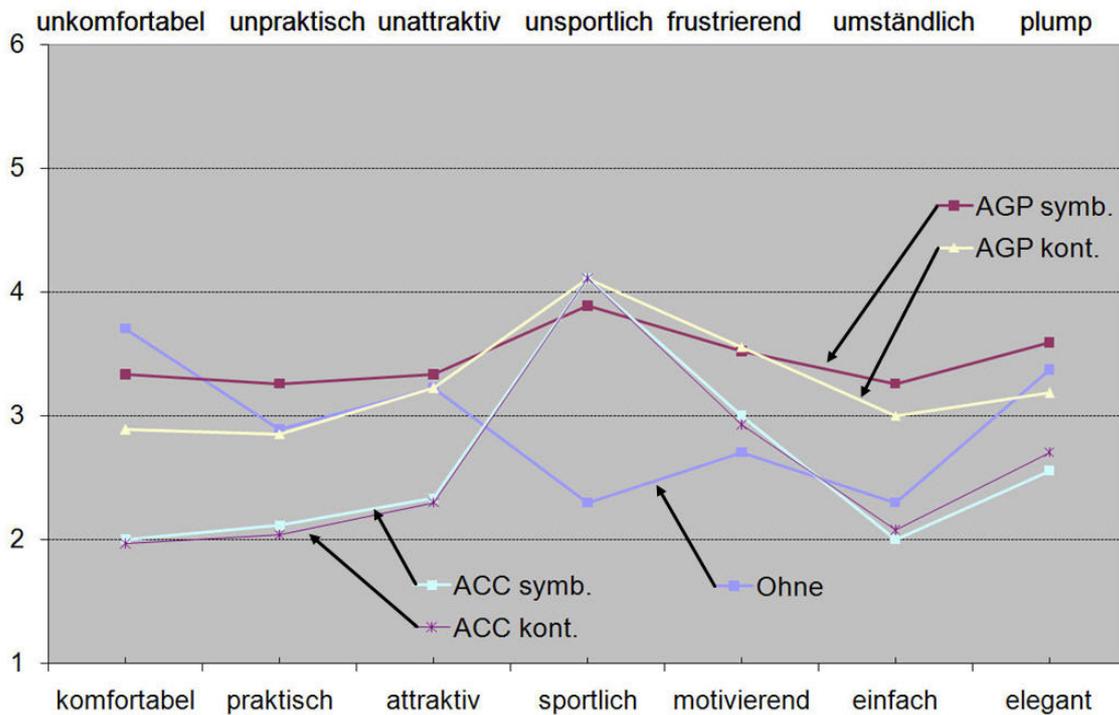


Abbildung 6.6-19: Ergebnis der Gefallens- und Akzeptanzbefragung durch das semantische Differential

Der Vergleich von aktivem Gaspedal und ACC ergibt, dass das ACC generell als signifikant komfortabler, praktischer, attraktiver, motivierender, einfacher und eleganter empfunden wird. Lediglich bezüglich der Sportlichkeit werden das AGP und das ACC als gleich unsportlich bewertet.

Zudem wird das bereits in Kapitel 6.5 gefundene Resultat, dass jede Form von Fahrerassistenz als unsportlich gesehen wird, auch in dieser Versuchsreihe bestätigt.

6.6.3 Hypothesenüberprüfung und Ergebniszusammenfassung

Nachstehend werden im Rahmen der Ergebnisdiskussion die anfangs aufgestellten Hypothesen behandelt und es wird nochmals kurz auf die wichtigsten Erkenntnisse des vorliegenden Experiments eingegangen.

Bezüglich der gefahrenen Geschwindigkeit wird die Nullhypothese Fahr_1/H₀, die behauptet, die Längsführungsunterstützung bei den vier Assistenzvarianten verändert die Geschwindigkeitshaltung im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ nicht, beibehalten. Wie sich zeigt, hat die Assistenz zunächst nur den negativen Effekt, dass die Geschwindigkeitsdifferenz bei Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit signifikant zunimmt. Das liegt daran, dass die Probanden durch das manuelle Setzen der Wunschgeschwindigkeit bei den Assistenzvarianten in ihrer antizipatorischen Fähigkeit behindert werden. Im Gegensatz zum normalen Fahren, bei dem die Probanden lediglich den Fuß vom Gaspedal nehmen müssen, um zu verzögern, müssen sie hier zusätzlich zum Erkennen der Situation dem System außerdem noch die neue Wunschgeschwindigkeit vorgeben. Eliminiert man jedoch bei der Betrachtung der Geschwindigkeitshaltung die Sollgeschwindigkeitssenken, die diesen negativen Effekt verursachen, ergibt sich bei den Kennwerten „Standardabweichung der Geschwindigkeit“ und „maximale Überschreitung der erlaubten Geschwindigkeit“ ein signifikanter Vorteil für die Assistenzvarianten. Somit lässt sich zwar kein genereller Vorteil der Assistenzsysteme feststellen, jedoch ist die Stellschraube identifiziert, an der gedreht werden muss, um diesen herbeizuführen.

Bei der zweiten Hypothese zur gefahrenen Geschwindigkeit wird die Alternativhypothese Fahr_2/H₁, die annimmt, zwischen den vier Assistenzvarianten besteht ein Unterschied in Bezug auf die Güte der Geschwindigkeitshaltung, angenommen. Zwar besteht bei den meisten Kennwerten kein Unterschied zwischen den Varianten, jedoch kann durch die beiden ACC-Ausprägungen die Standardabweichung der gefahrenen Geschwindigkeit signifikant reduziert werden.

Hinsichtlich der gehaltenen Abstände wird die Nullhypothese Fahr_3/H₀ beibehalten, die besagt, die Unterstützung bei der Längsführung bei den vier Assistenzvarianten verändert die Abstandshaltung im Vergleich zur Fahrt „ohne Assistenz“ nicht. Wie bewiesen, haben die vier Assistenzsysteme keinerlei Einfluss auf die Abstandshaltung. Das ist jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach auf den bereits in Kapitel 6.5 näher erläuterten Effekt von statischen Fahrsimulatoren auf die Abstandshaltung zurückzuführen.

Ebenso wird die Nullhypothese Fahr_4/H₀, die postuliert, die vier Assistenzvarianten unterscheiden sich bezüglich der Abstandshaltung nicht, beibehalten. Hinsichtlich der Kennwerte minimaler Sekundenabstand sowie Mittelwert und Minimum der Time to Collision gibt es keine Abweichungen innerhalb der Assistenzvarianten. Lediglich der mittlere Sekundenabstand bei Folgefahrt ist mit den ACC-Ausprägungen geringfügig reduziert.

In Bezug auf die Querführung wird die Alternativhypothese Fahr_5/H₁, die besagt durch das Fahren mit den beiden Assistenzsystemen „AGP symb.“ und „ACC symb.“ verändert sich im Gegensatz zum nicht-assistierten Fahren die Spurhaltegüte, akzeptiert. Es zeigt sich allerdings durch die beiden Versuchsausprägungen eine negative Auswirkung auf die Spurhaltegüte. Das ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf den von *Buld et al. (2002)* gefunden Effekt zurückzuführen, der bereits im Rahmen der Ergebnisdarstellung erklärt wurde.

Weiterhin wird zur Spurhaltung die Nullhypothese Fahr_6/H₀, die annimmt, das Fahren mit den beiden Assistenzvarianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“ beeinflusst die Querführungsgüte gegenüber der nicht-assistierten Fahrt nicht, beibehalten. Diese beiden Ausprägungen sind lediglich in der Lage, die Abnahme der Spurhaltegüte, die aufgrund des oben erläuterten Effekts auftritt, wieder so zu kompensieren, dass sie das Ausgangsniveau der nicht-assistierten Fahrt erreicht.

Bei der Betrachtung des Blickverhaltens werden die beiden Alternativhypothesen Blick_1/H₁ und Blick_2/H₁ angenommen, die behaupten, das Fahren mit den Versuchsausprägungen „AGP kont.“ und „ACC kont.“ verändert, verglichen mit den anderen Versuchsausprägungen, die visuelle Suchaktivität und beeinflusst den Anteil der Blicke weg von der Fahrszene auf die Anzeige der Ist- und Sollgeschwindigkeit sowie auf den eingestellten Abstand nur für das ACC mit kontaktanaloger Rückmeldung des Abstandes. Hierbei kommt es tatsächlich zu einer Abnahme der visuellen Suchaktivität und zu einer Verringerung des prozentualen Anteils an HUD Blicken. Das liegt erstens daran, dass der Fahrer zur Kontrolle des Abstandes und der erfolgreichen Detektion des Vorderfahrzeuges den Blick nicht in Richtung der Anzeige im HUD abwenden muss, da dies kontaktanalog auf der Straße dargestellt wird. Zweitens ist nur eine seltene Überprüfung der eingestellten Wunschgeschwindigkeit im HUD notwendig, da diese vom ACC völlig selbstständig eingeregelt wird. Aufgrund der Abnahme der Blicksprünge von der Fahrszene auf die Anzeigen im HUD geht als Folge auch die visuelle Suchaktivität zurück.

Ebenso kann die Alternativhypothese Bean_1/H₁, die postuliert, wenn mit den Unterstützungsvarianten gefahren wird, dann verändert sich verglichen zur Fahrt „ohne Assistenz“ die empfundene Beanspruchung, nur teilweise angenommen werden, da sie nur auf die beiden ACC-Varianten zutrifft. Beim Fahren mit den AGP-Ausprägungen ergibt sich entgegen der Erwartung kein signifikanter Rückgang des Overall Workload Index.

Dagegen bestätigt sich die Alternativhypothese Bean_2/H₁, die behauptet, wenn mit den ACC-Ausprägungen gefahren wird, dann hat dies gegenüber dem Fahren mit den AGP-Varianten einen Einfluss auf die Beanspruchung. Wie die Beanspruchungsmessung mittels der NASA TLX Methode zeigt, nimmt der Workload beim Fahren mit dem ACC, im Vergleich zur Fahrt mit dem aktiven Gaspedal, signifikant ab.

Die Betrachtung der Hypothesen zum Gefallen ergibt, dass die Alternativhypothese Gefal_1/H₁, die annimmt, wenn mit dem AGP gefahren wird, dann hat dies gegenüber dem Fahren mit dem ACC eine Auswirkung auf die Bewertung der Akzeptanz, zutrifft. Allerdings stellt sich das Ergebnis genau anders dar, als die theoretischen Überlegungen zum Gefallen bei der Hypothesenformulierung erwarten lassen. Das ACC wird im Vergleich zum AGP als komfortabler, praktischer, attraktiver, motivierender, einfacher und eleganter empfunden.

Bei der zweiten Hypothese zum Gefallen wird die Alternativhypothese Gefal_2/H₁, die postuliert, durch das Fahren mit der kontaktanalogen Abstandsdarstellung ändert sich im Vergleich zur symbolischen Rückmeldung des Abstandes die Bewertung der Akzeptanz, zwar nicht für die Varianten des ACC, jedoch aber für die des AGP angenommen. Dabei wird das aktive Gaspedal mit kontaktanaloger Abstandsrückmeldung als motivierender, praktischer und eleganter angesehen als die Ausführung „AGP symb.“

Zusammenfassend zeigt das vorliegende Experiment deutlich den Einfluss der beiden Konzepte AGP und ACC sowie der zwei jeweils unterschiedlichen Rückmeldevarianten für den eingestellten Abstand bei Folgefahrt auf die Kriterien Fahrperformance, Blickverhalten, Beanspruchung und den Gefallens- und Akzeptanzaspekt.

Es ergibt sich, dass die Geschwindigkeitshaltegüte sowohl mit dem AGP als auch mit dem ACC, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, nicht verbessert werden kann. Dies liegt an der Tatsache, dass das Einstellen der Wunschgeschwindigkeit über ein hinzukommendes Bedienelement für den Fahrer eine zusätzliche Programmieraufgabe darstellt, die zudem seinen natürlichen Antizipationsprozess negativ beeinflusst. An dieser Stelle muss jedoch angemerkt werden, dass die Verkehrszeichen innerhalb der Datenbasis in einem kürzeren Abstand aufgestellt wurden, als dies in der Realität der Fall ist. Dadurch dürfte der aufgezeigte Nachteil des manuellen Setzens der Wunschgeschwindigkeit im realen Straßenverkehr nicht so stark ins Gewicht fallen, wie er es in der vorliegenden Untersuchung tut.

Wie schon bei der Studie zur Wirkung von optischer und haptischer Fahrerassistenz in Kapitel 6.5 gezeigt, kann die Abstandshaltung durch die Assistenzsysteme nicht positiv beeinflusst werden. Dies ist auf den Effekt von statischen Fahrsimulatoren auf die Abstandshaltung zurückzuführen. Im Rahmen eines Realversuches ist, wie Studien von *Fancher et al. (1998)*, *Rothengatter & Heino (1994)* und *Brockmann (1995)* zeigen, eine positive Auswirkung der Assistenzsysteme auf die Abstandshaltung zu erwarten.

Bei der Querführung zeigt sich der bereits erläuterte Einfluss, dass die Spurhaltegüte bei alleiniger Assistenz in der Längsführung signifikant abnimmt. Erst durch eine zusätzliche Unterstützung der Spurhaltung durch die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße, bei den Varianten „AGP kont.“ und „ACC kont.“, kann diese negative Auswirkung wieder kompensiert werden.

Beim Blickverhalten zeigt sich der deutliche Vorteil der kontaktanalogen Anzeige des eingestellten Abstandes. Dadurch kann bei der Versuchsvariante „ACC kont.“ der Anteil der Blicke weg von der Fahrszene auf die Anzeigen im HUD signifikant reduziert werden.

Ferner haben die beiden ACC-Ausführungen eine Reduzierung der empfundenen Beanspruchung zur Folge. Dies zeigt sich in einem signifikant geringeren Overall Workload Index als bei den anderen Versuchsbedingungen. Damit geht die durch die Probanden sehr positive subjektive Bewertung der zwei ACC-Varianten einher. Diese werden sowohl hinsichtlich der empfundenen Fahrperformance als auch bezüglich des Gefallens- und Akzeptanzaspektes der nicht-assistierten Fahrt und dem aktiven Gaspedal vorgezogen.

Somit schneidet, über alle objektiven und subjektiven Kennwerte hinweg betrachtet, das ACC mit kontaktanaloger Abstandsrückmeldung am besten ab. Gegenüber dem ACC mit symbolischer Abstandsrückmeldung weist es deutliche Vorteile bei der Spurhaltegüte und beim Blickverhalten auf. Im Gegensatz zum AGP mit kontaktanaloger Abstandsanzeige überzeugt es aufgrund der Vorteile beim Blickverhalten und vor allem wegen der erheblich besseren Bewertung durch die Probanden. Sollte allerdings ein automatisches Setzen der Wunschgeschwindigkeit realisiert werden, hat das aktive Gaspedal mit der kontaktanalogen Abstandsrückmeldung gegenüber der entsprechenden ACC-Variante den Vorteil, dass dort der Mensch stets aktiv in den Regelkreis einbezogen bleibt.

7 Diskussion und Ausblick

Dieses Kapitel geht, nach einem kurzen Überblick über die für diese Arbeit gewählte Vorgehensweise zur Ermittlung und Umsetzung des Bedarfs an Fahrerassistenz, auf die durchgeführten Untersuchungen ein. Dabei werden die gefundenen Ergebnisse diskutiert und mit den theoretischen Forderungen aus Kapitel 2 abgeglichen. Daran schließt sich eine Betrachtung und Diskussion der gewählten Methode an. Nach der Erörterung, welches inhaltliche Forschungspotential es bzgl. des erarbeiteten Modells zur Erfüllung der Fahraufgabe auf der Führungsebene es zukünftig gibt, wird angesprochen, wie die kooperative Interaktionsmetapher für Fahrerassistenz auf andere Fahrzeugbedienkonzepte übertragen und dort sinnvoll erweitert werden kann.

In Kapitel 2 werden, ausgehend von einem Entscheidungsmodell auf der Fahrzeugführungsebene, die komplexen menschlichen Informationsaufnahme-, -verarbeitungs- und -umsetzungsprozesse, die zur korrekten Erfüllung der Fahraufgabe notwendig sind, vorgestellt und hinsichtlich ihrer Güte und Genauigkeit analysiert. Anhand dieser Überlegungen zeigt sich, dass der Fahrer bezüglich der Querführung beim Einschätzen der Querablage sowie bei der Prädiktion der zukünftigen Bewegungstrajektorie des Fahrzeuges unterstützt werden sollte. Sinnvoll ist aufgrund der Betrachtungen auch eine Assistenz, die ein ungewolltes Abkommen von der Fahrbahn verhindert. Die Analyse der Längsführung ergibt, dass dort, im Gegensatz zur Querführung, wo der Straßenrand und Objekte auf der Straße objektive Grenzen vorgeben, die Führungsgröße für die Regelung der Abstandes und der Geschwindigkeit nicht unmittelbar aus der Sicht abgeleitet werden kann. Daraus folgt die Forderung nach einer Anzeige für den einzuhaltenden Sollabstand und der zu fahrenden Sollgeschwindigkeit. Eine Auseinandersetzung mit der menschlichen Fähigkeit Entfernungen und Differenzgeschwindigkeiten zu schätzen ergibt bzgl. der Abstandshaltung, dass der Fahrer sicher an den einzuhaltenden Sollabstand herangeführt werden muss und er eine sofortige Rückmeldung benötigt, falls sich eine Geschwindigkeitsdifferenz zum vorausfahrenden Fahrzeug aufbaut. Die Betrachtung der Längsregelung zeigt, dass der Fahrer eine Voranzeige von Änderungen in der Sollgeschwindigkeit benötigt und dass die Rückmeldung über die aktuelle Istgeschwindigkeit zum ermüdungsfreien und schnellen Ablesen so nah wie möglich am zentralen Blickfeld erfolgen sollte. Ferner besteht der Bedarf nach einer Anzeige von relevanten Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen. Eine Analyse von Unfalldaten aus der GIDAS Datenbank stützt diesen theoretisch gefundenen Bedarf nach Fahrerassistenz bei der Wahl einer angepassten Geschwindigkeit und eines sicheren Abstandes sowie bei der Spurhaltung und der Situationseinschätzung.

Aufbauend auf einer Analyse der Marktsituation bei bereits vorhandenen Assistenzsystemen wird ein Lösungskonzept entwickelt, bei dem Fahrer und Assistenzsystem kooperativ über einen gemeinsamen Summenpunkt auf die Fahrzeugdynamik einwirken und der FAS Regler sein Handeln mittels optischer Rückmeldungen erläutert. Daraufhin wird auf der Grundlage des aktuellen Forschungsstandes im Bereich der Fahrerassistenzsysteme und ergonomischer Kenntnisse der Mensch-Maschine Interaktion abgeleitet, wie der aufgedeckte Bedarf an Fahrerassistenz mit dem kooperativen Interaktionskonzept dargestellt werden kann.

Mit Hilfe der in Kapitel 6 vorgestellten Experimente werden zunächst der identifizierte Assistenzbedarf abgesichert und einige offene Fragestellungen zur Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug Interaktion beantwortet, wodurch das kooperative Lösungskonzept

eine weitere Verfeinerung und Präzisierung erfährt, bevor es im Rahmen von zwei Studien einer abschließenden summativen Evaluierung unterzogen wird.

Die für die vorliegende Arbeit gewählte Vorgehensweise, auf Basis einer systemergonomischen Betrachtung der Fahraufgabe und unter Einbeziehung der kognitiven Fähigkeiten des Menschen den Bedarf an Fahrerassistenz abzuleiten liefert sehr gute Vorhersagen zum Unterstützungspotential. Ferner ist es möglich, durch die vorhandene Literatur im Bereich der Fahrerassistenzsysteme und unter der Berücksichtigung ergonomischer Erkenntnisse in der Mensch-Maschine Interaktion, Konzepte zur Deckung des Assistenzbedarfs zu entwickeln, die bereits ein sehr hohes Niveau haben. Dennoch sind entwicklungsbegleitende Experimente zur Absicherung und Lösungsauswahl notwendig. Erfolgt eine solche formative Evaluierung jedoch durch „Papier und Bleistiftuntersuchungen“, müssen deren Ergebnisse sehr vorsichtig interpretiert werden, da diese, wie gezeigt, teilweise stark von Resultaten differieren, die im Rahmen einer interaktiven Simulatoruntersuchung erzielt werden. Bei den Versuchen im Fahrsimulator hat es sich als positiv erwiesen, zur Bestimmung des Einflusses der Assistenzsysteme auf die Fahrleistung, das Blickverhalten, die empfundene Beanspruchung sowie den Akzeptanz- und Gefallensaspekt stets die gleichen Mess- und Kennwerte zu verwenden. Diese standardisierte Auswertung ermöglicht eine sehr gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse, die in den verschiedenen Experimenten gefunden wurden. Wie sich gezeigt hat, ist es auch unbedingt notwendig, zur Absicherung von Fahrerassistenzsystemen immer die Summe aus Fahrleistungs- und Fahrerhaltenskennwerten sowie der subjektiven Nutzereinschätzung zu betrachten. Wird zur Untersuchung eines Assistenzsystems beispielsweise nur die subjektive Probandenmeinung erfasst, kann dies zu falschen Schlüssen führen. Die vergleichende Untersuchung des aktiven Gaspedals mit dem ACC zeigt, dass die Versuchspersonen nur schlecht in der Lage sind, ihre Fahrleistung einzuschätzen. Sie erkennen ihre Verschlechterung in der Spurhaltung bei den Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“, von denen sie ausschließlich bei der Längsführung unterstützt werden, nicht. Ebenso reicht es auch nicht, nur die Fahrleistungskennwerte zu betrachten, da über diese die Vor- und Nachteile von Systemausprägungen nicht vollständig erfasst werden können. Ein Risiko bei der reinen Betrachtung der Fahrleistungskennwerte ist, dass danach möglicherweise eine Variante favorisiert wird, die zwar objektiv gemessen am besten abschneidet, aber von den Kunden nicht akzeptiert und somit auch nicht genutzt wird.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Simulatorergebnisse auf die Realität ergibt sich, dass dies für in der Simulation gefundene Abstandshaltemaße nicht möglich ist. Dafür können Blickkennwerte sehr gut über verschiedenste Simulationsgrade hinweg und auf die Realität übertragen werden. Der Vergleich der Blickdaten aus der Arbeit von *Thompson (2005)*, die im Rahmen einer Simulatoruntersuchung zur Bedienung von Fahrerassistenzsystemen gefunden wurden, mit den Ergebnissen von *Wohlfarter (2005)*, die bei einem Realversuch für ähnliche Bedienvorgänge und Aufgaben erzielt wurden, zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Es liegen sowohl die mittleren Blickabwendungsdauern als auch die maximalen Blickdauern weg von der Fahraufgabe auf dem gleichen Niveau.

Parallel zu den in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Versuchsreihen wurde ein Experiment zur Vergleichbarkeit von Usability Lab und Realversuch durchgeführt, dessen Ergebnisse in *Lange et al. (2006b)* veröffentlicht sind. Dabei wurde ein- und derselbe Versuch sowohl in der Realität als auch in der Laborumgebung

durchgeführt. Im Labor wurde als Fahraufgabe der so genannte Lane Change Task verwendet (siehe *Mattes, 2003*). Dieser ist eine Einfachfahrsimulation, bei der die Probanden auf einer langen dreispurigen Autobahn fahren. Über Verkehrsschilder am Straßenrand wird ihnen vorgegeben, auf welcher Spur sie fahren sollen. Es zeigt sich, dass sowohl die Ergebnisse zum Blickverhalten als auch die Resultate hinsichtlich der Bedienleistung sehr gut aus der Simulation auf die Realität übertragen werden können.

Ebenso stimmen Blickabwendungsdauern auf eine Geschwindigkeitsanzeige im HUD, die in der Fahrsimulation gefunden werden, sehr genau mit Werten aus dem Realfahrzeug überein. Dies zeigt ein Vergleich der mittleren Blickabwendungsdauern auf die Geschwindigkeitsanzeige im HUD, gemessen in der Simulation, mit den Ergebnissen, die *Gengenbach (1997)* im Realversuch erzielte.

Ein Nachteil, den die Absicherung im Fahrsimulator mit sich bringt ist, dass es sich immer nur um eine Untersuchung des ersten Kontaktes mit einem neuen Assistenzsystem handelt. Dadurch können die bei einer normalen Nutzung im Alltag auftretenden Lern- und Gewöhnungsprozesse nicht abgedeckt werden. Hierfür müsste eine Langzeituntersuchung im Realversuch durchgeführt werden (siehe hierzu *Gengenbach (1997)* und *Wohlfarter (2005)*), bei der den Probanden das Fahrzeug ca. 4 Wochen gestellt wird und sie es ganz normal nutzen können. Während dieser Zeit könnte man im Hintergrund das Fahrverhalten mitloggen, um sowohl die Nutzungsgewohnheiten als auch den Effekt auf die Fahrsicherheit zu erfassen. Da ein derartiger Versuch verständlicherweise sehr aufwendig ist, bietet er sich lediglich für eine abschließende summative Evaluation an.

Der in Kapitel 2 theoretisch ermittelte Assistenzbedarf soll durch eine Untersuchung zum Wunsch nach Fahrerassistenz abgesichert werden. Dabei zeigt sich generell ein hoher Wunsch nach Fahrerassistenz, wobei in guter Übereinstimmung mit den theoretischen Analysen vor allem Funktionen nachgefragt werden, die bei der Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung unterstützen. Es fällt allerdings auf, dass die Verkehrszeichenassistenz mit nur knapp 60% wenig Zustimmung erfährt. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zur Theorie, dass der Fahrer etwa 50% aller Verkehrsschilder übersieht und es für das menschliche Kurzzeitgedächtnis einen hohen Aufwand mit großem Fehlerpotential darstellt, die aufgenommenen Informationen für deren Gültigkeitsdauer präsent zu halten. Somit sollte sich der Fahrer eigentlich hierfür eine Hilfe wünschen. Die Frage nach der bevorzugten Rückmeldemodalität ergibt, dass die Informationen des Geschwindigkeits- und Abstandsassistenten über eine optische Anzeige erfolgen sollen, jedoch nicht haptisch am Gaspedal. Zur Unterstützung der Spurhaltung werden eine haptische Ausgabe am Lenkrad und ein akustischer Warnton favorisiert. Vergleicht man das Ergebnis zwischen den jungen und den älteren Probanden ergibt sich, dass vor allem die über 60-Jährigen bei der Fahraufgabe unterstützt werden wollen. Dieser gesteigerte Wunsch nach Assistenz deckt sich mit dem in Kapitel 2.2, anhand der Unfallstatistik gezeigten, tatsächlich erhöhten Bedarf der älteren Fahrer nach Unterstützung bei der Fahraufgabe. Gemäß einer Zusammenstellung von *Dahmen-Zimmer (2005)* kommt es zudem bei den über 65-Jährigen zu fahrrelevanten Veränderungen im physischen Zustand, bei der perzeptuellen Leistungsfähigkeit und bei den kognitiven Funktionen. Dem wird jedoch zum Teil durch Fahrpraxis, Erfahrung und Kompensationsverhalten entgegengewirkt.

Das Experiment zum Potential kontaktanaloger Anzeigen für Assistenzsysteme zeigt einen eindeutigen Vorteil für die Kontaktanalogie. Es werden sowohl die kontaktanalogen Rückmeldungen für den Abstandshalteassistenten als auch für die Spurhalteassistenten als signifikant besser bewertet als entsprechende symbolische Varianten. Dieses Ergebnis untermauert das Analyseergebnis aus Kapitel 2, wonach sich kontaktanaloge Anzeigen für Rückmeldungen bzgl. der primären Fahraufgabe besonders gut eignen, da dort angezeigte Größen mit aktuellen Zustandsgrößen der Fahrt unmittelbar verglichen werden können und somit der Umcodieraufwand für den Fahrer minimal ist. Ein interessantes Ergebnis liefert auch der Vergleich der subjektiven Bewertungen der drei verschiedenen kontaktanalogen Ausprägungen des Spurhalteassistentensystems. Dabei wird das Nachzeichnen der Spurmarkierung gegenüber einem Warndreieck, welches die Richtung der erforderlichen Lenkkorrektur angibt, eindeutig bevorzugt. Das zeigt, welche Varianz es bezüglich des Gefallens und des empfundenen Nutzens innerhalb von kontaktanalogen Darstellungsformen gibt. Diese Erkenntnis wird gestützt durch Ergebnisse von *Schmidt (2006)*, in deren Arbeit verschiedene kontaktanaloge Anzeigen für ein Navigationssystem mit einer auf dem Markt befindlichen symbolischen Anzeige, hinsichtlich des Akzeptanzaspektes, verglichen werden. Dabei schneiden einige kontaktanaloge Anzeigevarianten signifikant besser und manche signifikant schlechter als die symbolische Anzeige ab. Dieses Ergebnis ist besonders erstaunlich, da sich die kontaktanalogen Navigationsanzeigen, im Gegensatz zu den hier vorliegenden Ausgaben des Spurhalteassistentensystems, in ihrem Aussehen nicht stark voneinander unterscheiden. Diese starke Streuung in der subjektiven Bewertung zeigt die Notwendigkeit der Vorabevaluierung der Anzeigen in Form eines Usability Laborversuches, bevor man deren komplexe Umsetzung in einem Simulator oder sogar einem Realfahrzeug durchführt.

Der Simulatorversuch zum Einfluss der Darstellung verkehrsrelevanter Informationen in Form von Verkehrszeichensymbolen im HUD ergibt zwar keinen Einfluss auf die Querführung, jedoch eine positive Wirkung auf die Geschwindigkeitswahl in Bereichen, in denen zur gleichen Zeit viele Verkehrszeichen gültig sind. Dann wird im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt die Geschwindigkeit gesenkt. Dies zeigt in guter Übereinstimmung mit der Betrachtung der menschlichen Fähigkeiten beim Wahrnehmen und Präsentieren von Informationen, die über Verkehrsschilder dargestellt werden, das verbesserte Situationsbewusstsein durch die Rückmeldung der geltenden Gefahren-, Vorschrifts- und Richtzeichen. Wie die theoretische Analyse zeigt, werden nämlich nach *Möri & Abdel-Halim (1981)* nur 50% aller Verkehrszeichen vollständig oder lediglich teilweise wahrgenommen. Doch auch nach erfolgreicher Aufnahme der Information besteht die Gefahr, dass der Fahrer sie nach bereits 15 bis 30s wieder vergessen hat, wenn er sie sich nicht permanent zurück ins Bewusstsein ruft (*Heinecke, 2003*). Somit unterstützt die Anzeige den Fahrer sowohl beim Erkennen als auch beim Erinnern der geltenden Verkehrszeichen, was aufgrund der dadurch besseren Situationskenntnis zu einer Anpassung der Geschwindigkeit an die bestehenden Randbedingungen führt. Hat der Fahrer dagegen die Anzeige nicht, besteht die Gefahr, dass er entweder das Verkehrszeichen übersieht oder die aufgenommene Information bereits nach kurzer Zeit wieder vergisst und somit die Geschwindigkeitswahl aufgrund einer schlechten bzw. unvollständigen Informationslage trifft.

Ebenso bestätigt die subjektive Befragung zur empfundenen Wichtigkeit der Verkehrszeichen sehr gut die Analyse in Kapitel 2, die besagt, dass das Erinnern und

Präsenthalten von Informationen, die über Verkehrszeichen aufgenommen werden, eine anstrengende Aufgabe für das menschliche Kurzzeitgedächtnis darstellt. Das Experiment zeigt, dass die Verkehrszeichen als besonders wichtig bewertet werden, die einen länger anhaltenden Zustand anzeigen, den sich der Fahrer, wenn er die Anzeige nicht hätte, für dessen Dauer merken müsste. Des Weiteren werden Verkehrszeichen, deren Nichtbeachtung zu Geldstrafen oder Unfällen führen kann, als besonders bedeutsam eingestuft, Richtzeichen werden dagegen als unwichtig erachtet. Insgesamt zeigt die Betrachtung der subjektiven Bewertung aller Verkehrszeichen eine breite und gleichmäßige Streuung der Beurteilung der Schilder, die als „wichtig“ bis hin zu jenen, die als „unwichtig“ erachtet werden. Diese Streuung bzgl. der Wichtigkeit erklärt auch die nur 60%ige Zustimmung zu dem Verkehrszeichenassistenten in der Untersuchung zum Wunsch nach Fahrerassistenz, da dort allgemein über alle möglichen Verkehrszeichen gefragt wurde. Darunter sind jedoch viele, die von den Probanden als unnötig empfunden werden, so dass das Gesamtergebnis schlechter wird. Die unterschiedliche Wichtigkeit der Verkehrszeichen bietet auch die Möglichkeit einer Anzeigenpriorisierung aufgrund dieses Merkmals bzw. das Nichtanzeigen der unwichtigen Verkehrszeichen, um die Anzahl der simultan dargestellten Symbole im HUD zu reduzieren. Dies erscheint sinnvoll, da die Ergebnisse der Blickbeobachtung zeigen, dass es ab mehr als zwei gleichzeitig dargestellten Symbolen zu einer signifikanten Erhöhung der durchschnittlichen Blickabwendungsdauer auf das HUD kommt.

Die Untersuchung in Kapitel 6.4 zum Einfluss einer kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße ergibt entgegen der Befürchtung keinen negativen Einfluss auf die Geschwindigkeitshaltung. Wie die theoretische Betrachtung zeigt, stellt die Voranzeige der Nachführgröße für den Fahrer eine Hilfe dar, die Bewegungsdynamik seines Fahrzeuges besser abzuschätzen. Daraus resultiert die Gefahr, dass er im Mittel schneller fährt, weil er das Gefühl hat, das Fahrzeug besser unter Kontrolle zu haben. Eine Betrachtung der im Mittel gefahrenen Geschwindigkeiten mit und ohne Anzeige zeigt, dass dies jedoch nicht der Fall ist. Dies deckt sich mit Ergebnissen von *Assmann (1985)*, die im Rahmen eines Realversuches gefunden wurden, und Resultaten von *Stürzer (1983)*, dessen Untersuchung am Simulator stattfand. Beide weisen für die kontaktanaloge Darstellung des Bremsweges nach, dass sie keinen Einfluss auf die Wahl der Geschwindigkeit hat. Die Analyse in Kapitel 2.1 ergibt, dass der Fahrer bei der Erfüllung der Fahraufgabe eine Reihe von sehr komplexen Schätzaufgaben durchzuführen hat. Betrachtet man die Querführungsaufgabe, zeigt sich, dass er aufgrund der seitlichen Ablage und der Orientierung des Fahrzeuges sowie dem eingestellten Lenkwinkel und der aktuellen Geschwindigkeit die zukünftige Bewegungstrajektorie seines Autos abschätzen muss. Da die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße dem Fahrer diese Schätzaufgabe erleichtert, müsste es nach der Theorie beim Fahren mit der Anzeige zu einer Verbesserung der Querregelgüte kommen. Genau diesen Effekt weist die Untersuchung in Kapitel 6.4 nach. Die Probanden fahren mit der Anzeige erstens mittiger in der Spur, was zeigt, dass sie mit deren Hilfe in der Lage sind, die Querablage des Fahrzeuges besser zu beurteilen. Zweitens nimmt die über die Time to Line Crossing charakterisierte Spurhaltegüte zu. Dies untermauert die Annahme, dass die Versuchspersonen die Querdynamik des Fahrzeuges durch die Anzeige präziser abschätzen können.

Allerdings führt die kontaktanaloge Voranzeige der Nachführgröße zu einer Reduzierung der visuellen Suchaktivität und zu einer Verlagerung der Blicke in Richtung der Anzeige. Da der Fahrer bei einer Fixation der Anzeige jedoch nach vorne auf die Verkehrsszene blickt, hat sie den positiven Effekt, dass sie die Aufmerksamkeit in die richtige Richtung lenkt. An dieser Stelle bleibt allerdings die Frage offen, ob der Fahrer in der Lage ist, bei einer Fixation der kontaktanalogen Anzeige, das Verkehrsgeschehen wahrzunehmen oder ob es zu dem Wahrnehmungsphänomen der Inattentional Blindness kommt (siehe hierzu auch *Mack A. und Rock I., 2000* und *Goldstein E. Br., 2002*). Demnach würde der Fahrer zwar nach vorne auf die Straße blicken, ein plötzlich und völlig unerwartet auf die Straße laufendes Kind aber einfach übersehen. Was bei dieser Betrachtung des Blickverhaltens auf die kontaktanaloge Anzeige jedoch unbeachtet bleiben muss, sind die von *Gengenbach (1997)* und *Wohlfarter (2005)* im Rahmen von Langzeitstudien gefundenen Gewöhnungseffekte an eine derartige Anzeige. Diese lassen erwarten, dass die Blickhäufigkeit auf die Anzeige mit zunehmender Nutzungsdauer noch abnimmt und sich erst nach ca. drei bis vier Wochen stabilisieren wird. Ob es zu dem Phänomen der Inattentional Blindness kommt, sollte in einer eigenen Simulatorstudie untersucht werden. Dabei müsste mittels der Blicherfassungstechnik überwacht werden, ob und wann der Fahrer auf die kontaktanaloge Anzeige blickt. Fixiert der Proband die Anzeige länger als einen zu bestimmenden Schwellwert, könnte man triggergesteuert ein unerwartetes Ereignis auslösen und den Reaktionszeitunterschied zwischen der Kontrollbedingung und der Fahrt mit der kontaktanalogen Anzeige messen. Haben die Probanden dann beim Fahren mit der kontaktanalogen Anzeige eine längere Reaktionszeit, ist dies ein eindeutiges Zeichen für die unerwünschte Blickbindung.

Ein interessantes Ergebnis liefert die Befragung der Probanden nach dem Gefallen der kontaktanalogen Anzeige. Nach der theoretischen Analyse in Kapitel 2 müssten beide Ausprägungen der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße auf hohe Akzeptanz stoßen, da sie dem Fahrer die bereits angesprochenen Schätzaufgaben bezüglich der Querablage und Querdynamik des Fahrzeuges erleichtern. Entgegen dieser Annahme wird jedoch von keiner der beiden Versuchsausprägungen das Akzeptanzniveau des nicht-assistierten Fahrens übertroffen. Die Gefallensbewertung von der als Balkendarstellung bezeichneten Variante, bei der die Voranzeige der Bewegungstrajektorie über einen kontaktanalogen Balken erfolgt, liegt auf demselben Niveau wie das nicht-assistierte Fahren. Dagegen erreicht die so genannte Schlauchdarstellung, bei der zusätzlich noch die beiden seitlich den Fahrschlauch begrenzenden Linien mit angezeigt werden, deutlich geringere Akzeptanzwerte. Das liegt wahrscheinlich daran, dass sich bei der Schlauchdarstellung zusätzlich zu dem Balken, die beiden Linien im zentralen Sehfeld bewegen und den Blick und die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, was die Probanden wohl als negativ empfinden. Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass kontaktanaloge Anzeigen so einfach wie möglich zu gestalten sind. Der bei kontaktanalogen Anzeigen starke Einfluss von kleinen Änderungen in der Darstellung auf die Gefallensbewertung, deckt sich sehr gut mit den Ergebnissen aus dem Versuch zum „Potential kontaktanaloger Anzeigen“ und den bereits angesprochenen Resultaten von *Schmidt (2006)*. Dies zeigt wiederum, dass kontaktanaloge Darstellungen sorgfältig evaluiert werden müssen, bevor deren technisch aufwändige Realisierung erfolgt.

Die Analyse in Kapitel 2 deckt, ausgehend von einem Entscheidungsmodell auf der Fahrzeugführungsebene, durch eine Betrachtung der menschlichen Fähigkeiten in der Informationsaufnahme-, -verarbeitung und -umsetzung den Bedarf an Fahrerassistenz auf. In der Untersuchung in Kapitel 6.5 zum Einfluss von optischer und haptischer Fahrerassistenz wird der Fahrer bei den drei dargestellten Assistenzsystemvarianten mit einer einheitlichen Interaktionsmetapher für die Längs- und Querverführung bei diesen Assistenzbedarfen unterstützt.

Das Experiment zeigt, dass es mit allen drei Assistenzvarianten zu einer Verbesserung in der Querverführung, aber zu keinem Einfluss auf die Abstandshaltung kommt. Warum es durch die Unterstützung zu keiner Verbesserung der Abstandshaltung kommt, liegt an der bereits in Kapitel 6.5 ausführlich erläuterten Tatsache, dass die Versuche in einem statischen Fahrsimulator stattfanden. Die Geschwindigkeitshaltung wird durch die Varianten „haptische“ und „optische und haptische Assistenz“ im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt deutlich gesteigert. Dagegen führt die alleinige „optische Unterstützung“ zu keiner Verbesserung bei der Wahl der Geschwindigkeit. Ebenso zeigt eine Betrachtung der empfundenen Beanspruchung und des Gefallensaspektes, dass die alleinige „optische Assistenz“ deutlich schlechter abschneidet als die „haptische“ und die kombinierte „optische und haptische“ Unterstützung des Fahrers. Das ausschließliche optische Anzeigen der bestehenden Grenzen führt somit zu keiner Verbesserung in der Regelgüte, da der Fahrer dadurch nicht bei deren Einhaltung unterstützt wird. Dies deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen aus Kapitel 6.3, die ergeben, dass die Wahl der Geschwindigkeit durch die alleinige Anzeige der erlaubten Geschwindigkeit nicht beeinflusst wird. Allerdings sind die Probanden mit der optischen Assistenz besser in der Lage die Spur zu halten. Dieser Effekt dürfte jedoch auf die Voranzeige der Nachführgröße zurückzuführen sein und nicht auf die kontaktanalogen roten Dreiecke, die erscheinen, wenn das Fahrzeug zu nah an die Spurbegrenzungslinien kommt. Da sich der Fahrer trotz der optischen Rückmeldung der bestehenden Grenzen immer noch selbst um deren korrekte Einhaltung kümmern muss, kann auch die empfundene Beanspruchung, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, nicht reduziert werden.

Dagegen hat die „haptische Assistenz“ an Gaspedal und Lenkrad einen sehr positiven Effekt auf die Geschwindigkeits- und Spurhaltung und führt darüberhinaus zu einer deutlichen Reduzierung der empfundenen Beanspruchung. Ein Problem dieses Interaktionskanals ist jedoch, dass die Handlungsvorschläge für den Fahrer nicht immer transparent sind und er das System nicht optimal überwachen kann, was bedeutet, dass er den Vorschlägen „blind“ folgen muss. Dies erklärt auch die Vorteile der kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ bei der subjektiven Beurteilung der empfundenen Sicherheit und der Fahrleistung, obwohl objektiv gemessen kein Unterschied zwischen den beiden Ausprägungen besteht. Der Pluspunkt der gleichzeitigen „optischen und haptischen“ Interaktion besteht darin, dass einerseits die haptischen Ausgaben handlungsunterstützend wirken und somit sowohl die Regelaufgabe erleichtern als auch die Regelgüte verbessern. Durch die optischen Rückmeldungen werden dem Fahrer andererseits die haptischen Handlungsvorschläge erläutert, wodurch er die Systemaktionen verstehen kann und sich sein Situationsbewusstsein verbessert. Dies führt insgesamt, im Gegensatz zu einer rein haptischen Unterstützung, zu einer besseren Bewertung der kombinierten Assistenz.

Der haptische Kanal sollte demnach dafür verwendet werden, dem Fahrer anzuzeigen, welche Handlung er ausführen soll. Über die optische Rückmeldung wird ihm dann dieser Handlungsvorschlag erklärt. Ein nach dieser Metapher arbeitendes Assistenzsystem befindet sich nach der Klassifikation von *Endsley & Kiris, 1995* auf der Automatisierungsstufe 2 von 5. Untersuchungen der beiden Autoren zeigen, dass das Situationsbewusstsein auf dieser Automatisierungsstufe deutlich besser ist als bei höher automatisierten Systemen. Ferner bleibt damit der Fahrer stets im Regelkreis, so dass die in Kapitel 2.3 aufgeführten Automatisierungsprobleme vermieden werden.

Bezüglich der empfundenen Spurhaltegröße führen jedoch bei der „optischen und haptischen Assistenz“ die zusätzlichen kontaktanalogen roten Dreiecke, die erscheinen, wenn der Fahrer den haptischen Eingriff am Lenkrad spüren kann, zu keiner weiteren Verbesserung im subjektiven Urteil. Das liegt wahrscheinlich daran, dass diese, wie die Untersuchung zum Potential kontaktanaloger Anzeigen in Kapitel 6.2.2 zeigt, nicht optimal gestaltet sind. Möglicherweise würde ein Nachziehen der Spurbegrenzungslinien zu einer Verbesserung des Probandenurteils führen. Dann besteht jedoch wieder, wie bei den seitlichen Begrenzungslinien der kontaktanalogen Schlauchdarstellung, die Gefahr, dass diese Art der optischen Rückmeldung als zu viel und eher störend angesehen wird.

Das positive Ergebnis bezüglich der Systemakzeptanz und der empfundenen Geschwindigkeitshaltegröße stützt die Vorhersage in Kapitel 2, dass sich als Führungsgröße für die Geschwindigkeitshaltung die erlaubte Geschwindigkeit besser eignet als die v_{85} ⁵. Der Vorteil der zulässigen Höchstgeschwindigkeit als Führungsgröße liegt darin, dass diese Größe für den Fahrer intuitiv verständlich ist, da ihm etwas vorgeschlagen wird, was ihm ohnehin durch die Verkehrszeichen vorgegeben wird.

Wie die Untersuchung zeigt, hat das aktive Gaspedal mit erklärender optischer Rückmeldung, neben einem positiven Einfluss auf die Längsführung und einer hohen Akzeptanz, auch eine deutliche Verbrauchsreduzierung von ca. 10% zur Folge. Dieses sehr erfreuliche Resultat impliziert, dass man sich Gedanken zu einer vernünftigen Funktionserweiterung der kombinierten optischen und haptischen Längsführungsassistenz machen muss. Vor allem vor dem Hintergrund der stetig steigenden Kraftstoffpreise und der aktuellen CO₂-Diskussion, erscheint ein verbrauchsoptimierter Modus des aktiven Gaspedals sinnvoll. Dabei könnte der Druckpunkt so geregelt werden, dass der Motor, in Abhängigkeit von den Fahrwiderständen, immer möglichst nah am verbrauchsoptimalen Bereich betrieben wird. Diese Funktion sollte jedoch so gestaltet sein, dass sie vom Fahrer explizit zugeschaltet werden muss. Somit kann er sich aussuchen, wann er verbrauchsoptimiert fährt und wann nicht. Wäre diese Funktion permanent aktiv, könnte dies die Akzeptanz des aktiven Gaspedals negativ beeinflussen.

Einen ebenso positiven Einfluss auf den Verbrauch könnte eine so genannte „Ampelassistenz“ haben. Hätte man die Kenntnis, wie lange die aktuelle Rot- bzw. Grünphase noch dauert, könnte man den Druckpunkt so regeln, dass man mit möglichst konstanter Geschwindigkeit durch eine Stadt fahren kann, ohne an einer

⁵ Die v_{85} beschreibt für einen Streckenabschnitt die Geschwindigkeit, die 85% der Fahrzeugführer bei nasser, sauberer Straße fahren oder unterschreiten

Ampel stehen zu müssen. Dabei ist es, neben einer adäquaten optischen Rückmeldung an den Fahrer, damit er versteht, warum er langsamer fahren soll als die in der Stadt erlaubten 50 km/h, auch wichtig, den rückwärtigen Verkehrsteilnehmer über den Grund der verlangsamten Geschwindigkeit zu informieren. Dies könnte über eine optische Anzeige in der Heckscheibe realisiert werden, welche dem rückwärtigen Verkehr anzeigt, dass bei dem vor ihm fahrenden Fahrzeug der Ampelassistent aktiv ist und welche Geschwindigkeit er vorschlägt. Hält sich dann der nachfolgende Fahrer an den Geschwindigkeitsvorschlag des Fahrzeuges, das über den Ampelassistenten verfügt, hat das auch für ihn die positive Auswirkung, dass er ohne Ampelstopp die Stadt durchfahren kann.

Ein weiteres Sicherheitsfeature wäre es, dem Fahrer bei vorherrschender Glatteis- oder Aquaplaninggefahr oder vor einer gefährlichen Kurve eine Geschwindigkeitsreduzierung nahezu legen. Ansätze zur Messung des Reibbeiwertes werden in dem Projekt PROMETHEUS und von *Bubb (1975)* erarbeitet. In PROMETHEUS werden zur Messung der Wasserhöhe und zur Erkennung von Eis und Schnee auf der Fahrbahn optische Sensoren eingesetzt, die die unterschiedlichen Absorptionseigenschaften von Wasser und Eis nutzen. *Bubb* hingegen verwendet als ein Maß für den augenblicklichen Kraftschlussbeiwert den Schlupf der Antriebsräder in Abhängigkeit vom Antriebsdrehmoment, der Beschleunigung und der Geschwindigkeit. Schlägt das aktive Gaspedal jedoch eine Geschwindigkeit vor, die von der aktuellen Höchstgeschwindigkeit abweicht, ist eine erklärende optische Rückmeldung unabdingbar. Ansonsten kann dies aufgrund der möglicherweise nicht transparenten Handlung dazu führen, dass der Fahrer das Vertrauen in das System verliert und dadurch den eigentlich sinnvollen Vorschlag missachtet. Wie derartige optische Rückmeldungen für Assistenzsysteme zu gestalten sind, wird in *Peter (2005)* gezeigt.

Beobachtet man das Verhalten von Autofahrern stellt man fest, dass von den meisten die zulässige Höchstgeschwindigkeit immer bewusst um einen gewissen Stundenkilometer- oder Prozentwert überschritten wird. Würde man dem Fahrer die Möglichkeit geben, dass er dem System vorgeben kann, die erlaubte Geschwindigkeit immer um einen bestimmten Betrag zu überziehen, würde dies zu einer weiteren Steigerung der Akzeptanz des aktiven Gaspedals führen. Dann müsste er den Druckpunkt nicht immer mit einer erhöhten Zusatzkraft bewusst überdrücken, wenn er schneller fahren möchte als erlaubt. Diese Funktion ist jedoch nicht realisierbar, da sie gegen juristische Grenzen verstößt und das Fahrzeug somit keine Straßenzulassung bekäme. Allerdings trägt möglicherweise gerade der Gesetzgeber dazu bei, dass die Rückmeldung der erlaubten Geschwindigkeit am aktiven Gaspedal auf breite Akzeptanz trifft, wenn die momentan in der Diskussion stehende drastische Erhöhung der Strafen für das Übertreten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durchgesetzt wird.

Eine interessante Erkenntnis liefert der Vergleich der Resultate aus der Untersuchung zu optischer und haptischer Assistenz mit denen aus der Studie zum Wunsch nach Fahrerassistenz und der bevorzugten Interaktionsmodalität. Die Fragebogenstudie ergibt, dass die Informationen des Geschwindigkeits- und Abstandsassistenten über eine optische Anzeige erfolgen sollen, jedoch nicht haptisch am Gaspedal. Zur Unterstützung der Spurhaltung werden eine haptische Ausgabe am Lenkrad und ein akustischer Warnton favorisiert. Die interaktive Darstellung der Systeme im Simulator liefert jedoch völlig andere Ergebnisse. Dort wird für die Geschwindigkeits- und Abstandshalteunterstützung eine Kombination

aus optischer und haptischer Rückmeldung bevorzugt, die alleinige optische Informationsdarstellung schneidet dagegen am schlechtesten ab. Ebenso zeigt sich, dass ein akustischer Warnton zur Unterstützung der Spurhaltung sehr schnell störend wirkt.

Betrachtet man das Ergebnis der Papier- und Bleistiftuntersuchung zum Wunsch nach Fahrerassistenz und der bevorzugten Rückmeldemodalität erkennt man, dass die Probanden das für gut bewerten, was sie sich gut vorstellen können. Dinge, die sie sich schlecht vorstellen können oder Funktionen, die nur aufgrund einer textuellen Beschreibung, ohne dass sie im Fahren erlebt werden, schwer zu verstehen sind, werden auch schlecht bewertet.

Bei der vergleichenden Untersuchung des kooperativen Konzepts des aktiven Gaspedals mit dem handlungsersetzenden Prinzip des ACCs gibt es zum Experiment in Kapitel 6.5 zwei entscheidende Unterschiede. Erstens müssen sich die Probanden die Wunschgeschwindigkeit von Hand über ein Bedienelement einstellen und zweitens erfolgt die Unterstützung, entgegen der Forderung aus Kapitel 2, lediglich in der Längsführung. Allerdings geschieht bei je einer Variante des aktiven Gaspedals und des ACCs die Rückmeldung über den einzuhaltenden Sollabstand durch den Balken der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße.

Wie in Kapitel 2 aufgeführt, sieht der Fahrer nach *Bubb (1993a)* die Fahraufgabe als eine einzige zweidimensionale Aufgabe und sollte dementsprechend immer sowohl in der Längs- als auch in der Querführung unterstützt werden. Genau dieser Forderung widersprechen die beiden Varianten „AGP symb.“ und „ACC symb.“, bei denen lediglich eine Längsführungsassistenz erfolgt. Daraus resultiert dann, im Vergleich zur nicht-assistierten Fahrt, eine signifikant nachweisbare Abnahme in der Querführungsgüte. Der Grund dafür wird in Kapitel 6.6 ausführlich erläutert. Da die Versuchspersonen bei den Ausprägungen „AGP kont.“ und „ACC kont.“ über den Balken der kontaktanalogen Voranzeige der Nachführgröße neben der Längsführung auch bei der Querführung unterstützt werden, entspricht bei diesen beiden Versionen die Querführungsgüte wieder dem Ausgangsniveau der nicht-assistierten Fahrt.

Zudem hat die kontaktanaloge Voranzeige der Bewegungsrichtung beim „ACC kont.“ den Vorteil, dass dadurch die Blicke weg von der Verkehrsszene auf das HUD reduziert werden können, da dem Fahrer die erfolgreiche Detektion eines vorausfahrenden Fahrzeuges direkt über eine Farbänderung des Abstandsbalkens angezeigt wird. Dies zeigt wiederum in guter Übereinstimmung mit der Theorie, dass sich kontaktanaloge Anzeigen sehr gut zur Darstellung von fahrrelevanten Informationen eignen, da dort angezeigte Größen mit aktuellen Zustandsgrößen der Fahrt unmittelbar verglichen werden können.

Die Betrachtung der Ergebnisse zur Längsführung ergibt, dass es bei allen vier Assistenzvarianten zu keiner Veränderung in der Abstandshaltung kommt, was wiederum auf den statischen Fahrsimulator zurückzuführen ist. Dagegen ist es zunächst erstaunlich, dass im Widerspruch zur Theorie, die Geschwindigkeitshaltung weder mit dem aktiven Gaspedal noch mit dem ACC verbessert wird. Es kann bei einer Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit sogar ein gegenteiliger Effekt beobachtet werden. Dabei wird mit beiden Formen der Assistenz im Mittel schneller in den neuen Geschwindigkeitsbereich eingefahren als ohne Unterstützung. Dies bestätigt die Behauptung aus Kapitel 2, dass dem Fahrer Änderungen in der Sollgeschwindigkeit frühzeitig angezeigt werden sollten. Indessen müssen die Probanden bei den vorliegenden Auslegungen des aktiven Gaspedals und des

ACCs, nach dem Erkennen einer kommenden Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit, anstatt wie beim normalen Fahren einfach den Fuß vom Gas zu nehmen, dem System die neue Wunschgeschwindigkeit erst über ein entsprechendes Bedienelement vorgeben. Dieser Zeitverlust führt zu der erhöhten Geschwindigkeit beim Einfahren in den Bereich mit einer niedrigeren zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Bei der Untersuchung in Kapitel 6.5 wird den Probanden, wie aufgrund der systemergonomischen Analyse der Fahraufgabe gefordert, die Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit frühzeitig und automatisch am aktiven Gaspedal angezeigt. Dadurch erfolgt, wie im Rahmen der Untersuchung dargestellt, eine rechtzeitige Anpassung an das neue Geschwindigkeitsniveau. Der gezeigte Nachteil, der durch das manuelle Setzen der Wunschgeschwindigkeit entsteht, dürfte allerdings in der Realität nicht so stark zum Tragen kommen, da die Verkehrszeichen innerhalb der Datenbasis in einem kürzeren Abstand als im realen Straßenverkehr aufgestellt wurden. Eliminiert man folglich die Geschwindigkeitssenkungen bei der Analyse, kommt es sowohl beim aktiven Gaspedal als auch beim ACC zu einer nachweisbaren Verbesserung in der Geschwindigkeitshaltung.

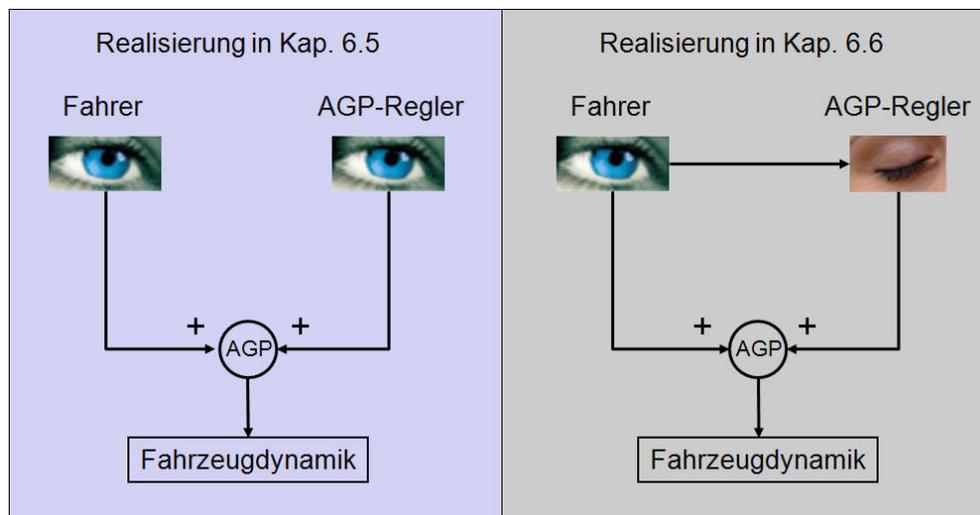


Abbildung 7-1: Vergleich der AGP-Auslegungen in den Experimenten der Kapitel 6.5 und 6.6; links: Sowohl der Fahrer als auch der AGP-Regler nehmen Informationen über die Verkehrssituation auf; rechts: Nur der Fahrer kennt die aktuelle zulässige Höchstgeschwindigkeit und teilt diese dem AGP Regler über ein Bedienelement mit

Eine genaue Betrachtung der vorliegenden Auslegung des aktiven Gaspedals zeigt, dass diese in Bezug auf das Bilden der Führungsgröße für die Geschwindigkeit nicht mehr der in Kapitel 2 geforderten Form der kooperativen Fahrerassistenz entspricht. Dort leitet der FAS Regler selbständig, aufgrund seiner Kenntnis der Verkehrssituation, eine zu fahrende Geschwindigkeit ab und zeigt diese dem Fahrer über eine haptische Ausgabe am Gaspedal sowie durch eine optische Rückmeldung an (siehe Abbildung 7-1 links). Bei der hier vorliegenden Umsetzung gibt jedoch der Fahrer dem FAS Regler über ein Bedienelement eine Wunschgeschwindigkeit vor, die ihm dieser dann am aktiven Gaspedal in Form des Druckpunktes wieder rückmeldet. Der AGP-Regler selbst ist quasi blind (siehe Abbildung 7-1 rechts). Dadurch wird die eigentlich vorhandene Redundanz für die Wahl der Geschwindigkeit zunichte gemacht. So kommt es zu einem Effekt, der sich im Rahmen der Untersuchung sowohl beim aktiven Gaspedal als auch beim ACC mehrfach gezeigt hat. Die Probanden haben eine Wunschgeschwindigkeit eingestellt und lassen sich danach vom aktiven Gaspedal bequem führen bzw. übergeben dem

ACC komplett die Längsführungsaufgabe, wodurch sie ihre Aufmerksamkeit für die Führungsaufgabe absenken. Als Resultat der verminderten Aufmerksamkeit übersehen die Versuchspersonen dann Änderungen in der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und fahren mit gleichbleibender Geschwindigkeit zu schnell oder zu langsam weiter.

Dieses Problem lässt sich lösen, indem die geltenden Geschwindigkeitsbeschränkungen automatisch und vorausschauend als Wunschgeschwindigkeit übernommen werden. Dann lassen sich sogar die in Kapitel 6.5 gefundenen positiven Effekte auf die Geschwindigkeitshaltung erzielen. Dabei darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass das automatische Setzen der Wunschgeschwindigkeit bei einem ACC eine Reihe von Problemen und Risiken in sich birgt. Zum einen stellt dies dann eine vollständige Automatisierung der Längsführung dar, wodurch sämtliche von *Bainbridge (1987)* aufgeführten Nachteile, wie zum Beispiel Übungs- und Konzentrationsverlust, zum Tragen kommen. Zum anderen kann eine fehlerhafte Erhöhung der Wunschgeschwindigkeit kurz vor einer Kurve zu einem schweren Unfall führen. Von daher bietet sich für das automatische Setzen der Wunschgeschwindigkeit nur das aktive Gaspedal an. Bei diesem stellt diese Lösung keine vollständige Automatisierung der Längsführung dar. Ferner kann der Fahrer eine fehlerhafte Erhöhung der Wunschgeschwindigkeit sofort kompensieren, da er stets aktiv in den Regelkreis eingebunden ist. Aus diesem Grund bietet sich für das ACC eine Zwischenlösung an. Diese könnte so aussehen, dass das ACC für den Fahrer bei einer Änderung der Geschwindigkeitsbeschränkung eine Vorwahl für die neue Wunschgeschwindigkeit trifft und er diesem Vorschlag per einfachem Tastendruck zustimmen kann. Dadurch entfällt für den Fahrer das lästige Einstellen der Wunschgeschwindigkeit, was zu einer Reduzierung des Bedienungsaufwandes führen würde. Auf der anderen Seite wird dadurch verhindert, dass das ACC fälschlicherweise vor einer Kurve die Wunschgeschwindigkeit stark erhöht, da für eine Änderung der Wunschgeschwindigkeit immer die Zustimmung des Fahrers erfolgen muss. Es ist bei dieser Lösung zu beachten, dass dieser Geschwindigkeitsvorschlag bei einer Herabsetzung der erlaubten Geschwindigkeit, unter Berücksichtigung der Reaktionszeit des Fahrers, entsprechend früh erfolgen müsste, damit das Fahrzeug nach der Bestätigung durch den Fahrer noch rechtzeitig auf das neue Geschwindigkeitsniveau verzögern kann. Diese Lösung nimmt dem Fahrer das aufwändige Anpassen der Wunschgeschwindigkeit ab, stellt aber noch keine Vollautomatisierung der Stufe 5 der Fahraufgabe dar. Sie befindet sich vielmehr auf der Automatisierungsstufe 4, was einer „überwachten Automatik“ entspricht.

Wie die Ergebnisse der Akzeptanzbewertung zeigen, scheinen die Probanden, bei den im Rahmen dieses Experimentes vorliegenden einfachen Autobahnscenarien, das ACC gegenüber dem aktiven Gaspedal zu bevorzugen. Dies liegt erstens daran, dass es in solchen Situationen sehr gut und fehlerfrei funktioniert und dadurch die in Kapitel 2 beschriebenen Nachteile, wie beispielsweise unerwartete Übernahmeaufforderungen, nicht vorkommen. Zweitens hat das ACC, gegenüber dem aktiven Gaspedal, bei der hier vorliegenden Ausführung den Vorteil, dass der Fahrer zwar manuell die Geschwindigkeit setzen muss, ihm danach aber deren korrekte Einhaltung völlig abgenommen wird. Beim aktiven Gaspedal muss er zusätzlich zum Einstellen noch mit seinem Fuß dem Druckpunkt am aktiven Gaspedal folgen, damit die Geschwindigkeit auch gefahren wird.

Ferner scheint bei den hier vorliegenden einfachen Verkehrssituationen die in Kapitel 2 gezeigte höhere Systemzuverlässigkeit der beim aktiven Gaspedal vorliegenden parallelen Verschaltung von Fahrer und FAS-Regler über einen gemeinsamen Summenpunkt, im Gegensatz zu der parallelen Verschaltung mit Schalterauswahl beim ACC, nicht zum Tragen zu kommen. Dies zeigt, dass entgegen der theoretischen Betrachtung aus Kapitel 2, die handlungsersetzende Assistenz durch das ACC für einfache Fahrsituationen eine durchaus adäquate Form der Längsführungsunterstützung ist. Diese einfachen Fahrsituationen sind genau diejenigen, für die das ACC gemacht ist. Wird ein technisches System stets in solchen Situationen verwendet, für die es entwickelt ist, erreicht es eine Fehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-5} . Sie stellen jedoch nur einen gewissen Prozentsatz der möglichen Situationen dar. Da das ACC aber in allen Verkehrssituationen eingesetzt wird, erhöht sich, wie in Kapitel 2 angenommen, die Fehlerwahrscheinlichkeit für das Assistenzsystem auf 10^{-2} , die dann die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit für das Mensch-Maschine-System darstellt. Selbst wenn das ACC immer funktionieren würde, wäre die Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit für das Fahren mit dem ACC aufgrund der Schalterrealisierung nicht besser als die für das normale Fahren. Somit stellt das ACC ein Komfortsystem und kein System zur Verbesserung der aktiven Sicherheit dar.

Da sich das aktive Gaspedal und der Abstandsregeltempomat nicht gegenseitig ausschließen, bietet es sich bei einer Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse an, dem Fahrer als Längsführungsassistenz sowohl das ACC mit der beschriebenen Vorschlagsfunktion als auch das aktive Gaspedal, bei dem die erlaubte Geschwindigkeit automatisch übernommen wird, anzubieten. Bei einfachen Verkehrssituationen, wie beispielsweise Autobahnfahrten mit geringem Verkehrsaufkommen, kann der Fahrer das ACC mit dem automatischen Vorschlag der Wunschgeschwindigkeit verwenden. In komplexeren Verkehrssituationen, in denen die Redundanz von Fahrer und FAS Regler sowohl zu einer höheren Gesamtzuverlässigkeit als auch zu einer verbesserten Systemakzeptanz führen, kann der Fahrer dann die kooperative Form der Unterstützung wählen, bei der ihm die geltenden Geschwindigkeitsbeschränkungen automatisch sowohl am aktiven Gaspedal als auch optisch angezeigt werden.

Dieses parallele Anbieten der beiden Konzepte zur Längsführungsassistenz, bei denen zur optischen Rückmeldung des eingestellten Abstandes das kontaktanaloge HUD verwendet werden sollte, hat den Vorteil, dass sich der Fahrer, abhängig von der Fahrsituation, in der Form assistieren lassen kann wie er es möchte. Wie das vorliegende Ergebnis zeigt, ist es jedoch unbedingt notwendig, den Fahrer neben der Längsführung auch immer bei der Querrführung zu unterstützen, da es ansonsten zu einer Abnahme der Regelgüte in diesem Bereich kommt. Fährt der Fahrer mit dem aktiven Gaspedal, findet dies idealerweise mit der in Kapitel 6.5 gezeigten kombinierten „optischen und haptischen Assistenz“ statt. Wird jedoch mit der Längsführungsunterstützung durch das ACC gefahren und es erfolgt die Querrführungsassistenz durch das aktive Lenkrad, dann ist dies in Längsrichtung eine Automatisierung der Stufe 4 und in Querrichtung eine der Stufe 2. Da es sich beim Fahren um eine einzige zweidimensionale Aufgabe handelt, müsste zunächst durch entsprechende Experimente untersucht werden, ob es durch die beiden unterschiedlichen Automatisierungsgrade in Längs- und Querrichtung, zu ähnlichen negativen Effekten kommt, als würde in einem Teil der Führungsaufgabe gar nicht assistiert werden.

Aufbauend auf der Theorie und den Erkenntnissen aus den Versuchsreihen in Kapitel 6 dieser Arbeit, werden die nachstehend aufgeführten Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung und Auslegung von Fahrerassistenzsystemen aufgestellt.

Tabelle 7-1: Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen

Gestaltungsempfehlungen	
1	Durch das Anzeigen von verkehrsrelevanten Informationen verbessert sich das Situationsbewusstsein.
2	Automatisierte Funktionen dürfen den Bedienaufwand im Vergleich zum normalen Fahren nicht erhöhen.
3	Das kontaktanaloge HUD eignet sich sehr gut zur Anzeige von fahrrelevanten Informationen. Die Informationsfülle muss jedoch so stark wie möglich reduziert werden.
4	Ein Assistenzsystem muss den Fahrer immer bei der kompletten Fahraufgabe und nicht nur bei der Längs- oder der Querführung unterstützen.
5	Für Nachführgrößen, deren zukünftiger Verlauf schwer abgeschätzt werden kann, ist eine Voranzeige vorzusehen.
6	Führungsgrößen, die nicht unmittelbar aus der Sicht abgeleitet werden können, sind dem Fahrer anzuzeigen.
7	Die Interaktion mit Fahrerassistenzsystemen sollte immer kombiniert optisch und haptisch erfolgen. Dabei wird dem Fahrer haptisch angezeigt, was er tun soll und optisch erklärt, warum er dies tun soll.

Wie die vorliegende Arbeit zeigt, kann man mit dem in Kapitel 2 verwendeten Entscheidungsmodell auf der Fahrzeugführungsebene (siehe Abbildung 2.1-5) die komplexen Informationsaufnahme-, -verarbeitungs- und -umsetzungsprozesse, die zur korrekten Erfüllung der Fahraufgabe notwendig sind, analysieren und daraus theoriegeführt den Bedarf an Fahrerassistenz ableiten. Dieses Modell für einfache Fahrsituationen müsste zukünftig auf komplexere Verkehrsszenarien erweitert werden. Derartige Situationen sind beispielsweise stark befahrene Kreuzungen oder dichter Autobahnverkehr. Vor allem bei hohem Verkehrsaufkommen ist die Antizipationsleistung des Fahrers gefordert. Hierzu müsste zunächst untersucht werden, auf der Grundlage welcher Informationen der Fahrer antizipiert und mit welcher Güte er in der Lage ist, das zukünftige Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer vorherzusagen. Anhand dieser Erkenntnisse ließe sich dann wiederum gezielt das Unterstützungspotential identifizieren. Erste Ansätze in diese Richtung wurden bereits von *Gründl (2007)* gemacht. Im Rahmen dieses Experiments wurden Probanden Videos von aufgenommenen Autobahnscenarien vorgespielt. Diese wurden an definierten Stellen angehalten und die Versuchspersonen gefragt, wie sie denken, dass sich die aktuelle Verkehrssituation weiterentwickeln wird und an welchen Tatsachen sie ihre Einschätzung festmachen. Durch den Abgleich des prognostizierten mit dem tatsächlichen Fortschritt ließ sich ableiten, wie gut die Vorhersage der Probanden war. Die Antwort auf welchen Fakten ihre Prognose beruht, liefert Erkenntnisse darüber, welche Informationen die Versuchspersonen zur Antizipation einer Situation verwenden.

Ebenso sollte das Modell auf das Fahren bei Nacht oder bei schlechten Sichtverhältnissen erweitert werden, da dann die visuelle Informationsaufnahme

erschwert ist. Bei schlechter Sicht sowie regennasser oder schneebedeckter Fahrbahn kann es beispielsweise sein, dass im Gegensatz zum Fahren bei Tag, die Führungsgröße für die Querführung nicht mehr direkt aus der Sicht abgeleitet werden kann, da die Straßenränder nicht mehr eindeutig zu erkennen sind. In diesem Fall wäre es zweckmäßig, dem Fahrer diese Führungsgröße rückzumelden. *Gorjestani (2003)* zeigt eine Lösung bei schneebedeckter Fahrbahn, bei der mittels eines kontaktanalogen HUD der zukünftige Spurverlauf der Schneedecke kontaktanalog überlagert wird.

Genauso wird z.B. bei Dunkelheit das rechtzeitige Erkennen von stehenden und bewegten Objekten durch die begrenzte Reichweite des Abblendlichtes bzw. aufgrund der Blendung durch entgegenkommende Fahrzeuge erschwert. Dies ist ein Zeichen dafür, dass man den Fahrer beim Erkennen von Objekten, mit denen Kollisionsgefahr besteht, unterstützen sollte. Wie dies über eine kontaktanaloge optische Rückmeldung erfolgen kann, wird von *Bergmeier (2006)* und *Bergmeier (2007)* gezeigt. Dabei werden am Straßenrand stehende Personen direkt in der Außensicht mittels eines kontaktanalogen HUDs mit einem rechteckigen Rahmen markiert. Dadurch kann sie der Fahrer aufgrund der großen Reichweite des Nachtsichtgerätes bereits weit außerhalb des Sichtkegels des Abblendlichts wahrnehmen und sein Fahrverhalten entsprechend anpassen.

Ferner sollte das Modell auch um unfallkritische Szenarien ergänzt werden, da gerade hier das größte Unfallvermeidungspotential liegt. Um dem Fahrer aber in diesen Situationen richtig und situationsspezifisch zu assistieren, muss man zunächst wissen, welche ursächlichen Fehlhandlungen des Fahrers zu Unfällen führen und wie das richtige Verhalten in der Unfallsituation ausgesehen hätte. Dafür bietet es sich an, in der Simulation unfallträchtige Szenarien nachzustellen und diese von einer größeren Anzahl an Probanden durchfahren zu lassen, wobei während der ganzen Zeit das Fahr- und Fahrerverhalten aufgenommen wird. Im Anschluss an die Versuche müssen die Messwerte, die in den jeweiligen Situationen aufgenommen werden, genauestens analysiert werden. Dabei gilt es herauszufinden, wie das richtige Verhalten aussieht, damit es zu keinem Unfall kommt und wie sich dieses vom Fehlverhalten unterscheidet, das zum Unfall führt. Es ist aber auch wichtig, bereits vorab das Fehlverhalten des Fahrers in der entsprechenden Situation zu erkennen, um das Auftreten einer unfallkritischen Konstellation dann entweder durch einen Handlungsvorschlag oder einen autonomen Eingriff zu verhindern. Zu diesem Thema läuft am Lehrstuhl für Ergonomie aktuell eine Diplomarbeit, in deren Rahmen am Fahrsimulator Szenarien erstellt werden, in denen statistisch eine erhöhte Unfallwahrscheinlichkeit besteht. Diese Situationen werden von ca. 30 Versuchspersonen durchfahren, wobei permanent deren Blick- und Fahrverhalten aufgenommen und im Anschluss detailliert analysiert wird.

Ziel der Forschung sollte es sein, ein vollständiges Entscheidungs- und Handlungsmodell für die Erfüllung der Fahraufgabe zu entwickeln, um dann auf Basis dieser allgemeinen Theorie eine einheitliche Strategie zu Unterstützung des Fahrers abzuleiten.

Dieses vollständige Modell existiert zwar noch nicht. Dennoch lassen sich anhand der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit Vorschläge für die Gestaltung von Assistenzsystemen ableiten, die den Fahrer auch in komplexeren Verkehrsszenarien, wie beispielsweise einer Kreuzungssituation oder einem Spurwechsel, unterstützen. Auch in diesen Situationen kann die beschriebene

kooperative Interaktionsmetapher verwendet werden, bei der dem Fahrer haptisch angezeigt wird, was er tun bzw. unterlassen soll und ihm optisch erläutert wird, warum er so handeln soll, er aber stets die handlungsausführende Instanz ist. Um einen Großteil der Kreuzungsunfälle zu vermeiden, muss der Fahrer nach *Vollrath (2006)* beim Erkennen bevorrechtigter Verkehrsteilnehmer unterstützt werden und ein unfallauslösendes Anfahren verhindert bzw. der Fahrzeugführer zum Anhalten des Fahrzeuges gebracht werden. Bei einfachen Kreuzungssituationen kann diese Assistenz über das kontaktanaloge HUD und das aktive Gaspedal erfolgen. Wenn sich der Fahrer einer Kreuzung annähert oder an einer Kreuzung steht, an der er Vorfahrt gewähren muss und die Lücke zwischen den vorfahrtsberechtigten Fahrzeugen ist nicht groß genug, damit er die Kreuzung überqueren oder in die vorfahrtberechtigte Straße einfahren kann, kann die Interaktion folgendermaßen aussehen. Der Druckpunkt am aktiven Gaspedal kommt dem Gasfuß entgegen und signalisiert dem Fahrer, dass er vom Gas gehen und bremsen bzw. nicht anfahren soll. Über das kontaktanaloge HUD wird dasjenige Fahrzeug mit einem rechteckigen Rahmen markiert, wegen dem die Kreuzung nicht passiert werden kann. Vor allem bei vorfahrtberechtigtem Querverkehr kann es der Fall sein, dass die Darstellungsfläche des HUDs nicht groß genug ist, um das relevante Fremdfahrzeug kontaktanalog zu umrahmen. Dann kann die optische Ausgabe in Symbolform erfolgen. Hierfür bietet sich das von *Peter (2005)* vorgeschlagene Symbol an, bei dem sowohl das eigene Fahrzeug als auch richtungsanalog das Fremdfahrzeug sowie ein Stoppschild dargestellt werden. Die Bedeutung dieses Symbols wurde von Probanden in einer Befragung sofort richtig erkannt und als intuitiv bewertet. Ist dagegen die Lücke zwischen den Fremdfahrzeugen ausreichend groß, kann der Druckpunkt am aktiven Gaspedal den Weg freigeben und somit dem Fahrer signalisieren, dass er die Kreuzung überfahren bzw. in die vorfahrtberechtigte Straße einbiegen kann. Der Vorteil dieser Systemauslegung besteht darin, dass der Fahrer aktiv in den Regelkreis eingebunden ist und stets selbst entscheidet, ob er in die Kreuzung einfährt oder nicht. Dadurch wirken die menschliche und die technische Sensorik redundant zusammen. Bei einem ACC Stop&Go besteht dagegen die Gefahr, dass der Automat an einer Kreuzung einem links abbiegenden Fahrzeug blind folgt, obwohl es dadurch zu einer Kollision mit dem entgegenkommenden Verkehr kommen würde.

Ähnlich kann die Interaktion aussehen, wenn das Fahrzeug feststellt, dass der Fahrer droht, ein Stoppschild zu überfahren ohne anzuhalten. Dann kann ihm der Druckpunkt wiederum haptisch signalisieren, dass er den Fuß vom Gas nehmen und bremsen soll und über das kontaktanaloge HUD das Stoppschild markiert werden, damit er versteht, warum ihm das Fahrzeug diese Handlung vorschlägt. Möchte der Fahrer dennoch ohne anzuhalten das Stoppschild überfahren, kann er mit einer leichten Zusatzkraft den Druckpunkt am aktiven Gaspedal überdrücken und den Vorschlag des Fahrzeuges bewusst überstimmen. Bei einer komplexeren Kreuzungssituation kann der Fahrer neben der Längsführung auch in der Querführung unterstützt werden. Wie die Analyse in Kapitel 2 zeigt, besteht vor allem beim Linksabbiegen an unübersichtlichen Kreuzungen das Problem, die richtige Trajektorie durch die Kreuzung und die korrekte Spur zu wählen. Die Schwierigkeit dieser Aufgabe führt offensichtlich dazu, dass „Spurungengenauigkeit beim Abbiegen nach links in ampelgeregelten Kreuzungen“ eine der Hauptursachen für Kreuzungsunfälle ist. Um den Fahrer bei dieser Aufgabe zu unterstützen, kann über das HUD die Solltrajektorie durch die Kreuzung kontaktanalog angezeigt werden (siehe Abbildung 7-2). Kommt er beim Durchfahren der Kreuzung zu weit von dieser

ab, kann er, analog zur Spurhalteassistenten, bei deren Einhaltung über ein korrigierendes Lenkmoment unterstützt werden.



Abbildung 7-2: Beispiel für die kontaktanaloge Darstellung der Solltrajektorie für den Linksabbiegevorgang an einer Kreuzung

Bei einem Spurwechsel kann die Assistenz auf unterschiedlichen Unterstützungsgraden erfolgen. Dabei kann der Grad an Unterstützung von einer reinen Warnung, wenn der Spurwechsel zu einer Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer führen würde, bis hin zu einer aktiven Unterstützung des Spurwechsels über ein permanentes Lenkmoment reichen. Wie *Mann (2007)* jedoch in einem Experiment im Realverkehr zeigt, wird der hohe Grad an Unterstützung von den Fahrern nicht akzeptiert. Deshalb darf die Assistenz lediglich auf einem geringeren Unterstützungsgrad stattfinden, da sonst die Gefahr besteht, dass das System nicht verwendet wird und somit seine Wirkung nicht entfalten kann. Daher bietet sich eine Systemauslegung an, die lediglich dann eingreift, wenn es aufgrund eines Spurwechsels zu einer Kollision kommt. Hierfür kann die Fahrer-Fahrzeug Interaktion wieder in der Form gestaltet werden, dass dem Fahrer haptisch angezeigt wird, was er tun bzw. nicht tun soll und ihm eine optische Ausgabe die Handlungsvorschläge des Systems erklärt. Erkennt das Fahrzeug aufgrund der Blinkerbetätigung bzw. anhand des Spur- und Lenkwinkelverlaufes, dass der Fahrer die Fahrbahn wechseln möchte und besteht aufgrund dessen die Gefahr einer Kollision mit einem Fahrzeug auf der anderen Spur, kann über ein gegendrehendes Moment am Lenkrad rückgemeldet werden, dass kein Spurwechsel erfolgen darf. Diese Ausgabe am Lenkrad kann jedoch sehr leicht mit der haptischen Spurhalteunterstützung verwechselt werden, vor allem dann, wenn das System bei nicht gesetztem Blinker eingreift. Aus diesem Grund muss eine zusätzliche erklärende optische Rückmeldung erfolgen, die sich deutlich von der Anzeige der Spurhalteunterstützung unterscheidet, damit der Fahrer erkennen kann, dass das System versucht den Spurwechsel zu unterbinden, da es ansonsten zu einer Kollision mit einem Fahrzeug auf der anderen Spur kommt, und nicht ein ungewolltes Abkommen von der Spur verhindern möchte. Da sich das Fahrzeug, mit dem bei einem Spurwechsel die Kollisionsgefahr besteht, entweder neben oder hinter dem eigenen Fahrzeug befindet, kann es nicht über eine kontaktanaloge Ausgabe in der

Frontscheibe direkt markiert werden. Ziel der optischen Rückmeldung sollte es jedoch sein, dem Fahrer einerseits die haptische Ausgabe zu erklären und andererseits seine Aufmerksamkeit in die Richtung der Gefahr zu lenken. *Tönnis et al (2005b)* haben für diesen Zweck im Rahmen eines Simulatorexperimentes eine exo- und eine egozentrische Ausgabe miteinander verglichen. Bei der exozentrischen Ausprägung wird im HUD ein Fahrzeugsymbol in der Draufsicht dargestellt und relativ dazu der Gefahrenort angezeigt. Bei der egozentrischen Ausführung wird im Head-Up-Display ein dreidimensionaler Pfeil ausgegeben, der direkt in die Richtung der Gefahr zeigt. Wie die Untersuchung ergibt, hat die exozentrische Darstellung deutliche Vorteile in Bezug auf die Schnelligkeit der Reaktion und die Genauigkeit, mit der der Gefahrenort angegeben werden kann. Aus diesem Grund sollte für die optische Ausgabe der Spurwechselassistenten ein exozentrisch gestaltetes Symbol verwendet werden, welches dem Fahrer die haptische Ausgabe erklärt. Nach *Peter (2005)* bietet sich hierfür eine Symbolik an, die das eigene Fahrzeug von hinten darstellt und die Seite, auf der die Kollisionsgefahr besteht, durch ein rotes Dreieck markiert. Die Ausgabe kann entweder links im HUD, wenn auf der linken Seite Kollisionsgefahr besteht bzw. rechts im Head-Up-Display, wenn dort das Risiko eines Zusammenstoßes existiert, oder in dem jeweiligen Außenspiegel erfolgen.

Wie die Ausführungen zum Kreuzungsassistenten und zur Spurwechselunterstützung zeigen, können dem Fahrer mit Hilfe der kooperativen Interaktionsmetapher weitere Assistenzfunktionen in einer einheitlichen und intuitiven Weise dargeboten werden sowie aufbauend auf den vorliegenden Erkenntnissen sinnvolle Vorschläge für die Fahrer-Fahrzeug Interaktion erfolgen.

Da die Fahraufgabe eine einzige zweidimensionale Aufgabe ist, sollte in künftigen Arbeiten die vorgestellte Interaktionsmetapher, bei der Fahrer und FAS-Regler über einen gemeinsamen Summenpunkt auf die Fahrzeugdynamik einwirken und der Regler seine Handlungen über eine optische Ausgabe erläutert, auf ein Fahrzeugbedienkonzept mit einem einzigen zweidimensionalen Stellteil übertragen werden. Dadurch würde auch in Bezug auf die Fahrzeugbedienung eine systemergonomisch optimale Lösung entstehen. Als Bedienelement bietet sich hier ein so genannter Sidestick an. Dieser hat gegenüber den herkömmlichen Fahrzeugbedienelementen im Hinblick auf Fahrerassistenzsysteme den Vorteil, dass dann dem Fahrer über ein Nach-Hinten-Drücken des Sidesticks größere Bremsverzögerungen vorgeschlagen werden können als über ein herkömmliches Gaspedal. Sollen über den Sidestick Informationen über die Längsdynamik des Fahrzeuges haptisch rückgemeldet werden, darf dieser allerdings nicht, wie von *Eckstein (2001)* vorgeschlagen, in Längsrichtung isometrisch ausgelegt sein. Die Verwendung eines einzigen zweidimensionalen Stellteils bedingt jedoch nicht zwangsläufig einen Sidestick. *Lammel (1983)* zeigt in seiner Arbeit ein Konzept, bei dem Längs- und Querführung in einem lenkradähnlichen Bedienelement zusammengeführt werden. Dabei kann dieses zum Lenken gedreht, zum Gas geben nach vorne und zum Bremsen nach hinten gekippt werden.

Was den haptischen Interaktionskanal betrifft, ist die so genannte H-Metapher von *Flemisch (2003)* und *Flemisch et al. (2005)* dem hier vorliegenden Konzept der kooperativen Fahrerassistenz sehr ähnlich. Bei der H-Metapher wird der Fahrer als „Reiter“ betrachtet, der über einen Sidestick mit dem Fahrzeug interagiert. Er kann sich dabei, wie ein Reiter auch, im „Loose Rein“ von seinem Gefährt führen lassen bzw. im „Tight Rein“ die Zügel selbst in die Hand nehmen, wird dann aber weiterhin

durch haptische Rückmeldungen unterstützt und über die Situationseinschätzung des Systems informiert. Kombiniert man die H-Metapher mit dem hier vorliegenden Konzept der kooperativen Assistenz, würde der Fahrer im Modus „Tight Rein“ über den Sidestick die herrschenden Grenzen angezeigt bekommen, könnte sich aber innerhalb dieser frei bewegen. Im Modus „Loose Rein“ würde das System die Fahrzeugführung, ähnlich wie es ein ACC in Bezug auf die Längsführung tut, selbstständig übernehmen. Der Fahrer könnte aber jederzeit über die Stellung des Sidesticks die Handlungen überprüfen und diese gegebenenfalls stets überstimmen. Bei der H-Metapher erfolgt die Fahrer-Fahrzeug Interaktion jedoch nur über den haptischen Sinneskanal. Die vorliegende Arbeit verdeutlicht jedoch, dass beide Modi um adäquate optische Rückmeldungen erweitert werden müssten, welche dem Fahrer die vorherrschenden Grenzen rückmelden, ihm die Situationseinschätzung verdeutlichen und die Handlungen des Reglers erklären. Das bedeutet für die Längsführungsunterstützung, dass dem Fahrer optisch die erlaubte Höchstgeschwindigkeit und der korrekte Sicherheitsabstand angezeigt werden sollten, damit er verstehen kann, warum das Assistenzsystem in Längsrichtung plötzlich eine höhere Kraft am Sidestick ausgibt. Ebenso empfiehlt es sich, die entsprechenden Spurbegrenzungslinien kontaktnalog hervorzuheben, wenn über den Sidestick ein ungewolltes Abkommen von der Spur durch ein gegenlenkendes Moment verhindert werden soll. Nur so kann der Fahrer die Systemaktionen verstehen, was zu einer höheren Akzeptanz und zu einem besseren Situationsbewusstsein führt.

Wie die vorliegende Arbeit zeigt, kann durch Fahrerassistenzsysteme ein enormer Beitrag zu Verkehrssicherheit geleistet werden. Dieser positive Effekt kann durch Infrastrukturmaßnahmen ergänzt und weiter verstärkt werden. In Österreich finden deshalb Verkehrssicherheitsüberprüfungen bereits in der Planungs-, Entwurf- und Bauphase statt. So lassen sich potentielle Unfallstellen noch vor der Fertigstellung entschärfen. Daran anschließende periodische Sicherheitsüberprüfungen durch ausgebildete Experten eliminieren Sicherheitsrisiken, bevor Unfälle entstehen.

Literaturverzeichnis

- ASSMANN, E. (1985) - *Untersuchung über den Einfluss einer Bremsweganzeige auf das Fahrerverhalten*; München, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, Dissertation.
- ALLIANCE OF AUTOMOBILE MANUFACTURERS. (2003) - *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems* (draft version 3.0). Washington, D.C.: Alliance of Automobile Manufacturers.
- BaSt Bundesanstalt für Straßenwesen, 2003 - *Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland 2003*. <http://www.bast.de>, Bergisch Gladbach, Stand: 15. August 2005.
- BAILEY, R.E., KRAMER, L.J., PRINZEL, III L.J. (2006) - *Crew and Display Concepts Evaluation for Synthetic / Enhanced Vision Systems*. NASA Langley Research Center, M/S 152, Hampton, VA 23681-0001.
- BAINBRIDGE, L. (1987) - *The Ironies of Automation*, In: Rasmussen, J., Duncan, K & Leplat, J (Eds); *New Technology and Human Error*, Wiley, London.
- BAUER, M., BRUEGGE, B., KLINKER, G., MACWILLIAMS, A., REICHER, T., RISS, S., SANDOR, C., WAGNER, M. (2001) – *Design of a component-based augmented reality framework*. In: ACM Proc. of ISAR. 2001, pp 45-54.
- BERGMEIER, U. (2006) - *HMI-Evaluation von Night Vision Systemen mit Passantenerkennung im Fahrsimulator*. Abschlussbericht NiVi II (Studie 1), Lehrstuhl für Ergonomie TU-München.
- BERGMEIER, U. (2007) - *Entwicklung und Evaluation von HMI-Varianten warnender Night Vision Systemen im Realfahrzeug*. Abschlussbericht NiVi II (Studie 2), Lehrstuhl für Ergonomie TU-München.
- BERNOTAT, R. (1970) - *Anthropotechnik in der Fahrzeugführung*. *Ergonomics*, 13, 353-377.
- BEUSMANS, J. M. H. (1998) - *Optic flow and the metric of the visual ground plane*. *Vision Res.*, 38:1153_1170.
- BOER, E. (2000) - *Behavioural Entropy as an Index of Workload*. Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress.
- BOLTE, U. (1991) – *Das Aktive Stellteil – ein ergonomisches Bedienkonzept*. Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 17, Nr. 75. Düsseldorf: VDI Verlag.
- BORTZ, J. (2005) - *Statistik für Sozialwissenschaftler*, 6. vollst. überarb. Auflage, Berlin, Springer Verlag.
- BOWMAN, D.A., KRUIJFF, E., LAVIOLA, J.J. (2004) - *3D User Interfaces. Theory and Practice*. Addison Wesley.
- BREDENKAMP, J. (1969) – *Experiment und Feldexperiment*, In: C. F. Graumann (Hrsg.), *Sozialpsychologie*, Bd. I. Göttingen.
- BROCKMANN, M., BECKER, S., HUSEMANN, T., MERTENS, A., NIU, R., SONNTAG, A., SONNTAG, J. (1995) - *Integrierte Mensch-Maschine Schnittstelle für die Fahrzeugregelung*, Arbeitspaket 4: AICC - Prototypenevaluation. Köln: TÜV Rheinland.

- BUBB, H. (1975) – *Untersuchung über die Anzeige des Bremsweges im Kraftfahrzeug*. Dissertation am Institut für Ergonomie der TU München.
- BUBB, H. (1977a) - *Analyse der Geschwindigkeitswahrnehmung im Kraftfahrzeug*. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft; 31.Jhg. ; S. 103-112.
- BUBB, H. (1977b) – *Ergonomie des Mensch-Maschine-Systems*. Habilitation am Institut für Ergonomie der TU München.
- BUBB, H. & ASSMANN E. (1988): *Head up Display im Kraftfahrzeug – Abschlussbericht*; München, Ingenieurbüro für Ergonomie.
- BUBB, H. & BOLTE, U. (1990) – *Head-Up-Display im Kraftfahrzeug – eine Literaturrecherche*, Professur für Arbeitswissenschaft, Katholische Universität Eichstätt.
- BUBB, H. & SEIFERT, R. (1992a) - *Struktur des MMS*; In: Bubb, H. (Hrsg.), Menschliche Zuverlässigkeit, Landsberg, ecomed – Fachverlag, p18-20.
- BUBB, H. & SEIFERT, R. (1992b) - *Der Informationsfluss im MMS*; In: Bubb, H. (Hrsg.), Menschliche Zuverlässigkeit, Landsberg, ecomed – Fachverlag, p31-53.
- BUBB, H. (1993a) - *Systemergonomische Gestaltung*; In: Schmidtke, H. (Hrsg.), Ergonomie 3. Auflage, München, Hanser Verlag.
- BUBB, H. (1993b) - *Informationswandel durch das System*; In: Schmidtke, H. (Hrsg.), Ergonomie 3. Auflage, München, Hanser Verlag.
- BUBB, H. & SCHMIDTKE, H. (1993c) - *Systemstruktur*; In: Schmidtke, H. (Hrsg.), Ergonomie 3. Auflage, München, Hanser Verlag.
- BUBB, H. (1993d) - *Reliability of the driver. A method of driver modelling for evaluation of driver failure*. In: Kuratorium f. Verkehrssicherheit (Hrsg.): Safety evaluation of traffic conflicts and other measures. Salzburg, S 165-178.
- BUBB, H. (2001) - *Haptik im Kraftfahrzeug*. In Klaus-Peter Timpe: Kraftfahrzeugführung. Springer-Verlag.
- BUBB, H. (2003) - 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.
- BUBB, H. (2005) - *Driver Assistance - A Contribution to Safety and Comfort or Technical Gimmicks?* In: Proceedings International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety.
- BUBB, H. & REICHART, G. (2005) - *Ingenieurpsychologische Modellierung des Fahrens*. In: Enzyklopädie der Psychologie, Verkehrspsychologie (in Vorbereitung).
- BULD, S., KRÜGER, H.-P., HOFFMANN, S., KAUSSNER, A., TIETZE, H., TOTZKE, I. (2002) - *Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit*, Abschlussbericht des BMB+F geförderten Projektes EMPHASIS, Förderkennzeichen: 19 S 9812 7.
- BUSCH, S. & STANZEL, M. (2003) - *Einsatzmöglichkeiten der GIDAS-Daten für Fragestellungen der aktiven Sicherheit*. In H. Brunner & H. Zwipp (Hrsg.), 1. Dresdner Tagung. Verkehrssicherheit interdisziplinär vom 27.-28. Juni 2003. Tagungsband (S. 120-131). Dresden: Eigenverlag.

- BUSCHARDT, B. (2003) - *Synthetische Lenkmomente*. Fortschrittberichte VDI, Reihe 22, Nr. 12; ZMMS-Spektrum Band 16; VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf; 2003. ISBN 3-18-3001222-7.
- BÜHL, A. & ZÖFEL, P. (2005) – *SPSS 12 Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*, 9. überarb. Auflage, Pearson Education Deutschland.
- CAMPBELL, J. L., CARNEY, C., & KANTOWITZ, B. H. (1997) - *Human Factors Design Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO)* (Technical Report No. FHWA-RD-98-057). Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- CAMPBELL J.L., HOFFMEISTER D.H., KIEFER R. J., SELKE D. J., GREEN P. , RICHMAN J.B. (2004) - *Comprehension Testing of Active Safety Symbols*. SAE International, 2004-01-0450.
- COHEN, A.S. (1987) - *Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern*. Hrsg. Bundesanstalt für Straßenwesen. Forschungsbericht der BASt., Bereich Unfallforschung Nr. 57.
- COHEN, A.S. (1994) - *Verkehrszeichen*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, ZVS; Jg. 40; Heft 2.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. (1999) - Statement of Principles on Human Machine Interface (HMI) for In-Vehicle Information and Communication Systems ("EU Principles"). In *Commission Recommendation of 21 December 1999 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: A European statement of principles on human machine interface*. Brussels, Belgium: European Union.
- CROSSMAN, E.R.F.W. & SZOSTAK; H. (1969) - *Man-Machine-Models for Car-Steering*. Forth Annual NASA – University Conference on Manual Control. National Aeronautics and Space Administration, Washington.
- DAHMEN-ZIMMER, K. (2005) – *Fahrverhalten und Leistungsfähigkeit älterer Autofahrer*. Lehrstuhl für Allgemeine und Angewandte Psychologie Universität Regensburg, Seminarvortrag.
- DIN EN ISO 15008:2003 - *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Anforderungen und Bewertungsmethoden der visuellen Informationsdarstellung im Fahrzeug* (ISO 15008:2003): Deutsches Institut für Normung.
- DINGUS, T. A., MCGEHEE, D. V., MANAKKAL, N., JAHNS, S. K., CARNEY, C., HANKEY, J.M. (1997) - *Human factors field evaluation of automotive headway maintenance/collision warning devices*. Human Factors, 39(2), S. 216-229.
- DOBLER, K. (2000) – *Untersuchung zu räumlich integrierten Flugführungsanzeigen*, Dissertation, Technische Universität München, München 2000.
- DONGES, E. (1978) - *Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 24, S. 98-112.
- ECKSTEIN, L. (2001) - *Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und von Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit aktiven Sidesticks*. Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 12, Nr. 471, VDI-Verlag, Düsseldorf.

- ENDSLEY, M. R. & KIRIS, E. O. (1995) - *The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation*. Human Factors, 37(2), 381 - 394.
- EN ISO 15007-1:2002 - *Straßenfahrzeuge - Messung des Blickverhaltens von Fahrern bei Fahrzeugen mit Fahrerinformations- und -assistenzsystemen - Teil 1: Begriffe und Parameter (ISO 15007-1:2002)* Europäisches Komitee für Normung.
- EUROPA (2005) – GATEWAY TO THE EUROPEAN UNION - *Actual figures of fatalities*. <http://europa.eu.int>, Stand: 15. August 2005.
- EUROPA (2005) – GATEWAY TO THE EUROPEAN UNION - *Weißbuch: Die europäische Verkehrspolitik bis 2010*, <http://europa.eu.int>, Stand: 15. August 2005.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION. (2001) - *Weißbuch – Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft*. Luxembourg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften.
- FANCHER, P., ERVIN, R., SAYER, J., HAGAN, M., BOGARD, S., BAREKET, Z., MEFFORD, M., HAUGEN, J. (1998) - *Intelligent Cruise Control Field Operational Test (Final Report)* (UMTRI-98-17). University of Michigan: Transportation Research Institute.
- FASTENMEIER, W. (ED.). (1995) - *Autofahrer und Verkehrssituation: neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. (Vol. 33). Köln/Bonn: Verlag TÜV Rheinland/Deutscher Psychologen-Verlag.
- FASTENMEIER, W., GSTALTER, H., GALSTERER, H. (1995) - *Sicherheitsbewertung von PROMETHEUS-Systemen mit Hilfe situations- und verhaltensbezogener Kenngrößen*. Endbericht zu PROMETHEUS Phase III. München: Diagnose & Transfer - Institut für Angewandte Psychologie.
- FASTENMEIER, W., STADLER, P., LERNER, G. (1995) - *Situationsbezogene Fahrerunterstützung durch AICC*. In W. Fastenmeier (Ed.), *Autofahrer und Verkehrssituation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (pp. 181-198). Köln: TÜV Rheinland.
- FASTENMEIER, W. (2005) – *Das Fahrerverhalten in Kreuzungen: Welche Fehler begehen ältere Autofahrer? Vortrag auf dem Deutschen Psychologentag 2005, 10.-12.11.2005 in Potsdam*.
- FÄRBER, B. (1986) - *Abstandswahrnehmung und Bremsverhalten von Kraftfahrern im fließenden Verkehr*. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 32(1), S. 9-13.
- FIALA, E. (1966) - *Lenken von Fahrzeugen als kybernetische Aufgabe*. Automobiltechnische Zeitschrift 68/5, 156.
- FLEMISCH, F.O. (2003) - *Was kommt nach User Centered Design? (Skizze auf der Suche nach Leitmotiven für das Entwerfen und Gestalten)*. 5. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine Systeme "Entwerfen und Gestalten"; ZMMS Berlin.
- FLEMISCH, F.O., SCHOMERUS, J., KELSCH, J., SCHMUNTZSCH, U. (2005) – *Vom Fahrer zum Reiter? Zwischenbericht auf dem Weg von der H-Metapher zum H-Mode für Bodenfahrzeuge*. In: Proceedings VDI/VDE-Konferenz „Fahrer im 21. Jahrhundert“, Braunschweig.

- FRENZ, H. (2003) – *Distance Perception derived from Optic Flow*. Dissertation am Lehrstuhl für Allgemeine Zoologie und Neurobiologie der Ruhr-Universität Bochum.
- GEISER, G. (1985): *Mensch – Maschine – Kommunikation im Kraftfahrzeug*; In: ATZ 87 (1985) 2 S. 74 -77.
- GENGENBACH, R. (1997) – *Fahrerverhalten im Pkw mit Head-Up-Display – Gewöhnung und visuelle Aufmerksamkeit*, Dissertation, Technische Universität München, München 1997.
- GIBSON, J.J. & CROOKS, L. (1938) - A theoretical field-analysis of automobile driving. *American Journal of Psychology*, 51, 453-471.
- GIBSON, J.J. (1979) - *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin;1973; Deutsch: "Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung"; München: Urban und Schwarzenberg.
- GISH, K. W. & STAPLIN, L. (1995) - *Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature* (No. DOT HS 808 320). Washington, DC: Office of Crash Avoidance Research, National Highway Traffic Safety Administration.
- GREEN, P., LEVISON, W., PAELKE, G., & SERAFIN, C. (1993) - *Preliminary Human Factors Guidelines for Driver Information Systems* (Technical Report No. UMTRI-93-21). Ann Arbor, MI: The University of Michigan Transportation Research Institute.
- GREEN, P., LEVISON, W., PAELKE, G., & SERAFIN, C. (1994) - *Suggested Human Factors Design Guidelines for Driver Information Systems* (Technical Report No. FHWA-RD-94-087). Ann Arbor, MI: The University of Michigan Transportation Research Institute.
- GRÜNDL, M. (2006) - *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Universität Regensburg, Regensburg 2005.
- GRÜNDL, M. (2007) – *Fahrerantizipation*. In: Lange, C., Gründl, M., Tönnis, M. (2007) – Abschlussbericht zum Kooperationsprojekt TUMMIC - Mensch Maschine Interaktion im Fahrzeug Phase IV - *Fahrerantizipation* (2007).
- GODTHELP, J. & KONINGS, H. (1981) - *Levels of steering control; some notes on the time-to-line crossing concept as related to driver strategy*. In Proceedings of the First European Annual Conference on Human Decision and Manual Control (pp. 343-357). Delft, The Netherlands: Technical University.
- GODTHELP, H., MILGRAM, P., BLAAUW, J. (1984) - *The Development of a Time-related Measure to Describe Driving Strategy*. *Human Factors*, 26(3), 257-268.
- GODTHELP, H. & KÄPPLER, W. D. (1988) – *Effects of Vehicle Handling Characteristics on Driving Strategy*, *Human Factors* 30(2).
- GOLDSTEIN, E. BR. (2002) – *Wahrnehmungspsychologie*. 2. Deutsche Ausgabe hrsg von Manfred Ritter, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin, ISBN 3-8274-1083-5.

- GORJESTANI, A., ALEXANDER, L., NEWSTROM, B., CHENG, P.-M., SERGI, M., SHANKWITZ, C., DONATH, M. (2003) - *Driver Assistive Systems for Snowplows*. Part of the Intelligent Vehicle Initiative, Report No. MN/RC – 2003-13; Final Report 2002. Minnesota Department of Transportation.
- HÄKKINEN, S. (1974) - *Large scale field experiments on driver behavior*. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Jg. 20, 2, S. 75–92.
- HALE, A. R., STOOP, J. & HOMMELS, J. (1990) - *Human error models as predictor of accident scenarios for designer in road transport systems*. Ergonomics, 33, 1377 – 1387.
- HARVEY, L. O. & MICHON, J. A. (1971) - *The Perception of Manoeuvres of Moving Vehicles*. Progress Report I – Effects of Viewing Distance and Angular Operation. Institut for Perception RVS - TNO, Soesterberg, IZF Report 1971 – 06.
- HASSENZAHL M., BURMESTER M., KOLLER F. (2003) - *AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität*. In: J. Ziegler & G. Szwillus (Eds.), Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung (pp. 187-196). Stuttgart, Leipzig: B.G. Teubner.
- HASTE; <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/haste/workplan.htm>.
- HEINECKE, A. M. (2003) - *Mensch-Computer-Interaktion, Teil 1*. Skript zur Vorlesung. FH Gelsenkirchen - FB Informatik. Interaktive Systeme.
- HELLER, K. & ROSEMANN, B. (1974) – *Planung und Auswertung empirischer Untersuchungen*. 1. Auflage, Stuttgart, Ernst Klett Verlag.
- HEIBING, B (2006) - *Grundlagen des Kraftfahrzeugbaus*. Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik TU München, Umdruck zur Vorlesung, 2006.
- HERCZEG, M. (2005) – *Softwareergonomie*. 2. Auflage, Oldenbourg, Wissenschaftsverlag GmbH.
- HERRIN, G. D. & NEUHARDT, J. B. (1974) - *An empirical model for automobile driver horizontal curve negotiation*. Human Factors, 16, 129-133.
- HJÄLMDAHL, M., ALMQVIST, S., VÁRHELYI, A. (2002) - *Speed regulation by in-car active accelerator pedal – Effects on speed and speed distribution*. IATSS Research Vol. 26, No. 2, pp 60-67.
- HJÄLMDAHL, M. (2004) - *In-vehicle speed adaptation - On the effectiveness of a voluntary system*. Doctoral Thesis; Lund, Dept. of Technology and Society, Traffic Engineering.
- HOEDEMAEKER, M., ANDRIESSEN, J. H. T. H., WIETHOFF, M., BROOKHUIS, K. A. (1998) - *Effects of Driving Style on Headway Preference and Acceptance of an Adaptive Cruise Control (ACC)*. IATSS Research, 22(2), 29-36.
- HOGEMA, J. H., VAN DER HORST, A. R. A., JANSSEN, W. H. (1994) – *A Simulator Evaluation of Different Forms of Intelligent Cruise Control*. TNO Human Factors Research Institute, Report TM 1994 C-30.
- HOGEMA, J. H., VAN DER HORST, A. R. A., JANSSEN, W. H. (1995) – *Linking Roadside Communication and Intelligent Cruise Control; Effects on Driving Behaviour*. Proceedings of the 5th International EAEC Congress, Strasbourg 1995.

- HOGEMA, J. H., VAN AREM, B., SMULDERS, S. A., COEMET, M. J. (1997) - *Modelling Changes in Driving Behaviour: On the Effects of Autonomous Intelligent Cruise Control*. In T. Rothengatter & E. C. Vaya (Eds.), *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application* (pp. 237-246). Amsterdam, New York: Pergamon.
- HOLST V.E. (1957) – *Aktive Leistungen der menschlichen Gesichtswahrnehmung*. *Studium Generale*, 10,4, 232-243.
- ISO/TS 15007-2:2001 - *Road vehicles — Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems - Part 2: Equipment and procedures*.
- JAMAL, R. & HAGESTEDT, A. (2004) - *LabVIEW für Studenten*. Pearson Studium, 4. Auflage, 2004.
- JANSSEN, W. H. & THOMAS, H. (1997) - *In-Vehicle Collision Avoidance Support under Adverse Visibility Conditions*. In Y. I. Noy (Ed.), *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces* (pp. 221-229). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- JOHANSSON, E., ENGSTRÖM, J., CHERRI, C., NODARI, E., TOFFETTI, A., SCHINDHELM, R., GELAU, C. (2005) - *Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment*. Deliverable 2.2.1, Project AIDE – Adaptive integrated driver-vehicle interface.
- JOHANSSON, G. & RUMAR, K. (1966) - *Drivers and Road signs: A preliminary investigation of the capacity of car drivers to get information from road signs*. *Ergonomics* 9 (1); 1966.
- KEIDEL, W.D. (1970) - *Informationsverarbeitung*. In: Keidel, W.D., (Hrsg.); *Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie*; Stuttgart; Thieme.
- KELLEY, C. R., MITCHEL, M. B., STRUDWICK, P. H. (1964) – *Applications of the Predictor Displays to the control of Space Vehicles*. Dunlap and Associates Inc., Santa Monica, California.
- KIRCHNER, S. (2006) – *Planung, Durchführung und Auswertung von Fahr Simulatorversuchen zur Evaluierung von Night Vision Systemen mit Objektdetektion*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.
- KLAUKE, D. (2005) – *DRIVOR 2005 – Fahrzeugverbrauchsrechnungen mit Excel für Windows*; Dortmund.
- KOSAKA, H., KOYAMA, H., HIROKAZU, H. (2005) - *Analysis of Driver's Behavior from Heart Rate and Eye Movement When He/She Causes an Accident Between Cars at an Intersection*. Paper presented at SAE 2005 World Congress & Exhibition, April 2005, Detroit, MI, USA, Session: Human Factors in Driving and Telematics (Part 1 & 2 of 2)
- KOSCHLIG, G. (1974) - *Der Mensch im Straßenverkehr*. In: *Handbuch städtischer Verkehr*. 2.unveränderte Auflage. Transpress VEB-Verlag für Verkehrswesen. Berlin.
- KÖNIG, W., WEIB, K.-E., MAYSER, C. (2002) - *S.A.N.T.O.S. Situations-Angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung*, Gemeinsamer Projektabschlussbericht der Robert Bosch GmbH und der BMW Group.

- KRAMER, L.J., PRINZEL, III L.J., ARTHUR, III J.J., BAILEY, R.E. (2004) - *Pathway design effects on synthetic vision head up displays*. NASA Langley Research Center, 24 West Taylor Street, Hampton, VA, USA.
- KROEMER, K. H. E. & GRANDJEAN, E. (1997). *Fitting the Task to the Human* (Fifth Edition ed.). London: Taylor & Francis.
- KUMAR M. & KIM T. (2005) - *Dynamic Speedometer: Dashboard Redesign to Discourage Drivers from Speeding*. CHI, April 2-7, 2005, Portland, Oregon, USA.
- LAMBLE, D., LAAKSO, M., SUMMALA, H. (1999) - *Detection thresholds in car following situations and peripheral vision: implications for positioning of visually demanding in-car displays*. In: *Ergonomics* 42 (6), S. 807-815.
- LAMMEL, U. (1983) – *Gestaltung eines Fahrerarbeitsplatzes nach ergonomischen Gesichtspunkten*. Diplomarbeit Fachbereich Industrial Design, FH München.
- LANGE, C. (2004) – *Ergonomische Analyse von Fahrerassistenzsystemen*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.
- LANGE C. (2005) - *The development and usage of Dikablis (Digital wireless gaze tracking system)*, Thirteenth European Conference on Eye Movements ECEM13 Abstracts, Bern.
- LANGE C., TÖNNIS M., BUBB H., KLINKER G. (2006a) - *Einfluss eines aktiven Gaspedals auf Akzeptanz, Blickverhalten und Fahrperformance*. In: *Proceedings 22. Internationale VDI/VW Gemeinschaftstagung Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme*, Wolfsburg.
- LANGE, C., WOHLFARTER M., BUBB, H. (2006b) - *Vergleichbarkeit von Usability Lab und Realversuch zur Bestimmung der ergonomischen Güte und der Ablenkungswirkung von Nebenaufgaben im Kfz*. In: *Proceedings GfA Gesellschaft für Arbeitswissenschaften Kongress*, Stuttgart 2006.
- LANGE C., YOO J.-W., WOHLFARTER M., BUBB H. (2006c) - *Dikablis - Operation mode and evaluation of the human-machine interaction*. Spring Conference of Ergonomics Society of Korea, Seoul.
- LANGE C., WOHLFARTER M. (2006d) – *Blickerfassung*. In: *Linux Magazin* 07/06, S. 110.
- LANGE C., WOHLFARTER M., BUBB H. (2006e) - *Dikablis - engineering and application area*. In: *Proceedings IEA 2006 16th World Congress on Ergonomics*, Maastricht the Netherlands.
- LANGE C., WOHLFARTER M. (2006f) - *Schau mir in die Augen, Dikablis - Blickerfassungssysteme in der Ergonomie*. In: *TUM - Mitteilungen der Technischen Universität München*.
- LANGE, C. (2007) – *Fahrerverhalten*. In: Lange, C., Gründl, M., Tönnis, M. (2007) – *Abschlussbericht zum Kooperationsprojekt TUMMIC - Mensch Maschine Interaktion im Fahrzeug Phase IV - Fahrerantizipation* (2007).
- LEE, D.N. (1976) - A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- LERNER, N.D. (1996) - *Preliminary Human Factors Guidelines for Crash Avoidance Warning Devices*. NHTSA Project No. DTNH22-91-C-07004, Silver Spring.

- LEUTZBACH, W. (1987) – *Wahrnehmung und Fahrverhalten*. In: ADAC Schriftenreihe Straßenverkehr, Heft Nr. 32, ADAC Verlag, München.
- LIU, SCHREINER, DINGUS. (1999) - *Development of human factors guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operation (CVO): Human Factors Evaluation of the Effectiveness of Multimodality Displays*. In ATIS. NHTSA FHWA-RD-96-150.
- MACK, A. & I. ROCK (2000) - *Inattentional Blindness*, in *Seminar: "Philosophische und psychologische Probleme des Bewusstseinsbegriffs"*.
- MADER, F. (2004) - *Entwurf und Integration eines kamerabasierten Trackingsystems für ein Flugzeugcockpit zur Darstellung fortschrittlicher Flugführungsinformationen in einem Head-Mounted Display*. Diplomarbeit, TU München.
- MALATERRE, G. (1994) - *Méthode de mesure de la charge de travail en situation de conduite simulée et réelle*. Rapport INRETS n 191.
- MANN, M. (2007) - *Benutzerzentrierte Entwicklung und fahrergerechte Auslegung eines Querführungsassistenten*, Dissertation, Technische Universität München.
- MARSTALLER, R. (2001) - *Fahrerverhaltensänderungen bei der fahrerassistierten Kfz-Steuerung mit aktiven Bedienelementen gegenüber dem konventionellen Bedienkonzept*. In: Proceedings of VDI/SAE/JSAE Gemeinschaftstagung „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“, Berlin 3.-4. Mai 2001, VDI-Berichte 1613, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 297-313, 2001.
- MARSTALLER, R., BUBB, H. STRÄTER, O. (2002) - *S.A.N.T.O.S. Situations-Angepasste und Nutzer-Typ-zentrierte Optimierung von Systemen zur Fahrerunterstützung*, Abschlussbericht des Lehrstuhls für Ergonomie der TU-München.
- MATTES, S. (2003) - *The Lane Change Task as a Tool for driver Distraction Evaluation*. In H. Strasser, H. Rausch & H. Bubb (Eds.), *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future*. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- MENN, M., STUDER, N., COHEN, A. (2005) - *Eye movement behaviour when driving through the Gotthard tunnel: A pilot study*, ECEM13 Bern 2005, European Conference on Eye Movements.
- METZGER, W. (1966) – *Das einäugige Tiefensehen*. In: Handbuch der Psychologie Bd. I: Allgemeine Psychologie S. 556 ff., Verlag für Psychologie, Dr. C. Hogrefe, Göttingen.
- MEYER, O.; DIDIER, M. (2003) - *Driver Behavior During Left Turn – A Field and Simulator Experiment*. In: *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future*. Proceedings of the Annual Spring Conference of the GfA on the Occasion of the Foundation of the Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA) and the XVII Annual Conference on the International Society for Occupational Ergonomics & Safety (ISOES), 7 – 9 Mai 2003, München, S. 63 – 67.
- MITSCHKE, M. – *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 1972.

- MÖRI, M. & ABDEL-HALIM, M. H. (1981) - *Road sign recognition and non-recognition*, *Accid. Anal. & Prew.* Vol. 13; Pergamon Press Ltd.; Great Britain.
- MULDER, M. (2007) - *Haptic Gas Pedal Feedback for Active Car-Following Support*. Doctoral Thesis; Technische Universität Delft.
- MUTSCHER, H. (1995) - *Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik Heft F11.
- NASA Task Load Index (TLX) V1.0 Users Manual.
- NILSSON, L. & NABO, A. (1994) - *Evaluation of Application 3: Intelligent Cruise Control Simulator Experiment. Effects of Different Levels of Automation on Driver Behaviour, Workload and Attitudes* (Deliverable No. 10, Project V2006 (EMMIS), Drive II).
- NIRSCHL, G. & ECK, R. (1994) - *Driver- and Situation-Specific Effects on Assistance Systems for Speed and Distance Control*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting.
- Nirschl, G. (1995). Fahrer- und situationspezifische Einflussfaktoren bei AICC Fahrerassistenzsystemen. IITB-Mitteilungen, 39-48.
- ÖSTLUND, J., NILSSON, L., CARSTEN, O., MERAT, N., JAMSON, H, JAMSON, S., MOUTA, S., CARVALHAIS, J., SANTOS, J., ANTTILA, V., SANDBERG, H., LUOMA, J., DE WAARD, D., BROOKHUIS, K., JOHANSSON, E., ENGSTRÖM, J., VICTOR, T., HARBLUK, J., JANSSEN, W., BROUWER, R. (2004) - *Deliverable 2 - HMI and Safety-Related Driver Performance*. Human Machine Interface and the Safety of Traffic in Europe. Project GRD1/2000/25361 S12.319626.
- PARASURAMAN, R. (1979) - *Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse*. In Human Factors. Human Factors and Ergonomics Society.
- PENKA A. (2000) - *Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen aktiven Bedienelementen*, München, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München, Dissertation.
- PETER, J. (2005) - *Entwicklung und Evaluierung von Fahrerassistenz- und -informationssymbolen*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.
- PETERS, B. (1996) - *Evaluation of an Adaptive Cruise Control (ACC) System used by Drivers with Lower Limb Impairments*. Paper presented at the Third World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando, USA.
- PFLEGER, E., BERGER, W. J., PICHLER, C. (1994) - *Unfallursachenforschung bei Unfallhäufungsstellen – Fallbeispiele für Informationsdefizite*. In: Marx, E.: Informationsaufnahme des Verkehrsteilnehmers. Heft 24, Beiträge zur 3. Fachtagung Verkehrssicherheit am 5. November 1992 in Wien, Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, S. 47-83.
- POHL, J., EKMARK, J. (2003) - *Development of a Haptic Intervention System for Unintended Lane Departure*. In: Proc. SAE International.
- POMERLEAU, D. (1999) - *Run-Off-Road Collision Avoidance Using IVHS Countermeasures*, Final Report, NHTSA, DOT HS 809 170, USA 1999.

- POPIV, D. (2006) - *Integration of a Component Based Driving Simulator and Design of Experiments on Multimodal Driver Assistance*, Master's Thesis, Fachgebiet für Augmented Reality der TU München.
- PROBST, T. (1986) - *Thresholds for detection of changes in headway are elevated during car ride*. In: Gale, A. G. (Hrsg.): *Vision in Vehicles*, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam.
- RASMUSSEN, J. (1983) - *Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols and other distractions in human performance models*. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. Vd. SMC – 13, 257-266.
- RASSL, R. (2004) - *Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw - Systemergonomische Analyse und Prognose*. Dissertation, Technische Universität München, München 2004.
- REASON, J. (1994) - *Menschliches Versagen: Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Heidelberg: Spektrum.
- REICHART, G. & HALLER, R. (1995) – *Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeug und Straßenverkehr*, In: Fastenmeier, W. (Hrsg.), *Autofahrer und Verkehrssituation: neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. (Vol. 33). Köln/Bonn: Verlag TÜV Rheinland/Deutscher Psychologen-Verlag.
- REICHART, G. (2000) - *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen – Möglichkeiten der Analyse und Bewertung*. Dissertation am Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.
- RIEKERT, P. & SCHUNK, T.E. (1940) - *Zur Fahrmechanik des gummibereiften Kraftfahrzeugs*. Ingenieur-Archiv 11, S. 210–224.
- RISSER, R. & LEHNER, U. (1997) - *Evaluation of an ACC (Autonomous Cruise Control) System with the Help of Behaviour Observation*. Paper presented at the Mobility for Everybody - 4th World Congress On Intelligent Transport Systems, Brüssel.
- ROCKWELL, T.H. & SNIDER J.N. (1965) – *An Investigation of Variability in Driving Performance on the Highway*. Accident Prevention Grants Division. U.S. Public Health Service-. Grant No AC 00-28-02.
- ROCKWELL, T. H. (1971) - *Eye movement analysis of visual information acquisition in driving:an overview*. Paper presented at the North Carolina State University, Raleigh, 1971.
- ROTHENGATTER, J. A. & HEINO, A. (1994) - *Safety Evaluation of Collision Avoidance Systems*. Paper presented at the Proceedings of the 1st World Congress on ATT and IVHS.
- RÜHMANN, H.; SCHMIDTKE, H. (1985) - *Isometrische Maximalkräfte von Männern und Frauen an Hand- und Fußstellteilen*. Ergonomische Studien. Bericht Nr. 29. München.
- SAE J-2396 (1999) – *Definition and Experimental Measures Related to the Specification of Driver Visual Behaviour Using Video Based Techniques*, ISO/TC 22/SC 13/WG 8.

- SAITO, S. (1992) - *Does fatigue exist in a quantitative measurement of eye movements?* Ergonomics, 35, 607-615.
- SATO, K. ET AL. (1998) - *A Study on a Lane Departure Warning System using a Steering Torque as a Warning Signal*. In: Proc. of the International Symposium on Advanced Vehicle Control AVEC' 98, Nagoya, Japan, 14.-18. September 1998, Society of Automotive Engineers of Japan (JSAE), Tokio (Japan), S. 479-484.
- SCHEUCHENPFLUG, R., PIECHULLA, W., GREIN, M., KRÜGER, H.-P. (2003) - „*FVM AP 1400 Abschlussbericht*“, Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW), Würzburg 2003.
- SCHMIDT, N.M. (2006) – *Akzeptanz kontaktanaloger Fahrerassistenzinformationen im Head-Up-Display*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.
- SCHMIDTKE, H. (1989a) - *Allgemeine Gestaltungsregeln für Steueramaturen*. In: Handbuch der Ergonomie. Kapitel C-9.1.1. Carl Hauser Verlag. München, Wien.
- SCHMIDTKE, H. (1989b) - *Pedale*. In: Handbuch der Ergonomie. Kapitel C-9.3.2. Carl Hauser Verlag. München, Wien.
- SCHNEIDER, W. (1995) - *Wahrnehmung von Verkehrszeichen*. Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik; Heft 697; Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.); Typo-Druck- und Verlagsgesellschaft mbH; Bonn.
- SCHUHMANN, J., NAAB, K. (1992) - *On the effectiveness of an active steering wheel in critical driving situations – a proving ground experiment*. In: Proc. Of Conference Road Safety in Europe, VTI Rapport 380A, Part 4, S. 194-208.
- SCHUHMANN, J. (1994) - *On the use of discrete proprioceptive-tactile warning signals during manual control- The steering wheel as an active control device*. Dissertation, Hochschule der Bundeswehr München, Waxmann Verlag, Münster.
- SCHWEIGERT, M. (2003) - *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Dissertation. Technische Universität München.
- STEWART, J. D. (1971) - *Human Perception of angular acceleration and implications in motion simulator*. Vol. 8, 1971.
- STÜRZER, W. (1983) – *Einfluss des Head-up-Displays des Bremsweges auf das Abstands- und Reaktionsverhalten des Kraftfahrers, untersucht an einem Simulator*. Diplomarbeit, Institut für Ergonomie der TU München.
- TAIEB-MAIMON, M. & SHINAR, D. (2001) - *Minimum and comfortable driving headways: Reality versus perception*. In: Human Factors, Vol. 43 (1), S. 159-172.
- THOMPSON, L. (2005) - *Development and Evaluation of a Driver Assistance Concept for Speed and Lane Assistance*, Master Thesis, Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.
- TÖNNIS, M. (2005a) – *Demonstrator*. In: Ablassmeier, M., Ackermann, C., Gründl, M., Härtl, K., Lange, C., Tönnis, M., Winter, S. (2005) – *Abschlussbericht der Phase II des Kooperationsprojektes TUMMIC - Mensch Maschine Interaktion im Kraftfahrzeug*.

- TÖNNIS, M., SANDOR, C., KLINKER, G., LANGE, C., BUBB, H. (2005b) - *Experimental Evaluation of an Augmented Reality Visualization for Directing a Car Driver's Attention*. The Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Vienna, Austria, Oct. 5 - 8, 2005.
- TOMASKE, W. & FORTMÜLLER, T. (2001) - *Der Einfluss von Wahrnehmungsschwellen auf die Auslegung von Bewegungssystemen in der Fahrsimulation*. In: Gärtner, K.-P. Grandt, M. (Hrsg.): *Human Factors bei der Entwicklung von Fahrzeugen*. Anhang 1 zum DGLR-Bericht 2001-06.
- TRAXEL, W. (1964) – *Einführung in die Methodik der Psychologie*, 2. Auflage 1973, Bern/Stuttgart.
- TSIMHONI, O., WATANABE, H., GREEN, P., FRIEDMAN, D. (2000) - *Display of Short Text Messages on Automotive HUDs: Effects of Workload and Location on Driving*. (No. UMTRI-00-13).
- VAN DER HORST, R. & GODTHELP, H. (1989) - *Measuring road user behaviour with an instrumented car and an outside-the-vehicle video observation technique*. Transportation Research Record # 1213, Washington DC: Transportation Research Board, 72-81.
- VAN DER HORST, R. (1991) - *Time-to-collision as a cue for decision-making in braking*. In: Gale, A. G. (Hrsg.): *Vision in Vehicles III*, Elsevier Science Publisher B.V. (North Holland), Amsterdam, S. 19-26.
- VAN DER HULST, M., ROTHENGATTER, T., HEINO, A. (1996) - *Effectiveness of Distance-Deeping Support Systems*, 179-184.
- VÁRHELYI, A., HJÄLMDAHL, M., HYDÉN, C., DRASKÓCZY, M. (2003) - *Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas*. Accident Analysis and Prevention, In Press.
- VISION ZERO - <http://www.bfu.ch/vision-zero/ziele.htm>, Bern, Stand: 13. Januar 2007.
- VOLLRATH, M., BRÜNGR-KOCH, M., SCHIESSL, C., WAIBEL, F., (2004) - Internal final report by order of BMW Group, Robert Bosch GmbH, DaimlerChrysler AG, Volkswagen AG; DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsführung und Verkehrssteuerung, Braunschweig.
- VOLLRATH, M. & MEYER ZU HÖRSTE, M. (2006) – *Entwicklung und Bewertung von Automation – vom Auto zur Bahn und zurück*. 7. Bieleeschweig Workshop, Systems Engineering: Model-Based Development & Human-Centered Engineering; 4./5. Mai 2006 München.
- VOLLRATH, M. (2007) – *Mobil im Alter – und die Sicherheit?*. VDI Berichte Nr. 2015, S. 139-150.
- WARD, N. J., PARKES, A., CRONE, P. R. (1995) - *Effect of Background Scene Complexity and Field Dependence on the Legibility of Head-Up Displays for Automotive Applications*. Human Factors, 37(4), 735-745.
- WARREN, W.H. (1995) - *Self-Motion: Visual perception and visual control*. In: W. Epstein & S. Rogers (Hrsg.) "Handbook of perception and cognition: perception of space and motion"; New York; Academic Press.
- WEINBERGER, M. (2001) – *Der Einfluss von Adaptive Cruise Control Systemen auf das Fahrerverhalten*. Dissertation, Technische Universität München.

- WEINTRAUB, D. J. & ENSING, M. (1992) - *Human factors issues in Head-Up Display Design: The book of HUD* (No. SOAR 92-2). Wright-Patterson AFB, OH: U.S. Air Force, CSERIAC.
- WICKENS, C. D., LEE, J. D., LIU, Y. D., GORDON-BECKER, S. E. (2004) - *An Introduction to Human Factors Engineering* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- WIERWILLE, W., ANTIN, J. F., DINGUS, T. A., & HULSE, M. C. (1988) -. *Visual attentional demand of an in-car navigation display system*. In: A. G. Gale, M. H. Freeman, C. M. Haslegrave, P. Smith & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles II* (pp. 307-316). Amsterdam: Elsevier.
- WIERWILLE, W., TIJERINA, L., KIGER, S., ROCKWELL, T., LAUBER, E. BITTNER, A. JR. (1996) - *Heavy Vehicle Driver Workload Assessment. Task 4: Review of Workload and Related Research*. US Department of Transportation, NHTSA. DOT HS 808 467 (4).
- WOLF H, ZÖLLNER R, BUBB, H. (2005) - *Ergonomische Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion bei gleichzeitig agierenden Fahrerassistenzsystemen*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Vol. 3, No. 51. pp. 119-124.
- WOHLFARTER, M. (2005) - *Akzeptanz und Effektivität von Fahrerassistenzanzeigen im Head-Up-Display am Beispiel ACC und NAVI - Teil 1: Ergebnisse der Untersuchung*. Abschlussbericht Lehrstuhl für Ergonomie, TU München 2005.
- YOO, H., TSIMHONI, O., WATANABE, H., GREEN, P., SHAH, R. (1999) - *Display of HUD Warnings to Drivers: Determining an Optimal Location* (Technical Report No. UMTRI-99-5). Ann Arbor, MI: The University of Michigan Transportation Research Institute.

Anhang

Demografischer Fragebogen



DEMOGRAFISCHER FRAGEBOGEN



1 Angaben zur Person

Alter:	
Beruf:	
Geschlecht:	<input type="checkbox"/> Männlich <input type="checkbox"/> Weiblich
Händigkeit:	<input type="checkbox"/> Linkshänder <input type="checkbox"/> Rechtshänder <input type="checkbox"/> Beides
Brille:	<input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> zum Autofahren <input type="checkbox"/> zum Lesen
Farbenblindheit:	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> wenn ja, welche Art: _____
Wie viele Personen leben in Ihrem Haushalt?	
Wie viele Autos befinden sich in Ihrem Haushalt?	

Haben Sie bisher schon an einem Fahrversuch teilgenommen?
<input type="checkbox"/> Ja, in einem Simulator
<input type="checkbox"/> Ja, in einem Versuchsfahrzeug
<input type="checkbox"/> Ja, beides (Simulator und Versuchsfahrzeug)
<input type="checkbox"/> Nein, noch nie

DEMOGRAFISCHER FRAGEBOGEN



2 Angaben zur Fahrerfahrung

Seit wann besitzen Sie Ihren Führerschein?

Welche Fahrerlaubnisklassen besitzen Sie?

- PKW LKW
 Motorrad Sonstige:

Wie viele km fahren Sie in etwa pro Jahr?

- Weniger als 5.000 5.000 – 10.000
 10.000 – 20.000 mehr als 20.000

Ich fahre derzeit:

- Immer den gleichen PKW Verschiedene PKW

Welche Marke/Fabrikat? _____

Wie oft fahren Sie derzeit mit dem Auto?

- 1x wöchentlich 1-3x wöchentlich 3-5x wöchentlich fast täglich

Wo fahren Sie am häufigsten?

- Stadtverkehr Landstraße Autobahn

Was fahren Sie öfter?

- Kurzstrecke (bis 10 km) Langstrecke

Haben Sie Erfahrung mit einem Automatikgetriebe?

- Ja Nein

DEMOGRAFISCHER FRAGEBOGEN



3 Angaben zur Fahrertypeinschätzung

Im Vergleich zu anderen Autofahrern würde ich mich folgendermaßen einschätzen:		
Sehr erfahren	<input type="checkbox"/>	Sehr unerfahren

Ich würde meinen Fahrstil beschreiben als:		
Sportlich/dynamisch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Ruhig/ausgeglichen

Bei hoher Verkehrsdichte verhalte ich mich:		
Eher offensiv	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Eher defensiv

Meine Kontrolle über das Fahrzeug schätze ich wie folgt ein:		
Ich beherrsche mein Fahrzeug in jeder Situation	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	In manchen Situationen habe ich Schwierigkeiten

Mit einem fremden Fahrzeug zurechtzukommen ...		
fällt mir leicht	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bereitet mir Schwierigkeiten

Ich bin an technischen Dingen um das Auto ...		
sehr interessiert und informiert	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht interessiert

Autofahren bedeutet für mich:		
Spaß	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	ein notwendiges Übel

Beim Autofahren ...		
bleibe ich meistens entspannt und locker	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	fühle ich mich oft gestresst

DEMOGRAFISCHER FRAGEBOGEN



Im Alltag achte ich auf eine Sprit sparende Fahrweise ...

überhaupt nicht

sehr stark

Geschwindigkeitsbeschränkungen halte ich strikt ein:

überhaupt nicht

immer

Ich kann mich für Technik ... begeistern

überhaupt nicht

immer

Ich probiere gerne neue technische Geräte aus

trifft zu

trifft nicht zu

Ich spiele Computerspiele ...

überhaupt nicht

sehr oft



4 Erfahrung mit technischen Systemen

Welche Erfahrungen haben Sie mit folgenden Systemen?

	Keine Erfahrungen	Schon mal gesehen	Ausprobiert	Nütze ich manchmal	Nütze ich oft	Nütze ich sehr oft
Tempomat	<input type="checkbox"/>					
Aktive Geschwindigkeitsregelung (ACC; elektronische Abstands- und Geschwindigkeitsregelung)	<input type="checkbox"/>					
Navigationssystem	<input type="checkbox"/>					
Zentrale Bedieneinheit in der Mittelkonsole (z.B. iDrive, MMI, COMAND)	<input type="checkbox"/>					
Head-Up-Display	<input type="checkbox"/>					
PDC (Park Distance Control; elektronische Einparkhilfe)	<input type="checkbox"/>					

5 Aktuelle Gefühlslage

Ich fühle mich im Moment:		
Entspannt	<input type="checkbox"/>	Gestresst
Erholt	<input type="checkbox"/>	Müde
Locker	<input type="checkbox"/>	Nervös
Gesund	<input type="checkbox"/>	Krank

Fragebogen zum
Fahren
mit optischer und
haptischer
Assistenzfunktion



Versuchsperson:

FRAGEBOGEN ZUR OPTISCHEN UND HAPTISCHEN ASSISTENZ



Datum:

Im Folgenden werden Ihnen Fragen zum Fahren mit optischer und haptischer Assistenzfunktion gestellt!

Fragen zur Belastung/ Beanspruchung:

1. Mentale (geistige) Belastung

In welchem Maße stellte das Fahren geistige Anforderungen, also denken, entscheiden, beobachten?

Das Fahren ist leicht und verzeiht Fehler. Insgesamt eine recht einfache Aufgabe.		Das Fahren ist komplex und erfordert hohe Genauigkeit. Insgesamt eine sehr schwierige Aufgabe.
---	--	--

2. Physische (körperliche) Belastung

Wie viel körperliche Aktivität, also drücken, bewegen ist erforderlich?

Das Fahren ist leicht, dabei geht es langsam zu. Man kommt beim Fahren mit wenig Bewegungsaufwand und Kraft aus.		Das Fahren ist anstrengend, dabei geht es hektisch zu. Es erfordert viel Bewegungsaufwand und Kraft.
--	--	--

3. Zeitliche Anforderung

Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der Geschwindigkeitsanforderungen, die das Fahren stellt?

Das Fahren ist leicht und verzeiht Fehler. Insgesamt eine recht einfache Aufgabe.		Das Fahren ist komplex und erfordert hohe Genauigkeit. Insgesamt eine sehr schwierige Aufgabe.
---	--	--

FRAGEBOGEN ZUR OPTISCHEN UND HAPTISCHEN ASSISTENZ



4. Aufgabenerfüllung

Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, also Spur-, Geschwindigkeits-, und Abstandshaltung zusammen?

Ich bin mit der Aufgabenerfüllung sehr zufrieden (perfekt erfüllt).



Ich bin mit der Aufgabenerfüllung sehr unzufrieden (bei der Erfüllung versagt).

5. Anstrengung

Wie sehr mussten Sie sich beim Fahren insgesamt anstrengen (geistig und körperlich)?

Das Fahren erfordert überhaupt keine Anstrengung.



Das Fahren erfordert sehr hohe Anstrengung.

6. Stress

In welchem Maße fühlten Sie sich beim Fahren gestresst?

Das Fahren stresste mich überhaupt nicht.



Das Fahren stresste mich sehr.

FRAGEBOGEN ZUR OPTISCHEN UND HAPTISCHEN ASSISTENZ



Fragen zur Fahrperformance:

<u>Spurhaltung:</u>		
Bitte bewerten Sie, wie gut Sie in der Lage waren die Spur zu halten:		
sehr gut	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr schlecht

<u>Geschwindigkeitshaltung:</u>		
Bitte bewerten Sie, wie gut Sie in der Lage waren die erlaubte Geschwindigkeit zu halten:		
sehr gut	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr schlecht

<u>Abstandshaltung:</u>		
Bitte bewerten Sie, wie gut Sie in der Lage waren den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu halten:		
sehr gut	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr schlecht

<u>Konzentration:</u>		
Bitte bewerten Sie, wie gut Sie in der Lage waren sich auf das Fahren zu konzentrieren:		
sehr gut	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr schlecht

<u>Gesamturteil zur Erfüllung der Geschwindigkeits-, Abstands-, und Spurhaltung:</u>		
Bitte bewerten Sie, wie gut Sie in der Lage waren die Geschwindigkeits-, Abstands-, und Spurhaltung zu bewältigen:		
sehr gut	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr schlecht

<u>Sicherheitsgefühl:</u>		
Bitte bewerten Sie, wie Ihr Sicherheitsgefühl beim Fahren war:		
sehr gut	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr schlecht

FRAGEBOGEN ZUR OPTISCHEN UND HAPTISCHEN ASSISTENZ



Entspannung:

Bitte bewerten Sie, wie entspannt Sie bei der Fahrt waren:

sehr entspannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht entspannt
----------------	---	---------------------------

Fragen zum Gefallen der Systeme:

Gesamteindruck:

Bitte bewerten Sie, wie gut Ihnen insgesamt diese Variante gefallen hat:

sehr gut	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr schlecht
----------	---	---------------

Realisierung im Fahrzeug:

Bitte bewerten Sie, wie gerne Sie diese Fahrvariante in Ihrem PKW verwirklicht hätten, angenommen es kostet keinen Aufpreis:

sehr gerne	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Überhaupt nicht
------------	---	-----------------

Abschlussfragebogen



ABSCHLUSSFRAGEBOGEN



Versuchsperson:	
Datum:	

Spurhaltung:

Mit welchem der Assistenzsysteme konnten Sie die Spur besser halten? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, mit der Sie am besten zurecht gekommen sind, geben Sie bitte die Ziffer 1:

Keine Assistenz
 Optische Assistenz im Head-Up-Display
 Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
 Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

Geschwindigkeitshaltung:

Mit welchem der Assistenzsysteme konnten Sie die erlaubte Geschwindigkeit besser halten? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, mit der Sie am besten zurecht gekommen sind, geben Sie bitte die Ziffer 1:

Keine Assistenz
 Optische Assistenz im Head-Up-Display
 Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
 Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

Abstandshaltung:

Mit welchem der Assistenzsysteme waren Sie in der Lage den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug besser einzuhalten? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, mit der Sie am besten zurecht gekommen sind, geben Sie bitte die Ziffer 1:

Keine Assistenz
 Optische Assistenz im Head-Up-Display
 Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
 Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

ABSCHLUSSFRAGEBOGEN

**Konzentration:**

Mit welchem der Assistenzsysteme waren Sie in der Lage sich besser auf das Fahren zu konzentrieren? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, mit der Sie sich am besten auf die Fahraufgabe konzentrieren konnten, geben Sie bitte die Ziffer 1:

- Keine Assistenz
- Optische Assistenz im Head-Up-Display
- Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
- Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

Gesamturteil zur Erfüllung der Geschwindigkeits-, Abstands-, und Spurhaltung:

Bitte geben Sie an, mit welchem der Assistenzsysteme Sie in der Lage waren die Geschwindigkeits-, Abstands- und Spurhaltung besser zu erfüllen? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, mit der Sie am besten in der Lage waren die Fahraufgabe zu erfüllen, geben Sie bitte die Ziffer 1:

- Keine Assistenz
- Optische Assistenz im Head-Up-Display
- Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
- Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

Sicherheitsgefühl:

Mit welchem der Assistenzsysteme hatten Sie ein höheres Sicherheitsgefühl? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, mit der Sie das höchste Sicherheitsgefühl hatten, geben Sie bitte die Ziffer 1:

- Keine Assistenz
- Optische Assistenz im Head-Up-Display
- Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
- Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

ABSCHLUSSFRAGEBOGEN

**Entspannung:**

Mit welchem der Assistenzsysteme konnten Sie entspannter fahren? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, mit der Sie am entspanntesten fahren konnten, geben Sie bitte die Ziffer 1:

- Keine Assistenz
- Optische Assistenz im Head-Up-Display
- Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
- Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

Fragen zum Gefallen der Systeme:

Bitte bewerten Sie, wie gut Ihnen insgesamt die einzelnen Varianten gefallen haben? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, die den besten Gesamteindruck hinterlassen hat, geben Sie bitte die Ziffer 1:

- Keine Assistenz
- Optische Assistenz im Head-Up-Display
- Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
- Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

Welches System hätten Sie gerne in Ihrem eigenen PKW, angenommen es kostet keinen Aufpreis? Bringen Sie dazu bitte die nachstehend aufgeführten Varianten mit Hilfe von Ziffern von 1 bis 4 in die entsprechende Reihenfolge. Der Variante, die Sie am meisten in Ihrem Fahrzeug haben wollen, geben Sie bitte die Ziffer 1:

- Keine Assistenz
- Optische Assistenz im Head-Up-Display
- Haptische Assistenz an Lenkrad und Gaspedal
- Kombination aus optischer und haptischer Assistenz

ABSCHLUSSFRAGEBOGEN



Bitte beurteilen Sie das Fahren **ohne Assistenz** mit Hilfe der unten abgebildeten Eigenschaften:

komfortabel	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unkomfortabel
praktisch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unpraktisch
attraktiv	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unattraktiv
sportlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unsportlich
motivierend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	frustrierend
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	umständlich
elegant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	plump

Bitte beurteilen Sie das Fahren mit **optischer Assistenz im Head-Up-Display** mit Hilfe der unten abgebildeten Eigenschaften:

komfortabel	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unkomfortabel
praktisch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unpraktisch
attraktiv	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unattraktiv
sportlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unsportlich
motivierend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	frustrierend
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	umständlich
elegant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	plump

Bitte beurteilen Sie das Fahren mit **haptischer Assistenz an Lenkrad und Gaspedal** mit Hilfe der unten abgebildeten Eigenschaften:

komfortabel	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unkomfortabel
praktisch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unpraktisch
attraktiv	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unattraktiv
sportlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unsportlich
motivierend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	frustrierend
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	umständlich
elegant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	plump

ABSCHLUSSFRAGEBOGEN



Bitte beurteilen Sie das Fahren mit der **Kombination aus optischer und haptischer Assistenz** mit Hilfe der unten abgebildeten Eigenschaften:

komfortabel	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unkomfortabel
praktisch	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unpraktisch
attraktiv	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unattraktiv
sportlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unsportlich
motivierend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	frustrierend
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	umständlich
elegant	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	plump

Wie viel würden Sie für ein System ausgeben, das Sie mit der **Kombination aus optischer und haptischer Assistenz** beim Fahren unterstützt?

bis 500 € 500 bis 1000 € 1000 bis 2000 € über 2000 €