

Technische Universität Braunschweig
Institut für Psychologie

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung

Diplomarbeit

Evaluation eines adaptiven Fahrerassistenzsystems für die Querführung

Anja Katharina Huemer

Braunschweig, 04.09.2007

Betreuerin: Dipl.-Psych. Anna Maria Schieben, Deutsches
Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Braun-
schweig

Erstgutachter: Prof. Dr. Frank Eggert, Technische Universität,
Braunschweig

Zweitgutachter: PD Dr. Mark Vollrath, Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V., Braunschweig

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mir beim Erstellen dieser Arbeit durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zur Seite gestanden haben.

Ganz besonders danke ich Herrn Prof. Dr. Frank Eggert, der mir durch seine Betreuung die Bearbeitung dieses Themas ermöglichte.

Großen Dank an Herrn PD Dr. Mark Vollrath für seine stets engagierte und hilfreiche Betreuung. Für die inhaltlichen Diskussionen und fachlichen Anregungen während der Bearbeitung des Themas danke ich im Besonderen, da durch sie viele Probleme gelöst und Fragen geklärt werden konnten. Zusätzlichen Dank an ihn für die Einstellung als wissenschaftliche Hilfskraft im Februar 2004, die mich an das DLR Braunschweig brachte und sich mir dadurch das Gebiet der Ingenieurpsychologie / Human Factors eröffnete.

Vielen Dank auch an Anna Schieben für die großartige und freundliche Betreuung sowie die zahlreichen wissenschaftlichen und produktiven Ratschläge, welche stets zur Verbesserung der Arbeit beigetragen haben. Auch für die Ermunterungen während des Abfassens der Arbeit bedanke ich mich herzlich bei ihr.

Gedankt sei den Mitarbeitern des Institutes für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in Braunschweig für die fachliche und freundliche Unterstützung sowie die herzliche Aufnahme ins Team.

Insbesondere möchte ich an dieser Stelle Martin Ruschinzik für die Unterstützung bei den Versuchsfahrten sowie Ulf Noyer und Eric Nicolay für die technische Umsetzung der Assistenten im Fahrzeug und die geduldige und ausdauernde Hilfe bei der Verarbeitung der Fahrdaten danken.

Herzlichen Dank auch an all die Studenten und Mitarbeiter, die rauchend oder auch nicht, in den kleinen Pausen immer aufmunternde Worte bereithielten.

Des Weiteren bedanke ich mich bei den teilnehmenden Probanden, die durch ihre Zeit und Geduld die Datenbasis für diese Untersuchungen lieferten.

Sehr herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern, da Sie während meines Studiums immer hinter mir standen und mich sowohl in finanzieller als auch in jeder anderen Hinsicht unterstützt haben.

Nicht zuletzt möchte ich mich noch von ganzem Herzen bei meinen Freunden bedanken, die mir mit moralischer Unterstützung zur Seite standen und diese Arbeit Korrektur gelesen haben.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Textstellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, habe ich in jedem Fall durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht.

Braunschweig, 04.09.2007

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes SPARC (Secure Propulsion using Advanced Redundant Control) wurde ein Algorithmus zur Erkennung des Fahrerzustandes in Bezug auf dessen Aktivität entwickelt (Vollrath, 2005). Dieser wird genutzt, um die Auslegung eines Assistenzsystems anzupassen. Wird der Fahrer nach diesem Kriterium als aktiv eingestuft, reagiert die adaptive Assistenz später auf ein Fehlverhalten der Fahrer, werden die Fahrer als inaktiv eingestuft, reagiert sie früher. Dieses fahrerzustandsabhängige adaptive System wird anhand eines Querführungsassistenten getestet. Dieser Querführungsassistent unterstützt die Fahrer, indem er sie warnt, wenn sie unbeabsichtigt die Spur zu verlassen drohen. Ziel dieser Arbeit ist es zum einen, herauszufinden, ob die fahrerzustandsadaptive Assistenz bei der Querführung vergleichbare oder bessere Fahrleistungen bringt als eine nicht-adaptive Unterstützung, wie sie sich auf die Beanspruchung der Fahrer auswirkt, ob sie von den Fahrern in ihrer Funktion verstanden wird und ob sie besser akzeptiert wird als eine nicht-adaptive Warnung. Es zeigt sich, dass am Ende der Fahrten alle verglichenen Assistenzvarianten die Querführung der Probanden verbessern. Das adaptive System ist dabei so beanspruchend wie das statische System, es wird auch in Bezug auf die Akzeptanz nicht besser bewertet. Die Probanden konnten in einer offenen Befragung die Fahrerzustandsabhängigkeit der adaptiven Assistenz nicht nennen. Mögliche Gründe dafür, dass die erwarteten Wirkungen nicht eingetreten sind, ist zum einen, dass die erste Warnstufe der beiden Assistenten als zu früh empfunden wurde. Auch scheint die Art der Aktivitätsschätzung unter Einbezug der Lenkradwinkeländerung kontraproduktiv für die Assistenz der Spurführung zu sein, da die Probanden durch ständige Lenkradbewegungen Warnungen vermeiden können. Dadurch zeigen sie jedoch eine schlechte Leistung in der Spurführung und sind beansprucht. Es scheint außerdem so, als sei die Aktivität der Fahrer eine personenspezifische Eigenschaft. Dem folgend, wäre es notwendig, die Grenzwerte der Aktivität an die Fahrer zu adaptieren.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Erklärung	III
Zusammenfassung	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	2
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Fahrzeugführung	3
2.2 Fahrerassistenzsysteme	6
2.2.1 Definition und Klassifikation von Fahrerassistenzsystemen	6
2.2.2 Adaptive Fahrerassistenz	8
2.2.3 Realisierung der Spurverlassenswarnungen	10
2.3 Fahrzeugführung als Mensch-Maschine-System	13
2.4 Kriterien zur Beurteilung von Mensch-Maschine-Systemen	13
2.4.1 Leistung in der Fahrzeugführung	14
2.4.2 Beanspruchung	15
2.4.3 Akzeptanz	16
2.4.4 Mentale Modelle	18
2.5 Herleitung der Untersuchung	19
2.5.1 Bedingungsmodell	20
2.5.2 Fragestellung	22
2.5.3 Untersuchungshypothesen	22
3 Methodische Umsetzung	24
3.1 Aufgabe	24
3.2 Versuchsstrecke	24
3.3 ViewCar®	25
3.4 Stichprobe	26
3.5 Versuchsplan	27
3.6 Kontrolle der Störvariablen	28
3.7 Erhebung der abhängigen Variablen	29
3.7.1 Leistung in der Fahraufgabe Spurhaltung	29
3.7.2 Beanspruchung	30
3.7.3 Akzeptanz	32

3.7.4	Befinden	35
3.7.5	Mentales Modell	36
3.8	Instruktion	36
3.9	Versuchsdurchführung	37
3.10	Formale Hypothesen	39
4	Ergebnisse	41
4.1	Vorgehen bei der Auswertung	41
4.1.1	Datenverarbeitung und Datenqualität	41
4.1.2	Statistische Auswertung	43
4.2	Manipulationskontrolle	44
4.2.1	Häufigkeiten der Warnungen	44
4.2.2	Aktivität	46
4.2.3	Geschwindigkeit	48
4.3	Wirkung der Assistenzsysteme	50
4.3.1	Leistung in der Querführung	50
4.3.2	Beanspruchung	53
4.3.3	Akzeptanz	57
4.3.4	Befinden	70
4.3.5	Mentales Modell	71
4.4	Zusätzliche Analysen	73
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	74
5	Diskussion	76
5.1	Wirkungen der Assistenzsysteme	77
5.1.1	Häufigkeiten der Warnungen	77
5.1.2	Aktivität	77
5.1.3	Geschwindigkeit	79
5.1.4	Leistung in der Querführung	79
5.1.5	Beanspruchung	81
5.1.6	Akzeptanz	82
5.1.7	Befinden	84
5.1.8	Mentales Modell	84
5.1.9	Fazit zur Wirkung der Assistenzsysteme	85
5.2	Kritische Betrachtung der Untersuchung	85
5.2.1	Design der Untersuchung	86
5.2.2	Auswertung	87
5.3	Schlussfolgerungen aus der Untersuchung	88
5.3.1	Wirkung der adaptiven Unterstützung	88

5.3.2	Anwendung der Fahreraktivitätserkennung	88
5.3.3	Grenzwerte für die Warnungen	89
6	Resümee und Ausblick	91
7	Literaturverzeichnis	92
8	Abbildungsverzeichnis	98
9	Tabellenverzeichnis	101
A	Untersuchungsmaterial	i
B	Statistische Analysen	xxxix

1 Einleitung

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über den Hintergrund und die Problemstellung der Arbeit (Kapitel 1.1). Aus diesen werden im Folgenden die Ziele der Arbeit abgeleitet (Kapitel 1.2).

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Fortschreitende Automatisierung ist eine allgegenwärtige Veränderung der Arbeitssysteme, die gern mit erhöhter Effizienz, und, als ein Teil dessen, mit erhöhter Zuverlässigkeit des Systems begründet wird. Eines der bedeutenderen Gebiete für die Entwicklung von Automatisierungen ist das der Fahrerassistenz. Durch die fortschreitende technische Entwicklung im Automobilbau ergeben sich zunehmende Möglichkeiten für Assistenzsysteme im Fahrzeug. Trugen die Assistenzsysteme zunächst hauptsächlich zur Erhöhung des Fahrkomforts bei (Servolenkung, Navigationssysteme), so werden sie inzwischen auch zur Erhöhung der Sicherheit entwickelt. Hierbei handelt es sich dann um Systeme der aktiven Sicherheit, die im Gegensatz zu denen der passiven Sicherheit nicht die Folgen von Unfällen mindern, sondern die Unfälle schon im Vorfeld vermeiden sollen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind Assistenzsysteme so zu gestalten, dass sie die Verlässlichkeit des Fahrer-Fahrzeug-Systems erhöhen. Dazu müssen sie sowohl durch ihre Gestaltung die Leistung des Fahrer-Fahrzeug-Systems positiv verändern als auch von den Fahrern akzeptiert werden, um überhaupt genutzt zu werden (Ziems, 2004). Hierbei spielt die mögliche zusätzliche Beanspruchung der Fahrer durch das Assistenzsystem die entscheidende Rolle.

In der vorliegenden Arbeit soll ein fahrerzustandsadaptives Assistenzsystem evaluiert werden, das den Fahrer bei der Spurhaltung durch Warnungen in kritischen Situationen unterstützen soll. Dabei berücksichtigt es den Fahrerzustand, indem es bei aktivem Fahrverhalten später warnt als bei inaktivem, um eine optimale Beanspruchung und Eingebundenheit in das Geschehen, aber auch eine gute Akzeptanz des Systems zu erzielen. Ziel ist es also, herauszufinden, ob zum einen die Leistung der Fahrer besser ist als ohne Assistenz, ob sie gleichwertig ist im Vergleich zu statischer Assistenz und zum anderen, ob das adaptive Assistenzsystem verständlich und nicht zu beanspruchend ist, und ob es größere Akzeptanz bei den Fahrern erzielt als das statische System. Aus praktischer Sicht kann damit ein Beitrag zu der Fragestellung geleistet werden, wie die Unterstützung der Fahrer in der Fahraufgabe weiter gestaltet werden kann, um den Menschen zu nutzen und für sie akzeptabel zu sein.

Die Arbeit baut auf der Entwicklung einer Aktivitätserkennung auf, die im Rahmen des EU-Projekts SPARC (s. Vollrath, 2005) am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt

(DLR) entwickelt wurde. Insgesamt soll in diesem Projekt ein umfassendes Konzept für eine Unterstützung des Fahrers entwickelt werden. Auf Basis eines Modells sicheren Fahrzeugzielverhaltens soll der Fahrer dabei immer dann unterstützt werden, wenn sich Abweichungen zwischen diesem Zielverhalten und dem aktuellen Fahrzeugverhalten ergeben. Hierbei soll zum einen ein aus einer Situationserkennung das momentan richtige Fahrzeugzielverhalten bestimmt werden, um es mit dem aktuellen Fahrzeugverhalten zu vergleichen. Zum anderen soll mittels Fahrerzustandserkennung der momentane Bedarf an Unterstützung ermittelt werden, um so die Sicherheit und den Komfort zu erhöhen. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt und untersucht in diesem Projekt das Konzept für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion (Vollrath, 2005).

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Im Rahmen des SPARC-Projektes wurde ein Algorithmus zur Erkennung des Fahrerzustandes in Bezug auf dessen Aktivität entwickelt. Dieser dient in der folgenden Untersuchung als Kriterium für die Assistenz. Wird der Fahrer nach diesem Kriterium als aktiv eingestuft, reagiert die adaptive Assistenz später auf ein Fehlverhalten des Fahrers; wird der Fahrer als inaktiv eingestuft, reagiert sie früher. Dieses fahrerzustandsabhängige adaptive System wird anhand eines Querführungsassistenten getestet. Dieser Querführungsassistent unterstützt die Fahrer, indem er sie warnt, wenn sie unbeabsichtigt die Spur zu verlassen drohen. Nach Kopf et al. (2004) sollen bei einem Warnsystem, neben der Zuverlässigkeit des Systems, die Erwartungskonformität, intuitive Erfassbarkeit und schnelle Wahrnehmbarkeit der Warnungen gewährleistet sein, um so die zusätzliche kognitive Belastung, die durch Mensch-Maschine-Interaktion verursacht wird, minimal zu halten. Ziel dieser Arbeit ist es zum einen, herauszufinden, ob die fahrerzustandsadaptive Assistenz bei der Querführung vergleichbare oder bessere Fahrleistungen bringt als eine nicht-adaptive Unterstützung, ob sie von den Fahrern in ihrer Funktion verstanden wird und ob sie besser akzeptiert wird als eine nicht-adaptive Warnung.

2 Theoretische Grundlagen

In dieser Diplomarbeit wird ein adaptiv an den Fahrerzustand ausgelegtes Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung der Querführung evaluiert. Das System dient dazu, den Fahrer bei Verlassen der Spur zu warnen. Es ist ein adaptives, sich an den Fahrerzustand anpassendes System, das akustisch vor dem Verlassen der Spur in zwei Stufen warnt. Die erste Warnstufe ist dabei so ausgelegt, dass sie nur warnt, wenn der Fahrer aufgrund einer fahraufgabenbezogenen Aktivitätserkennung für nicht in die Fahraufgabe involviert gehalten wird.

Dafür wird zunächst ein Modell zur Fahrzeugführung dargestellt (Kapitel 2.1) und im Anschluss daran werden Fahrerassistenzsysteme (Kapitel 2.2) definiert und klassifiziert (Kapitel 2.2.1) sowie das Konzept der adaptiven Fahrerassistenz (Kapitel 2.2.2) erläutert. Schließlich wird der Gegenstand der Evaluation, der adaptive Spurverlassenswarner, vorgestellt (Kapitel 2.2.3). Im Anschluss daran werden Mensch-Maschine-Systeme, deren Teil Fahrerassistenzsysteme sind, dargestellt (Kapitel 2.3). Es wird erläutert, nach welchen Kriterien sie bewertet werden (Kapitel 2.4). Von diesen Kriterien wird zunächst die Leistung in der Fahrzeugführung (Kapitel 2.4.1) erläutert, und daran anschließend das Konstrukt Beanspruchung anhand des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts erklärt (Kapitel 2.4.2). Als Drittes werden Modelle der Akzeptanz und deren Verwendung in der Untersuchung behandelt (Kapitel 2.4.3). Schließlich wird auf die Bedeutung mentaler Modelle (Kapitel 2.4.4) eingegangen. Am Ende dieser theoretischen Grundlagen wird die Untersuchung anhand des Bedingungsmodells, ihres Designs und der daraus abgeleiteten Hypothesen dargestellt (Kapitel 2.5).

2.1 Fahrzeugführung

In der vorliegenden Arbeit wird die Wirkung von Fahrerassistenzsystemen überprüft. Dazu ist es notwendig zu wissen, wie Menschen überhaupt Auto fahren bzw. was beim Auto fahren relevant ist. Dazu gibt es Modelle der Fahrzeugführung z.B. von Bernotat (1970) und Michon (1985). Gemeinsam ist ihnen, dass die Aufgabe der Fahrzeugführung als Kontrollaufgabe in drei Ebenen betrachtet wird. Bei Michon werden in der strategischen Ebene alle Verhaltenweisen zusammengefasst, die mit höheren Zielen der Fahrt, wie etwa dem Ziel oder dem geplanten Zeitpunkt der Ankunft. Entscheidungen auf dieser Ebene werden innerhalb von Minuten getroffen. Auf der taktischen Ebene werden die Fahrmanöver wie Spurwechsel eingeordnet, hier wird innerhalb von Sekunden gehandelt. Auf der operationalen Ebene ordnet er Tätigkeiten wie Bremsen und Beschleunigen ein, diese Kontrolle erfolgt innerhalb einer Sekunde (Van Driehl,

2006). Bernotat (1970) nennt ebenfalls drei Ebenen, und zwar Navigation, Führung und Stabilisation. In allen diesen Ebenen ist das Fahrzeug in zwei translatorischen Dimensionen zu steuern, zum einen in der Fahrtrichtung (Längsführung) und quer dazu (Querführung) (Johannsen, 2006). Die in dieser Arbeit betrachtete Querführungsaufgabe der Spurhaltung fällt hiernach in die Ebene der Stabilisierung. Eine Übersicht über die Regelungsaufgaben Fahrzeugführung findet sich in Abbildung 2-1.

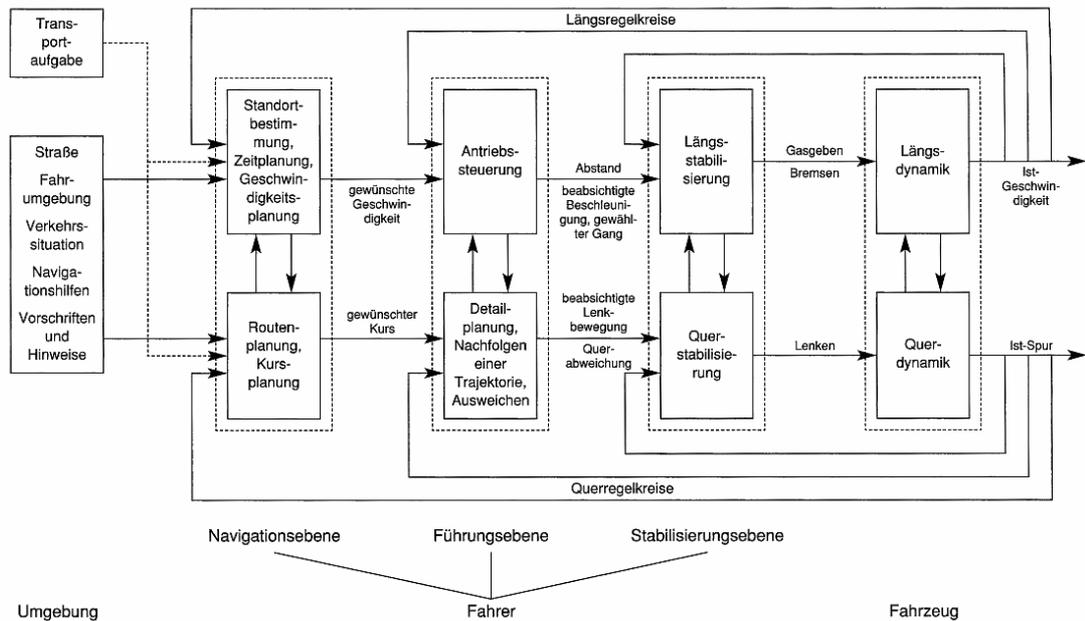


Abbildung 2-1 Struktur des Fahrer-Fahrzeug-Umweltsystems nach Johannsen (2006)

Dongens (1999) unterscheidet diese Ebenen der Fahrzeugführung sowohl nach der Häufigkeit ihres Auftretens also auch nach ihren kognitiven Anforderungen an den Fahrer. Demnach treten Navigationsaufgaben selten auf, während Aufgaben der Bahnführung und der Stabilisierung die ganze Fahrt hindurch zu bewältigen sind. Stabilisierung ist dabei ununterbrochen zu betreiben. Das ständige Stabilisieren des Fahrzeugs verursacht dabei kaum kognitive Anforderungen, diese Anforderungen steigen mit Aufgaben der Bahnführung hin an und die Navigation stellt die höchsten Anforderungen.

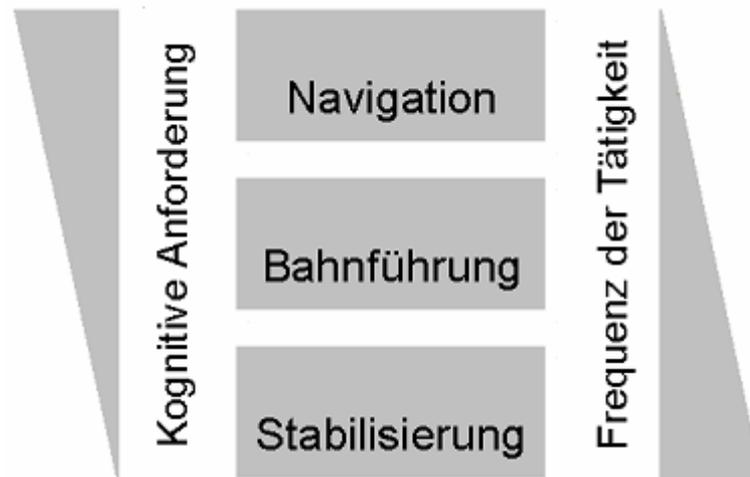


Abbildung 2-2 Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (Donges, 1999)

Ähnlich unterteilt Rasmussen (1986) das menschliche Handeln in seinem Drei-Ebenen-Modell nach Stufen des Übungsniveaus. Er bezieht sich in seiner Klassifikation von Handlungen nur auf den Bereich der Informationsverarbeitung. Demnach werden neuartige Tätigkeiten wissensbasiert ausgeführt, sie haben die geringste Abstraktion und das am wenigsten elaborierte mentale Modell. Fehler, die hier gemacht werden, sind wirkliche Irrtümer über Sachverhalte und durch die begrenzte Rationalität zu erklären. Auf der regelbasierten Ebene der Handlungen sind die Modelle schon komplexer und die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses abstrakter. Handeln ist durch Wenn-dann-Regeln gesteuert, also durch Eingangsbedingungen und die damit verknüpften Ausführungsabsichten und Umsetzungen. Fehler in dieser Ebene sind durch Verwechslungen der Eingangsbedingungen zu erklären. Auf der höchsten Abstraktionsebene, der Ebene fertigkeitbasierter Handlungen, werden Handlungen nicht mehr bewusst ausgeführt. Hier sind typische Fehler Stereotypisierungsfehler, bei denen eine einmal gewählte Handlung weitergeführt wird, obwohl sich die Umweltbedingungen geändert haben und die Handlung nicht mehr dazu passt.

Vollrath und Schießl (2004) ordneten die Ebenen der Handlungsregulation nach Rasmussen den Ebenen der Fahrzeugführung zu (siehe Kapitel 2.1). Demnach findet die Stabilisierung des Fahrzeugs hauptsächlich fähigkeitsbasiert statt, kann aber bei sich ändernden Umgebungsbedingungen regelbasiert angepasst werden müssen. Demnach sind Fehler, die Fahrer in der Stabilisierung ihres Fahrzeugs machen, vom theoretischen Standpunkt aus, vor allem im Nicht-Erkennen von geänderten Bedingungen und im Falsch-Einschätzen der Bedingungen zu suchen.

	Handlungsebene		
	Fähigkeitsbasiert Reaktion	Regelbasiert Verhalten	Wissensbasiert Handlung
Fahraufgabe	← Stabilisierung →		
	← Bahnführung →		
	← Navigation →		

Abbildung 2-3 Drei Ebenen der Fahraufgabe und die Zuordnung zu den Handlungsebenen (nach Vollrath & Schießl, 2004)

2.2 Fahrerassistenzsysteme

Im folgenden Kapitel geht es um den Gegenstand der Evaluation, das Fahrerassistenzsystem. Dazu werden zunächst Fahrerassistenzsysteme definiert, Möglichkeiten ihrer Klassifikation aufgezeigt und die Ziele der Fahrerassistenz dargestellt (Kapitel 2.2.1). Anschließend wird auf die Idee der adaptiven Assistenz eingegangen, die die Grundlage für das zu bewertende System ist (Kapitel 2.2.2). Am Ende wird der in dieser Arbeit untersuchte Spurverlassenswarner beschrieben (Kapitel 2.2.3).

2.2.1 Definition und Klassifikation von Fahrerassistenzsystemen

Um die Sicherheit beim Fahren zu erhöhen, wurde in der Vergangenheit eine ganze Reihe von Systemen eingeführt, die die Folgen von Unfällen mindern. Dazu gehören Sicherheitsgurte und Airbags, die als Systeme der passiven Sicherheit bezeichnet werden. Unter Fahrerassistenzsystemen versteht man allerdings unter Sicherheitsaspekten nur Systeme der aktiven Sicherheit, das bedeutet solche, die Unfälle vermeiden sollen. Fahrerassistenz ist als unterstützend für den Fahrer, aber nicht die Aufgabe des Fahrens übernehmende Art der Automatisierung, zu verstehen.

Es herrscht in der Literatur wenig Einigkeit darüber, wie Fahrerassistenzsysteme zu definieren sind. So gibt Busch (2004, S. 4) an, dass als Fahrerassistenzsysteme alle Systeme zu bezeichnen seien, „die den Fahrer bei seiner Tätigkeit des Autofahrens unterstützen“. „Prinzipiell“ sei eine Unterstützung dabei für „jede Aufgabe denkbar“, die sich den Autofahrer stelle. Wandke, Wetzenstein und Polhkehn (2005) weisen darauf hin, dass das Verständnis einer Assistenz als solche von der weiteren technischen

Entwicklung abhängt. So würden Assistenzfunktionen wie die automatische Blinkerrückstellung heute nicht mehr als Assistent betrachtet werden.

So unscharf der Begriff des Fahrerassistenzsystems ist, so viele Ansätze zu ihrer Klassifikation gibt es. Assistenzsysteme werden häufig nach der „Stärke“ der Unterstützung unterschieden; so beispielsweise in informierende, warnende oder eingreifende Assistenz (Vollrath, 2005) oder anleitende, semi-automatische und automatische Modi der Fahrerassistenzsysteme (Brookhuis, 2001). Zur Beschreibung von Fahrerassistenzsystemen bietet es sich zu dem an, sie den Ebenen der Fahrzeugführung zuzuordnen, auf denen sie unterstützen sollen, also Stabilisierung, Bahnführung und Navigation. Ehmanns, Wallentowitz, Gelau, und Nicklisch (2000) klassifizieren Fahrerassistenzsysteme auf der einen Seite nach den drei Ebenen der Fahrzeugführung und auf der anderen Seite nach dem Grad der Fahrerunterstützung, den sie in vier Stufen unterteilen. In Tabelle 2-1 ist die aus sich aus dieser Klassifikation ergebende Matrix von Assistenzsystemen mit Beispielen für das jeweilige Feld dargestellt.

Tabelle 2-1 Klassifikation von Fahrerassistenzsystemen nach Fahraufgabe und Fahrerunterstützungsgrad (Ehmanns et al., 2000)

Grad der Fahrerunterstützung	Navigations-ebene	Bahnführungs-ebene	Stabilisierungsebene
Information und Warnung	Navigationssystem	Spurwechselassistent	
Verbindliche Anweisung		Schildererkennung	
Korrigierender Eingriff		Adaptive Cruise Control (ACC)	Antiblockiersystem (ABS), Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP)
Übernahme der Fahraufgabe		Kollisionsvermeidung	

Ein anderes komplexes Konzept der Klassifikation stammt von Wandke, Wetzstein und Polhkehn (2005). Sie unterscheiden Fahrerassistenzsysteme nach den Handlungsphasen, die sie unterstützen sollen in Assistenzen der Zielbildung, der Informationsaufnahme, der Informationsanalyse- und Integration, der Entscheidung, der Aktionsausführung und der Effektkontrolle. Zusätzlich unterscheiden sie aktive Systeme, die eigeninitiativ aktiv werden, von passiven Systemen, die durch die Fahrer aktiviert werden müssen. Als dritte Dimension zur Beschreibung unterscheiden sie statische Systeme von adaptierbaren, also solchen Systemen, die an die Fahrer und Situationen angepasst werden können, und adaptive Systeme, die sich selbst anpassen. Adaptive Systeme werden im folgenden Kapitel (2.2.2) näher betrachtet.

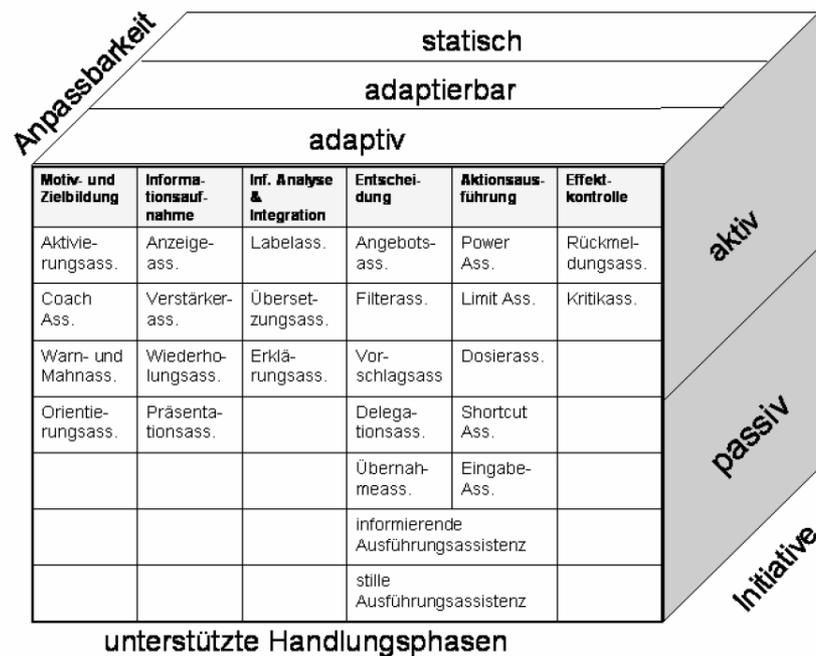


Abbildung 2-4 „Assistenzwürfel“ von Wandke, Wetzenstein und Polhkehn (2005)

Zusätzlich können Assistenzsysteme auch nach der Unterstützung der Führungsdimension des Fahrzeugs unterschieden werden, also danach, ob sie die Längsführung oder die Querführung unterstützen.

Unter den Assistenzsystemen der Querführung wäre beispielsweise das ESP, das ein Ausbrechen des Autos in Kurven verhindern soll, ein aktives, statisches System, das auf der Stabilisierungsebene der Fahrzeugführung autonom eingreift. Die Servolenkung, die das Lenken gerade bei geringen Geschwindigkeiten mit weniger Kraftaufwand durch den Fahrer ermöglicht, lässt sich als statisches, aktives System der Assistenz der Aktionsausführung einordnen. Relativ neu sind Assistenzsysteme, die vor einem unbeabsichtigten Verlassen der Fahrspur warnen sollen. Dies geschieht bisher entweder durch ein Rütteln im Fahrersitz oder eine akustische Warnung („Nagelbandrattern“), wenn der Fahrer die Spurmarkierung überfährt. Solche Systeme werden von Wandke, Wetzenstein und Pohlkehn (2005) in die Kategorie der aktiven, statischen Systeme der Zielbildung eingeordnet und nach Ehmanns et al. (2000) in die Kategorie der warnenden Systeme der Stabilisierung.

2.2.2 Adaptive Fahrerassistenz

Die Idee adaptiver Fahrerassistenzsysteme stammt aus den Überlegungen zur adaptiven Automatisierung. Adaptive Automatisierung bedeutet, dass sich die Art oder der Umfang der Automatisierung in Abhängigkeit eines anderen Zustands verändern (Wickens, Lee, Liu & Becker, 2004). Sie wurde von Kaber (1999 & 2001) als eine Form von Automatisierung beschrieben, die über die Zeit dynamische Veränderungen in der

Zuweisung von Steuerungsfunktionen zwischen Maschine und menschlichem Bediener basierend auf Zuständen des gemeinsamen Mensch-Maschine-Aufgaben-Umwelt-Systems erlaubt. Von adaptiver Automatisierung erhofft man sich Auswege aus den negativen Folgen statischer Automatisierungen, die zu unausgewogener mentaler Beanspruchung durch Unter- und Überforderung, mangelndem Situationsbewusstsein, Complacency (ungerechtfertigt großes Vertrauen in die Automatisierung) und Fertigkeitsverlusten bei den Bedienern führen können.

Bei Fahrerassistenzsystemen findet so genannte adaptive Automatisierung bisher hauptsächlich auf der Grundlage von Umweltbedingungen oder des Fahrstils des Fahrers statt (Deml et al., 2006; Kopf, 1993; Onken & Feraric, 1997; Vollrath, Mosebach & Flemisch 2006). Beispiele für Ersteres sind die Abstandsregelung zu voran fahrenden Fahrzeugen abhängig von der eigenen Geschwindigkeit, die Frequenz der Scheibenwischer abhängig von der Intensität des Niederschlags und die Richtung der Scheinwerfer abhängig von der befahrenen Straße.

Anders als in den oben genannten Beispielen wird mit adaptiver Fahrerassistenz im Folgenden eine Assistenz beim Fahren abhängig vom Zustand des Fahrer-Fahrzeug-Systems verstanden. Dabei soll durch die Schätzung der aufgabenbezogenen Aktivität der Fahrer die Assistenz an deren Zustand angepasst werden. Fahrer, die nicht in die Fahraufgabe involviert sind, sollen dabei früher unterstützt werden als Fahrer, die involviert sind. Das soll den nicht-aktiven, nicht-involvierten Fahrern die Möglichkeit geben, ihre Aufmerksamkeit wieder auf die Fahraufgabe zu lenken und ihre Fahrweise zu korrigieren, während die involvierten Fahrer erst unterstützt werden sollen, wenn sie die Korrektur ausführen müssen. Ziel dieser Anpassung der Unterstützung ist es, die Beanspruchung der Fahrer so niedrig wie möglich zu halten und gleichzeitig die Akzeptanz der Assistenzsysteme zu erhöhen.

Kopf, Farid & Doisl testeten 2004 einen adaptiven Warnassistenten, der Kollisionen mit vorausfahrenden Fahrzeugen vermeiden sollte. Sie verglichen die adaptive Version des Assistenten mit einer nicht adaptiven Vorversion. Der adaptive Assistent passte seine Warnungen, basierend auf einem Aufmerksamkeitsschätzer an den Fahrerzustand an, und warnte nicht, wenn der Fahrer als aufmerksam galt. Der Aufmerksamkeitsschätzer schätzte dabei die Aufmerksamkeit der Fahrer über Veränderungen der Stellung von Gas- und Bremspedal. Diese Version des Assistenten warnte bei aufmerksamen Fahrern weniger häufig als die Vorversion des Assistenzsystems und wurde von den Fahrern in Bezug auf das „Timing“ der Warnungen besser bewertet.

2.2.3 Realisierung der Spurverlassenswarnungen

Die in dieser Untersuchung eingesetzten Assistenzsysteme sollten den Fahrer beim Fahren auf der Autobahn in seiner Spurhaltung unterstützen. Dabei sollten die Fahrer bei unbeabsichtigtem Verlassen der Spur gewarnt werden. Als unbeabsichtigt galt ein Spurverlassen immer dann, wenn die Fahrer das Verlassen der Spur nicht durch Betätigung des Blinkers anzeigten. Die Warnungen dieser Querführungs-Assistenten erfolgten akustisch. Dies geschah zum einen, weil Informationen im Fahrzeug nach den Gestaltungsrichtlinien für Mensch-Maschine-Schnittstellen der EU (DIN EN ISO 150005, 2002) nur dann visuell dargeboten werden sollen, wenn sie mit wenigen Blicken erfassbar sind und das System keine langen, ununterbrechbaren Interaktionen fordert (Gelau, 2004). Zum anderen sollte eine zusätzliche Informationsquelle nicht die gleiche Aufmerksamkeitsressource wie sie von der Fahraufgabe hauptsächlich genutzt wird, also den visuellen Kanal, benutzen (Schlag & Heger, 2004). Es ist nachgewiesen, dass sowohl akustische als auch haptische Anzeigen warnenden Charakter (Rührmann, 1993, S. 421) haben. Da haptische Ausgaben im Versuchsfahrzeug bisher nicht realisierbar waren, wurde eine akustische Warnung gewählt.

Die Warnung wurde in zwei Stufen auf der jeweiligen Seite der Spurabweichung über die Bordlautsprecher des Versuchsfahrzeugs ausgegeben. Es wurden drei Bereiche in der Güte der Querführung unterschieden. Im „sicheren Bereich“ gab es keine Ausgabe durch den Assistenten. Gewarnt wurde im „unsicheren“ und im „kritischen Bereich“. Die Grenzen des unsicheren und des kritischen Bereichs wurden jeweils definiert über die normale Spurhaltung von Autofahrern auf der Autobahn. In einer am DLR durchgeführten Untersuchung hat Schießl (2006) die Häufigkeitsverteilung der „normalen“ Querablage von Fahrern bestimmt. Dabei wurde an 31 Fahrern auf einer Autobahnstrecke von insgesamt ca. 500 km je Fahrer die Querablage erhoben, welche hier als die Abweichung der Fahrzeugmitte von der Spurmitte relativ zur Spurbreite definiert ist. Als Grenzen für die Assistenten der hier beschriebenen Untersuchung wurden für die Warnungen die in der Studie erhobenen Häufigkeiten für gerade und leicht gekrümmte Straßenabschnitte genutzt. Der als unsicher definierte Bereich beginnt mit den äußeren 5%-Perzentilen der Verteilung. Das bedeutet, dass in der Studie von Schießl Fahrer nur in 5% der erhobenen Fahrzeit weiter entfernt von der Spurmitte gefahren sind. Dieses 5%-Perzentil entspricht auf der rechten Seite einer Querablage von 13.3% und auf der linken Seite einer Querablage von 14.9%.

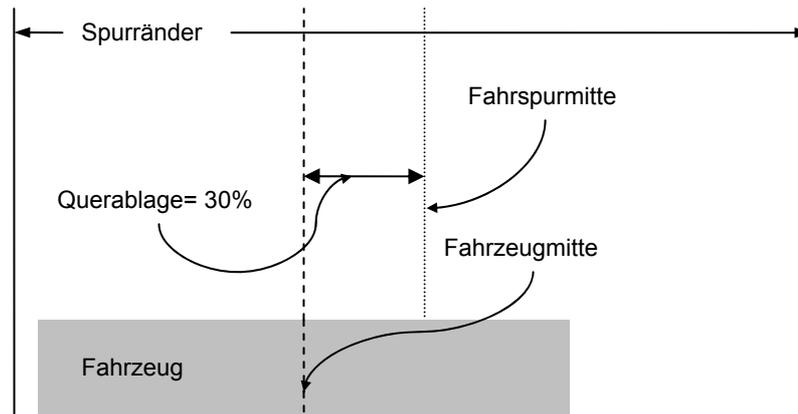


Abbildung 2-5 Schema zur Erläuterung der Querablage

Ab diesen Querablagewerten ertönt also der Warn-Ton für den unsicheren Bereich. Der kritische Bereich beginnt bei den Extrema der Verteilung. Das bedeutet, in der Untersuchung von Schießl (2006) auf geraden und leicht gekrümmten Straßenabschnitten keiner der Fahrer so weit von der Spurmitte abwich. Auf der rechten Seite entspricht die einer Querablage von 26.1% und auf der linken Seite einer Querablage von 28.3%. Außerhalb dieser Grenzen warnt das Assistenzsystem also mit dem Warn-Ton für den kritischen Bereich. Die so festgelegten Bereiche wurden in Vorversuchen auf ihre Plausibilität geprüft. Eine Illustration der Warnbereiche findet sich in Abbildung 2-6.



Abbildung 2-6 Illustration der Warn-Bereiche der Querführungsassistenten innerhalb der Fahrspur. Der unsichere Bereich ist gelb hinterlegt, der kritische Bereich rot hinterlegt

Die Warn-Töne waren im unsicheren Bereich ein tieferer Ton von 500 ms Dauer mit einer Pause von 15 ms vor seiner Wiederholung und im kritischen Bereich ein höherer Ton von 250 ms Dauer mit einer Pause von ebenfalls 15 ms zwischen den Tönen. Wurde ein absichtliches Verlassen der Spur durch Blinken angezeigt, warnten die Assistenten für die Dauer des Blinkens und vier Sekunden darüber hinaus nicht. Durch diese Verzögerung von vier Sekunden sollte den Fahrern die Möglichkeit gegeben werden, nach Spurwechseln und Überholmanövern in der erreichten Spur anzukommen, ohne dabei gewarnt zu werden.

Die drei verschiedenen Querführungsassistenten warnten beim Verlassen der Idealspur unterschiedlich. Der 2-stufige Assistent warnte immer, wenn der Fahrer in den unsicheren Bereich fuhr, mit dem tiefen, langsamen Ton und immer, wenn der Fahrer in den kritischen Bereich fuhr, mit dem hohen, schnell wiederholten Ton. Der 1-stufige Assistent warnte immer, wenn der Fahrer in den kritischen Bereich fuhr, mit dem hohen, schnell wiederholten Ton, aber nie, wenn der Fahrer in den unsicheren Bereich fuhr. Der adaptive Assistent warnte immer, wenn der Fahrer in den kritischen Bereich fuhr, mit dem hohen, schnell wiederholten Ton. Zusätzlich warnte er adaptiv, also abhängig von der aufgabenbezogenen Fahreraktivität, wenn der Fahrer in den unsicheren Bereich fuhr mit dem tiefen, langsamen Ton. Eine Übersicht der Assistenten und ihrer Warnungen findet sich in Tabelle 2-2.

Tabelle 2-2 Übersicht über die auszugebenden Warnungen der drei Spurhalteassistenten

	Warnbereiche (Querablage)			
	kritisch links (28.3%)	unsicher links (14.9%)	unsicher rechts (13.3%)	kritisch rechts (26.1%)
2-stufiger Assistent	immer	immer	immer	immer
1-stufiger Assistent	immer	nie	nie	immer
adaptiver Assistent	immer	adaptiv	adaptiv	immer

Die aufgabenbezogene Fahreraktivität der Probanden wurde in Form von Inaktivitätsdauern kontinuierlich über den Aktivitätsindex (siehe Vollrath, 2005) gemessen. Sie wurde in zwei Phasen eingeteilt, und zwar in aktive und ruhige Phasen. Ein Fahrer galt solange als aktiv, wie er bei Fahrzeuggeschwindigkeiten über 100 km/h innerhalb einer Sekunde aufgabenbezogen handelte. Als aufgabenbezogenes Handeln galten dabei Veränderungen der Gaspedal-, Bremspedal- oder Lenkradstellung. Diese wurde während der Fahrt fortlaufend erhoben und für die Ermittlung des Aktivitätsindex online ausgewertet. Der Aktivitätsindex misst die Zeit, in denen der Proband nicht Gas, Bremse oder Lenkrad betätigt. Die Grenzen dieser Inaktivitätsdauern stammen aus einer Studie von Vollrath (2006). Als Grenzwert, ab wann ein Proband als inaktiv gilt, wird der Aktivitätsindex der Probanden aus der Studie von Vollrath herangezogen. Demnach werden Probanden in meiner Untersuchung als inaktiv eingestuft, wenn ihr Aktivitätsindex, also die Dauer ihrer Inaktivität größer ist als bei 80 % der Probanden bei Vollrath. Der Fahrer wurde bei diesen Geschwindigkeiten dann als ruhig eingestuft, wenn er eine Inaktivitätsdauer von einer Sekunde überschritt. Sobald der Proband wieder aufgabenbezogenen Tätigkeiten ausführte, galt er wieder als aktiv.

2.3 Fahrzeugführung als Mensch-Maschine-System

Bei dem in Abbildung 2-1 dargestellten Fahrer-Fahrzeug-System handelt es sich um ein Mensch-Maschine-System. Mensch-Maschine-Systeme sind nach Kolrep und Timpe (2002) zweckmäßige Abstraktion des zielgerichteten Zusammenwirkens von Personen und technischen Systemen zur Erfüllung eines fremd- oder selbst gestellten Auftrages. Dabei steuert der Mensch das technische System entsprechend seiner Zielstellung, des Auftrags und der wahrgenommenen Rückmeldung über Umgebung und Systemzustand. Fahrerassistenzsysteme sind Teile dieses Mensch-Maschine-Systems und haben dementsprechend Einfluss auf die Steuerungsprozesse von Fahrer und Fahrzeug.

Um ein Mensch-Maschine-System (MMS) zu bewerten, empfehlen Kolrep und Timpe (2002), dessen Verlässlichkeit zu beurteilen. Verlässlichkeit bezieht sich dabei nicht ausschließlich auf die technische Zuverlässigkeit des maschinellen Teils des betrachteten Systems oder die menschliche Zuverlässigkeit des Bedieners (vgl. hierzu z.B. Bartsch, 1994 oder Herzceg, 2003), sondern auch auf die Wechselwirkungen der beiden Systemkomponenten untereinander und mit der Umwelt. Die ergebnisbezogene Bewertung der Verlässlichkeit eines Mensch-Maschine-Systems bezieht sich darauf, in wie weit das Gesamtsystem die systemspezifischen Ziele erreicht.

2.4 Kriterien zur Beurteilung von Mensch-Maschine-Systemen

Giesa und Timpe (2006) führen als Kriterien dieser Bewertung die Erreichung des Systemzwecks, die Autorität des Menschen, die Kompetenz des Menschen und die Funktionalität des Systems an. Für die Erreichung des Systemziels sind dabei Kriterien der Leistung zu spezifizieren. Die Forderung nach Autorität des Menschen als Kriterium ergibt sich aus der Verantwortlichkeit des Menschen für das Ergebnis. Sie soll dabei über deren Voraussetzungen beurteilt werden. Diese Voraussetzungen sind das Situationsbewusstsein des Menschen, seine Beanspruchung und die Gebrauchstauglichkeit (Usability) der technischen Komponenten des MMS. Die Kompetenz des Menschen ist durch Auswahl, Ausbildung und Training zu sichern. Die Beurteilung der Funktionalität des Systems meint die Betrachtung der rein technischen Voraussetzungen, also, ob der technische Teil des Systems in Bezug auf Funktionstauglichkeit, Auslegung und technischer Zuverlässigkeit überhaupt zum Erreichen des Systemziels beitragen kann. Kannheiser (2006) nennt drei Kriterien, anhand derer Mensch-Maschine-Systeme zu beurteilen sind. Erstes Kriterium ist die Leistung des Gesamtsystems in Bezug auf die Aufgabe. Weiterhin soll das System dahingehend benutzergerecht sein, als dass es die Menschen angemessen beansprucht. Als drittes soll das System Akzeptanz durch den

Nutzer erfahren, er soll es als bedienerfreundlich, nützlich und zufrieden stellend empfinden. Die von Giesa und Timpe genannte Dimension „Autorität des Menschen“ wird bei Kannheiser (2006) in die Beurteilung der Beanspruchung und in die Verständlichkeit des Systems sowie die Akzeptanzbeurteilung, die die Benutzerfreundlichkeit enthält, unterteilt. Die Dimensionen der „Kompetenz des Menschen“ und der Funktionalität des Systems werden nicht betrachtet, da letztere für die Beurteilung eines beispielhaften Prototypen irrelevant ist und erstere durch die erteilte Fahrerlaubnis gegeben ist. Anhand der genannten Kriterien wird das zu bewertende Assistenzsystem in den Dimensionen Leistung, Beanspruchung und Akzeptanz bewertet. Zusätzlich wird die Verständlichkeit des Systems erhoben.

2.4.1 Leistung in der Fahrzeugführung

Der Grund, das Fahrverhalten als Bewertungskriterium für Fahrerassistenzsysteme zu nutzen, ist zum einen, dass das Unfallrisiko direkt von ihm abhängt. Zum anderen soll geprüft werden, ob das Ziel, mit dem das Assistenzsystem eingeführt wird, nämlich die Verbesserung der Gesamtleistung des Mensch-Maschine-Systems, erreicht wurde. Auch wenn nicht klar ist, wie Verhaltenseffekte in Risikoindikatoren übertragen werden können, so kann man doch davon ausgehen, dass verminderte Leistungen in der Fahraufgabe die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer beeinträchtigen, indem sie es erschweren, bei unerwarteten Ereignissen schnell genug und angemessen zu reagieren. Die Betrachtung der Leistungen der Fahrer in der Fahraufgabe soll zum einen die potenziellen Verbesserungen oder auch unerwartete oder unerwünschte Auswirkungen auf das Fahrverhalten durch die Unterstützung des Systems und zum anderen eventuelle Leistungseinbußen durch die Interaktion mit dem System aufdecken (van Driehl, 2006).

Die Leistung des Fahrers wird vor allem an Kriterien der taktischen und operationalen Ebene gemessen. Johansson et al. (2004) unterscheiden dabei drei Arten von Leistungsparametern, und zwar die der longitudinalen Kontrolle, der lateralen Kontrolle und Entdeckungen kritischer Ereignisse. Für alle drei Parameterklassen gibt es eine Reihe von möglichen Messungen. Da sich die von Johansson et al. genannten Messungen der Entdeckungen kritischer Ereignisse eigentlich nur für Designs im Simulator mit kontrollierten Ereignissen, wie etwa auf die Straße laufenden Fußgängern, realisieren lassen, berücksichtige ich sie in meiner folgenden Zusammenstellung der Kriterien nicht.

Die longitudinale Kontrolle oder Längsführung kann unterteilt werden in die Geschwindigkeitsregulation und das Verhalten in Fahrzeug-Folge-Situationen. Für die Geschwindigkeitsregulation lassen sich Messungen der mittleren Geschwindigkeit und der maximalen Geschwindigkeit als Indikatoren nutzen. Für das Fahrzeug-Folge-Verhalten

kann man entfernungsbasiert oder zeitbasiert messen. Es werden nach Johansson et al. (2004) folgende Maße verwendet: mittlerer Abstand, Standardabweichung des Abstandes oder minimaler Abstand zum vorher fahrenden Fahrzeug. Für die zeitbasierte Messung lassen sich zusätzlich berechnen: minimale Zeit bis zur Kollision (Minimum Time-To-Collision, TTC) oder der Anteil der Fahrt, bei der der Fahrer unter einem festgelegten TTC gefahren ist.

Auch für die Querführungskontrolle gibt es verschiedene Maße, die in dieser Untersuchung zur Leistungsbeurteilung genutzt werden. Für die Spurhaltung werden nach Johansson et al. (2004) die mittlere Querablage, die Standardabweichung der Querablage, das Spurverlassen, die Anzahl der Spurwechsel oder auch hier zeitbasiert die minimale Zeit bis zum Verlassen der Spur (Time-To-Line-Crossing, TTLIC) oder der Anteil der Fahrt, bei der der Fahrer unter einem festgelegten TTLIC gefahren ist, genutzt.

2.4.2 Beanspruchung

In dieser Arbeit wird Beanspruchung im theoretischen Rahmen des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes betrachtet (vgl. auch Rohmert, 1973, sowie Schmidtke & Bubb, 1993). Der Norm DIN EN ISO 10075-1 (Nachreiner & Schultestus, 2002) folgend, werden die Begriffe Belastung und Beanspruchung konzeptionell getrennt. Belastung wird definiert als die „Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und auf ihn einwirken“ (Richter & Hacker, 1998; S.32). Diese Gesamtheit der belastenden Einflüsse enthält die aktuell zu bewältigende Aufgabe und deren Umgebungsbedingungen. In Abgrenzung dazu ist die Beanspruchung „die zeitlich unmittelbare und nicht langfristige Auswirkung der Belastung auf die Einzelperson in Abhängigkeit von ihrem eigenen habituellen und augenblicklichen Voraussetzungen einschließlich der individuellen Auseinandersetzungsstrategien“ (ebd.). Dabei sind die habituellen Voraussetzungen zu verstehen als Fähigkeiten und Fertigkeiten der Menschen und die aktuellen Voraussetzungen als ihr aktueller Zustand.

Ein optimales Mensch-Maschine-System kann die Beanspruchung der Bediener senken und damit einhergehend die Effizienz des Mensch-Maschine-Systems steigern. Auf der anderen Seite kann eine inadäquate Automatisierung zu übermäßiger mentaler Beanspruchung durch Über- oder Unterforderung führen wenn beispielsweise das System für den Bediener nicht nachvollziehbare Aktionen ausführt (Parasuraman et al., 2000). Es ist daher von essenzieller Bedeutung, neue technische Systeme vor ihrer Einführung kritisch im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung des Bedieners zu untersuchen.

In der Literatur werden verschiedene Maße zur Beurteilung der Beanspruchung diskutiert (z.B. Grandt, 2004). Sie sind grob in drei Gruppen einzuteilen: subjektive Beanspruchungsmaße, physiologische Maße sowie die Beurteilung der Beanspruchung aus

Leistungsmaßen der Probanden. Da verschiedene Indikatoren der Beanspruchung unterschiedlich Ergebnisse erbringen können und sie alle verschiedenen Schwächen haben, werden in dieser Arbeit auch mehrere Beanspruchungsmaße erhoben.

Die Erhebung der subjektiven Beanspruchung durch Befragung ist relativ leicht und kostengünstig. Die so gewonnenen Daten sind allerdings anfällig für Verzerrungen durch Antworttendenzen der Befragten, wie Tendenzen zur Mitte oder zu sozial erwünschten Antworten. Auch können Fehler in Erinnerung oder Selbstbeobachtung die Ergebnisse verfälschen.

Als physiologische Indikatoren der Beanspruchung werden in der Literatur Maße des zentralen Nervensystems, des kardiovaskulären Systems, Biosignale der Haut, somatomotorische Signale, die Körpertemperatur sowie Veränderungen im endokrinen System behandelt. Nach Boucsein (2006) ist für Untersuchungen im Feld der am besten geeignete Beanspruchungsindikator die tonische Herzfrequenz. Dieser Indikator gilt als universell, aber relativ unspezifisch. Eine deutliche erhöhte Herzfrequenz lässt dabei auf höher körperliche Beanspruchung schließen, eine moderat erhöhte Herzfrequenz auf erhöhte mentale Beanspruchung und eine verminderte Herzfrequenz auf Ermüdung.

Auf Leistungsmaße zur Erfassung der Beanspruchung der Probanden wurde in dieser Untersuchung aus verschiedenen Gründen verzichtet. Zum einen wird die Leistung in der Hauptaufgabe, also die Qualität der Fahrzeugführung, bereits als eigenständiges Kriterium verwandt. Zum anderen ist es in dem gewählten Rahmen der Untersuchung, den Fahrten im Realverkehr, aus Sicherheitsgründen nicht angebracht, Zweitaufgaben zu stellen.

2.4.3 Akzeptanz

Akzeptanz drückt ein zustimmendes Werturteil aus und bildet so einen Gegensatz zur Ablehnung. Davis (1989) hat mit dem Technology acceptance model ein Modell zur Akzeptanz von technischen Innovationen aus den sozialpsychologischen Theorien von Ajzen und Fishbein abgeleitet (Theory of Reasoned Action (TRA), Ajzen & Fishbein, 1980; Theory of Planned Behavior (TPB) Ajzen, 1985 zit. nach Cheng, 2006). Die Gültigkeit des Modells wurde in zahlreichen Studien zur Akzeptanzvorhersage von Informationssystemen und Internet-Nutzerverhalten bestätigt (Lee, 2007). Nach diesem Modell gibt es zwei Eigenschaftsbereiche einer technischen Innovation, die die Einstellung der Nutzer ihr gegenüber, und dadurch ihre Akzeptanz, beeinflussen: zum einen der wahrgenommene Nutzen der Innovation und zum anderen die wahrgenommene einfache Benutzbarkeit des Systems.

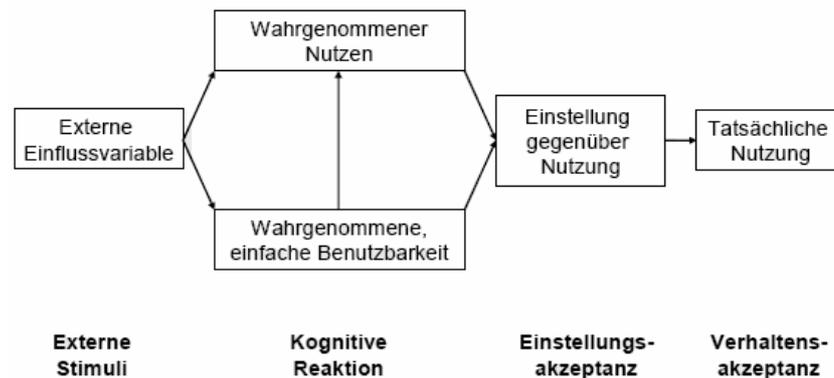


Abbildung 2-7 Technology Acceptance Model von Davis (1989, Abbildung nach Werneke 2006)

Beeinflusst wird die Akzeptanz der Assistenzsysteme auch von Eigenschaften der Fahrer, die im Folgenden unter dem Begriff der Einstellung zusammengefasst werden. Dabei handelt es sich einerseits um ihre Einstellung gegenüber Technologie allgemein (vgl. Beier, 1999 sowie Wandke und Rötting, 1998) und Assistenzsystemen im Speziellen. Zum anderen fallen ihr Fahrstil und ihren Wünschen an das Fahren, sowie ihre Motive für das Fahren mit dem Auto, darunter. Zusätzlich gehören emotionale Faktoren, die mit der Innovation verknüpft werden, wie empfundenem Stolz oder Spaß bei der Nutzung in den Bereich der Fahrereigenschaften.

Der wahrgenommene Nutzen lässt sich weiter unterteilen in denjenigen Anteil, der mit den Funktionen der Innovation zu tun hat, also deren Funktionalität und denjenigen Teil, der mit den Bedürfnissen des potenziellen Nutzers zusammenhängt, der eigentlich persönlichen Nützlichkeit. Für die wahrgenommene einfache Benutzbarkeit des Systems ergeben sich wiederum zwei Unterpunkte: zum einen eine Bewertung der benutzerfreundlichen Gestaltung des Systems und zum anderen die sinnvolle Nutzbarkeit für den speziellen Nutzer, die eigentliche, „persönliche“ Benutzerfreundlichkeit.

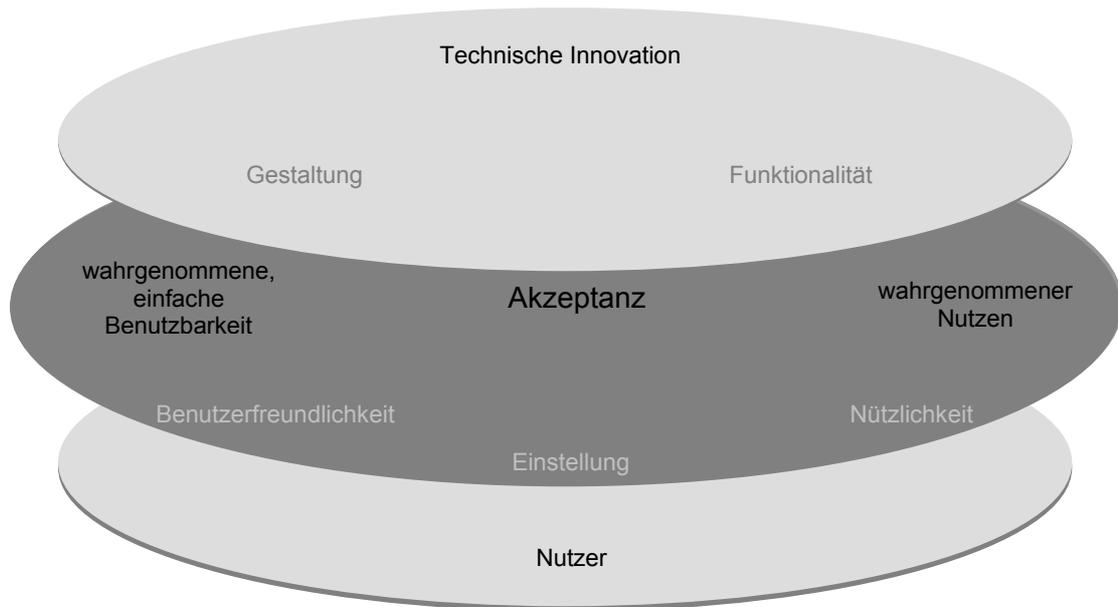


Abbildung 2-8 Das der Untersuchung zugrunde liegende Akzeptanzmodell

In Anlehnung an diese Theorie wurden die Fahrer befragt. Hierzu gab es einen Fragebogen, in dem die „systemnahen“ Bereiche Funktionalität und Gestaltung getrennt von den „nutzernahen“ Bereichen Nützlichkeit und Benutzerfreundlichkeit erhoben wurden. Zusätzlich wird ein allgemeiner Bereich der Einstellung gegenüber dem Assistenten gewidmet. Diese Art der Aufteilung wurde auf Basis der Analyse der Akzeptanzfragebögen von Kassner und Werneke (Kassner und Vollrath 2006, sowie Werneke, 2006) entwickelt und ist in Abbildung 2-8 dargestellt.

2.4.4 Mentale Modelle

Das Verstehen der Systemfunktionen ist eine Voraussetzung, um Situationsbewusstsein in einem Mensch-Maschine-System zu erlangen. Das Konstrukt Situationsbewusstsein bezeichnet den Zustand, sich seiner Umgebung zutreffend bewusst zu sein. Um diesen Zustand zu erreichen, müssen nach Endsley (1995) die Objekte in der Umgebung wahrgenommen und deren Bedeutung verstanden werden. Veränderungen in der Umgebung und der zukünftige Zustand der Objekte müssen zutreffend für eine ausreichende Zeitspanne vorhergesagt werden. Das Situationsbewusstsein hat Einflüssen auf die Beanspruchung der Probanden (Parasuraman et al., 2000) und ist in kritischen Situationen essenziell für die Vermeidung von Unfällen. Dieses Situationsbewusstsein kann sich neben der nötigen selektiven Aufmerksamkeit für die Aufgabe nur aufbauen, wenn adäquate mentale Modelle des Systems vorhanden sind (Wickens et al., 2004, S.144). Mentale Modelle haben drei wichtige Funktionen: sie leiten das Verständnis einer Person vom Prozessgeschehen, sie leiten das Handeln der Menschen und sie erlauben die Ableitung von Prognosen des Systemzustands (Kluwe, 2006, S.43).

Nach Wickens et al. (2004, S. 137) sind mentale Modelle Schemata über dynamische Systeme und enthalten das Verständnis der Nutzer eines Systems über dessen Systemkomponenten, die Funktionsweise des Systems und seine Bedienung. Laut Hacker (2005, S.211) enthalten mentale Modelle antizipative operative Abbilder der Systemzustände, und damit auch über den sequenziellen Ablauf und die Folgen eines Zustands. Mentale Modelle variieren nach Wickens et al. (2004, S. 137) in ihrer Vollständigkeit und in Ihrer Korrektheit. Um die Vollständigkeit erheben zu können, fand eine offene qualitative Befragung statt, in der die Probanden die Funktion der Assistenzsysteme so genau sie konnten beschreiben sollten. Die qualitative Auswertung fand anhand der von Wickens et al. genannten Kriterien statt.

2.5 Herleitung der Untersuchung

Fahrerassistenzsysteme sollen nach Donath und Schulte (2006) die Aufmerksamkeit des Operateurs auf die dringlichste Aufgabe (Fahrzeugstabilisation vor Bahnführung vor Navigation vor Komfortsteigerung) lenken und zusätzlich bei einer Überforderung des Fahrers diese Überforderung abbauen.

Im Konzept der Fahrerassistenz soll sich also der Assistent nur dann bemerkbar machen und den Fahrer unterstützen, wenn dieser die Unterstützung auch wirklich braucht.

Den oben genannten Konzepten von Fahrzeugführung folgend (Kapitel 2.1), sind Fehler in der Spurhaltung als Teil der Stabilisierungsebene und der Bahnführungsebene einzuordnen. Daher würde eine angemessene Unterstützung in dieser Aufgabe darin liegen, Fahrer auf Fehleinschätzungen der Umgebungsbedingungen, im Speziellen die Lage des Fahrzeugs in der Spur, sowie auf sich ändernde Bedingungen aufmerksam zu machen, damit sie ihr Verhalten entsprechend anpassen können. Es kann dabei kann davon ausgegangen werden, dass sie die Fähigkeiten zur sicheren Fahrt bereits erworben haben. Assistenz hat in diesem Fall also eine warnende Aufgabe.

Es ist dabei eine Systemauslegung zu finden, die sowohl eine ausreichende Zuverlässigkeit (Erkennen kritischer Situationen) als auch eine für den Fahrer akzeptable Spezifität (nur „melden“, wenn es wirklich kritisch ist) bietet. Die Schwierigkeit bei warnenden Assistenzsystemen ist die Auslegung der Grenzen der Warnungen. Sie sollen so gestaltet sein, dass sie die Fahrer zuverlässig vor Unfällen schützen. Dazu müssen Warnungen so früh erfolgen, dass die Fahrer ab diesem Zeitpunkt noch genügend Zeit haben, zu reagieren. Eine solch hohe Absicherung gegen das Nicht-Warnen bei Gefahr geht aber, wenn das Assistenzsystem seine Warnungen nur auf den Umgebungsbedingungen basieren lässt, mit einer relativ hohen Anzahl Alarme einher. Diese empfundenen falschen Alarme sind für Fahrer nicht nachvollziehbar, weil deren Einschät-

zung der Fahrsituation eine andere ist. Dieses führt durch nicht angemessen empfundene Funktionen der Assistenz zu einer geringen Akzeptanz dieser statischen Systeme. Auch können die häufigen Alarme zu einer hohen mentalen Beanspruchung führen, womit selbst bei verbesserter Spurhaltung das Ziel der Verbesserung des Mensch-Maschine-Systems nicht erreicht wäre. Wenig akzeptable und beanspruchende Assistenzsysteme werden ignoriert oder ganz abgeschaltet, und bieten somit keinerlei Schutz in wirklich kritischen Situationen.

Der Versuch, diesem Dilemma zu entgehen, ist die fahrerzustandsadaptive Assistenz, die weniger falsche Alarme auslösen soll. Assistenzsysteme mit fahrerzustandsabhängigen Warnungen sollen daher nur dann warnen, wenn der Fahrer die Warnung braucht. Dabei soll das Assistenzsystem Fahrer, die nicht aktiv in die Fahraufgabe involviert sind, früh vor dem Verlassen der Spur warnen, um ihnen Zeit zum Erkennen der Situation und zur Korrektur zu geben. Fahrer, die aktiv ins Fahrgeschehen eingebunden sind, werden später gewarnt, da sie nur die Zeit zum Korrigieren brauchen. Schließlich werden Fahrer, die absichtlich die Spur verlassen, um etwa zu überholen, gar nicht gewarnt.

Dieses adaptive System zur Unterstützung der Spurführung soll in der folgenden Untersuchung evaluiert werden. Kriterium zur Bewertung ist dabei, ob das System besser ist als statische Warnsysteme zur Spurführung. Besser bedeutet dabei, den Kriterien zur Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen folgend, bessere Leistung bei geringerer Beanspruchung zu verursachen und durch die Nutzer akzeptiert zu sein.

2.5.1 Bedingungsmodell

Das Bedingungsmodell der Untersuchung ist zusammenfassend in Abbildung 2-9 dargestellt. Erläuterungen dazu finden sich im folgenden Text.

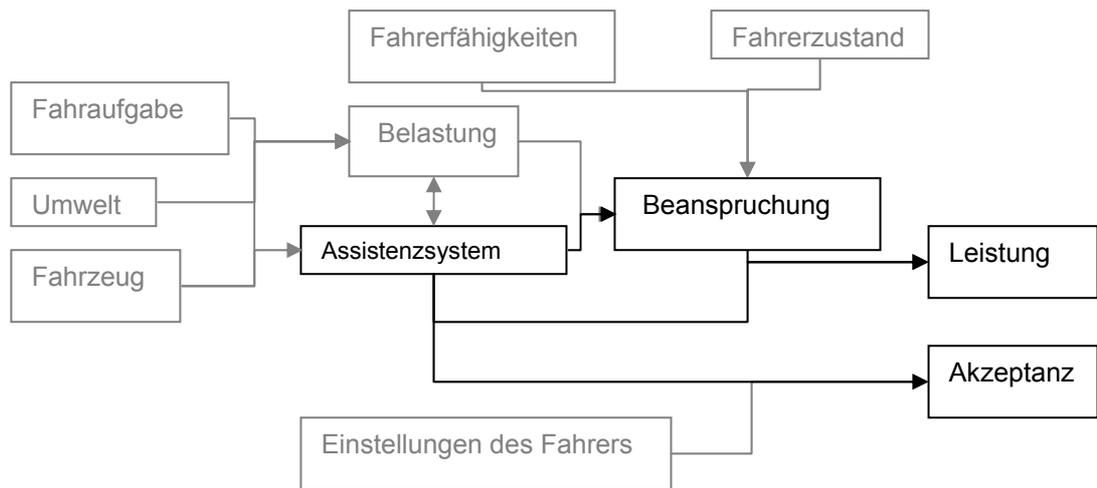


Abbildung 2-9 Das der Untersuchung zugrunde liegendes Bedingungsmodell. Die schwarz dargestellten Variablen werden in der Untersuchung betrachtet, die grau dargestellten Variablen werden als Störvariablen behandelt.

Fahraufgabe, Fahrzeug und Umweltbedingungen bestimmen nach dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept die Belastung des Fahrers. Zusätzlich wirken Assistenzsysteme auf die Belastung. Die Belastung bestimmt in Kombination mit den persönlichen Eigenschaften des Fahrers und dessen Zustand, unter anderen seine mentale Beanspruchung. Die Beanspruchung des Fahrers wirkt sich auf seine Leistung aus.

Die Akzeptanz eines Fahrerassistenzsystems wird von dessen Eigenschaften und den Einstellungen des Fahrers beeinflusst. Dabei spielen die Verständlichkeit der Funktionen des Assistenten, die Gestaltung und die empfundene Nützlichkeit und die Benutzerfreundlichkeit sowie die einstellungsbezogenen Faktoren eine Rolle spielen.

Untersucht werden in dieser Arbeit nur die Auswirkungen verschiedener Auslegungen eines Assistenzsystems auf die Beanspruchung und die Leistung der Nutzer sowie die Akzeptanz, die diese Systeme bei den Nutzern auslösen. Die Faktoren Fahraufgabe, Umwelt und Fahrzeug, die dadurch bestimmte Belastung sowie die Fahrereigenschaften Fähigkeiten, Zustand und Einstellungen werden durch das Design der Untersuchung kontrolliert.

2.5.2 Fragestellung

Primäres Ziel der Fahrerassistenzsysteme ist, die Aufgabenleistung, also sicheres Fahren, durch Auskunft, Anleitung oder Warnung in Echtzeit zu verbessern (Brookhuis, 2001) und das Fahren komfortabler zu machen. Die Fragestellung dieser Evaluation eines adaptiven Querführungsassistenten im Vergleich zu sonst gleich ausgelegten statischen Systemen lautet daher:

Ist fahrerzustandsabhängige Assistenz besser als statische Assistenz?

Anhand der Kriterien zur Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen ergeben sich daraus folgende Fragen:

1. Verbessert eine fahrerzustandsabhängige Assistenz die Leistung des Fahrer-Fahrzeug-Systems gegenüber statischen Systemen?
2. Verringert eine fahrerzustandsabhängige Assistenz die Beanspruchung der Fahrer gegenüber statischen Systemen?
3. Verbessert eine fahrerzustandsabhängige Assistenz die Akzeptanz der Assistenzsysteme gegenüber der Akzeptanz statischer Systeme?

Zusätzlich interessiert, in wie weit die Fahrer ein angemessenes Mentales Modell der Assistenten aufbauen können.

2.5.3 Untersuchungshypothesen

Die Leistung in der Querführung soll durch Assistenz verbessert werden. Es wird davon ausgegangen, dass ein System mit zwei Warnstufen, einer Vorwarnstufe und einer zweiten Warnstufe bei kritischer Abweichung von der Spur, bessere Leistungen der Querführung verursacht als ein Assistenzsystem, das generell nur bei kritischen Abweichungen warnt. Das adaptive Assistenzsystem soll, da es den Fahrerzustand erkennt, auch immer dann warnen, wenn die Vorwarnstufe aufgrund unaufmerksamen Fahrens nötig ist. Daher soll auch dieses adaptive System bessere Leistungen in der Querführung verursachen als das System mit nur einer Warnstufe.

Da die Häufigkeit der Warnungen bei einem fahrerzustandsabhängigen Assistenzsystem kleiner sein sollten als bei einem statischen System mit den gleichen Grenzwerten für das Auslösen von Warnungen, wird davon ausgegangen, dass es bessere Akzeptanzbeurteilungen erhält. Auch sollte die Beanspruchung der Probanden geringer sein als bei der statischen Variante, da die informatorische Belastung durch das Assistenzsystem geringer ist.

Die inhaltlichen Hypothesen lauten dem entsprechend:

H_{1a} : Bei Fahrten, die durch Assistenz unterstützt werden, erzielen Fahrer bessere Leistungen in der Querführung als bei Fahrten ohne Assistenz.

- H_{1b}: Bei Fahrten, die durch Assistenz mit Vorwarnstufe unterstützt werden, erzielen Fahrer bessere Leistungen in der Querführung als bei Fahrten, die von Assistenz mit nur einer Warnstufe bei kritischen Abweichungen von der Spurmitte unterstützt werden.
- H_{1c}: Bei Fahrten, die durch fahrerzustandsabhängige Assistenz unterstützt werden, erzielen Fahrer bessere Leistungen in der Querführung als bei Fahrten, die von einer statischen Assistentenauslegung unterstützt werden, die nur dann warnt, wenn es die zweite Stufe des fahrerzustandsabhängigen Assistenten tut.
- H₂: Fahrerzustandsabhängige Assistenz erreicht höhere Akzeptanz beim Fahrer als eine statische Assistentenauslegung mit gleichen Grenzwerten.
- H₃: Fahrerzustandsabhängige Assistenz verursacht geringere mentale Beanspruchung beim Fahrer als eine statische Assistentenauslegung mit gleichen Grenzwerten.

3 Methodische Umsetzung

In diesem Kapitel wird die methodische Umsetzung der Untersuchung beschrieben. Dabei wird zunächst die Aufgabe der Probanden kurz dargestellt (Kapitel 3.1), anschließend folgen die Beschreibung der Versuchstrecke (Kapitel 3.2) und des Versuchsfahrzeugs (Kapitel 3.3). Danach werden die Stichprobe (Kapitel 3.4), der Versuchsplan (Kapitel 3.5) und die Kontrolle der Störvariablen (Kapitel 3.6) erläutert. Die Erhebung der abhängigen Variablen Leistung in der Querführung (Kapitel 3.7.1), Beanspruchung (Kapitel 3.7.2), Akzeptanz (Kapitel 3.7.3) und Befinden (Kapitel 3.7.4) wird in Kapitel 3.7 zusammen mit der Erhebung des mentalen Modells (Kapitel 3.7.5) dargestellt. Eine Beschreibung der Instruktionen (Kapitel 3.8) und des Versuchsablaufs (Kapitel 3.9) finden sich am Ende dieses Kapitels.

3.1 Aufgabe

Aufgabe der Probanden bei dieser Untersuchung war, mit verschiedenen Assistenzsystemen für die Spurhaltung auf der Autobahn zu fahren. Die Untersuchung wurde mit einem Forschungsfahrzeug direkt im Realverkehr durchgeführt. Dabei wurden sowohl unterschiedliche Fahrdaten als auch Akzeptanzbewertungen der Probanden erhoben. Es wurden drei unterschiedliche Assistenzsysteme getestet und eine Vergleichsfahrt ohne jegliche Assistenz durchgeführt. Während der ersten Phase der Testfahrten konnten die Probanden das jeweilige Assistenzsystem ausprobieren und herausfinden, wie das System funktioniert. Anschließend sollten sie den restlichen Teil der Versuchsfahrt in ihrem normalen Fahrstil absolvieren, um das jeweilige Assistenzsystem am Ende der Fahrt mit Hilfe von Fragebögen zu bewerten.

3.2 Versuchstrecke

Für die Untersuchung wurde eine Versuchstrecke gewählt, die eine Fahrtdauer von ca. 2 Stunden pro Testfahrt ermöglichte, um dem Probanden zum einen Zeit zum Kennenlernen des Assistenzsystems zu geben, zum anderen am Ende der Fahrten aber auch schon ein relativ stabil an den Assistenten angepasstes Fahrverhalten erheben zu können. Es wurden nur dreispurige Autobahnstrecken genutzt. Dies geschah, um die Versuchsbedingungen während der Fahrt konstant zu halten und später Vergleiche zwischen anfänglichem und späterem Fahrverhalten der Testfahrer bei einem einzelnen Assistenzsystem zu ermöglichen. Daher fiel die Wahl auf den Abschnitt der A2 vom DLR Standort Braunschweig - Flughafen bis Magdeburg - Kannenstieg. Diese Versuchstrecke hat eine Gesamtlänge von 153 Kilometern. Auf der gesamten Strecke ist die Geschwindigkeit über eine Zeichenanlage dem Verkehrsaufkommen nach flexibel

begrenzt. Es handelt sich bei der A2 um eine vor allem von Lastkraftwagen sehr stark befahrene Strecke, was zur Folge hat, dass auf gut der Hälfte der Testfahrten Tagesbaustellen vorhanden waren, um Beschädigungen der Fahrbahndecke oder – Begrenzung zu beheben. Die jeweiligen Geschwindigkeitsbegrenzungen, Baustellen, eventuell dabei gesperrte Fahrstreifen sowie Staus und eine ungesicherte Unfallstelle wurden während der Fahrten vom Versuchsleiter protokolliert.

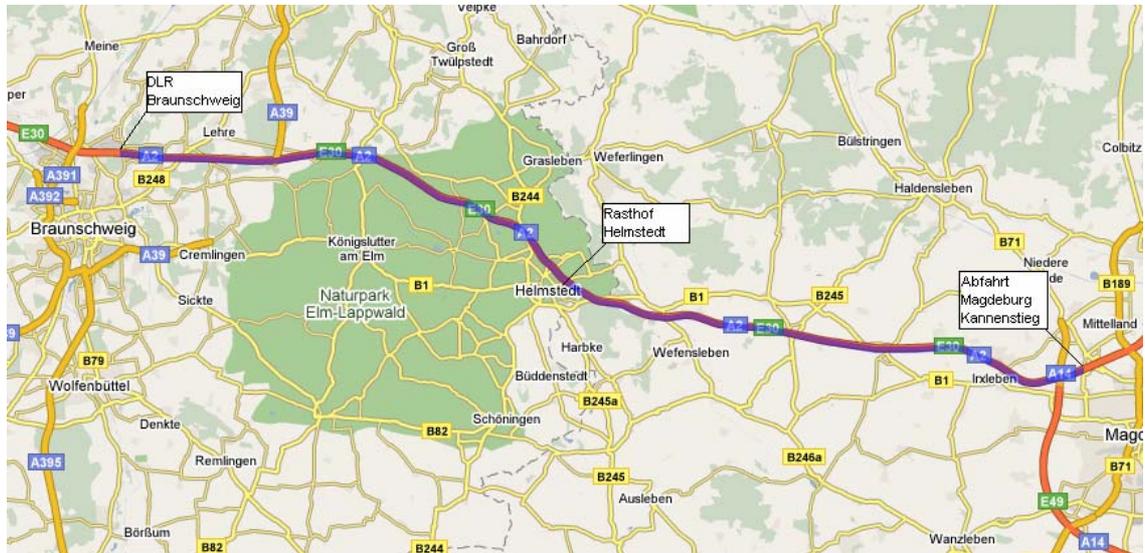


Abbildung 3-1 Versuchstrecke

3.3 ViewCar®

Das ViewCar® (siehe Foto in Abbildung 3-2) ist ein Messfahrzeug des DLR, welches die Aufnahme des Fahrerverhaltens im realen Straßenverkehr ermöglicht. Dabei werden zeitsynchron die Fahrzeugbedienung und das resultierende Fahrzeugverhalten in Relation zur Verkehrsumgebung über interne Sensoren sowie Kameras aufgenommen. In dieser Untersuchung wurden dabei zum einen Antriebsdaten wie die Fahrzeuggeschwindigkeit; Daten der Spurerkennung wie die Spurbreite, die Querablage (die relative Abweichung des Fahrzeugs von der Spurmitte) und der Funktionsstatus der Spurerkennung aufgezeichnet. Zum anderen wurden über Videokameras das Geschehen vor dem Fahrzeug sowie der Fahrer selbst aufgenommen. Zusätzlich wurden die Statusdaten der Quersführungsassistenten aufgezeichnet. Letztere waren die kontinuierliche Aufzeichnung der Aktivitätsstufen (aktiv oder ruhig) der Probanden und für jede ausgelöste Warnung der Zeitpunkt und die Art der Warnung (jeweils unsicherer oder kritischer Bereich der Querablage und die Seite der Abweichung rechts oder links).



Kameras – Umwelt

Spurerkennung

Abbildung 3-2 Messfahrzeug ViewCar® des DLR

3.4 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 9 Versuchspersonen teil, davon 5 Männer und 4 Frauen. Einer der teilnehmenden Männer musste aufgrund unsicherer Fahrweise aus dem Versuch ausgeschlossen werden. Die verbliebenen acht Versuchspersonen waren im Durchschnitt 34.63 Jahre alt ($SD= 10.60$), wobei die jüngste Versuchsperson 26 Jahre und die älteste 59 Jahre alt war. Sie besaßen im Durchschnitt seit 16 Jahren ihren Führerschein ($SD= 9.35$). Von den acht Versuchspersonen, die in die Auswertung eingingen, gaben 7 an, zwischen 20 000 und 30 000 km im Jahr, eine zwischen 30 000 und 50 000 km im Jahr zu fahren. Zwei der Probanden trugen wegen einer Sehschwäche eine Brille. Zwei Personen fuhren beruflich viel Auto, davon einer als Berufsfeuerwehrmann und eine Probandin in der ambulanten Altenpflege. Keiner der Probanden hatte zuvor an einer Untersuchung zum Thema Spurhaltung am DLR teilgenommen. Die Probanden wurden mit € 10 je angefangener Stunde entlohnt.

Bei der Auswahl der Personen wurde berücksichtigt, dass die Aussagen dieser Untersuchung für „normale“ Autofahrer gelten sollten, also weder für Fahranfänger noch Fahrer, die äußerst selten fahren. Auch sollten die Probanden nicht Piloten oder Fluglotsen von Beruf sein, um zu vermeiden, dass sie aufgrund ihres Berufes gewohnt sind, viele Aufgabe gleichzeitig zu erledigen.

Als Kriterien für die Auswahl der Versuchspersonen wurde daher festgelegt, dass diese seit mindestens fünf Jahren im Besitz eines Führerscheins sein und sie eine jährliche Fahrleistung von mindestens 20 000 km aufbringen sollten. Die Stichprobe der Untersuchung stammt aus der Fahrerdatenbank des DLR, in der durch die Akquisition des DLR aus öffentlich Auftritten und Anzeigenschaltung ca. 750 Versuchspersonen zur Verfügung stehen, die nach Kriterien wie Geschlecht, Alter, Größe sowie Jahr des Führerscheinerwerbs, Fahrleistung, Fahrertyp und Sehhilfen charakterisiert sind. Der Umfang der Stichprobe sollte acht Probanden umfassen, um eine im Rahmen einer Diplomarbeit zeitlich machbare Anzahl Versuchsfahrten, mit dennoch ausbalanciertem Versuchsdesign zu realisieren.

3.5 Versuchsplan

In diesem Versuch wurden zwei Fragestellungen untersucht. Die beiden Fragestellungen konnten in einem Versuchsplan untersucht werden, da es sich um verschiedene Auswirkungen der gleichen Variablen handelt.

Die Frage war zum einen, welchen Einfluss die adaptive Spurhalteassistentz auf Verhalten, Befinden, physiologische Reaktionen und die Akzeptanz durch den Fahrer hat (siehe Kapitel 2.5.2). Dabei wurden zwei statische Varianten eines Assistenzsystems zur Warnung beim Verlassen der Spur mit einer adaptiven Systemvariante und einer Fahrt ohne Assistenz verglichen. Da der adaptive Warnassistent über zwei Warnstufen, von denen eine fahrerzustandsabhängig ist, verfügt, gab es bei den statischen Systemen eine Variante mit einer Warnstufe und eine mit zwei Warnstufen. Zum anderen wurde untersucht, in wie weit die Fahrer die Funktionsweise des adaptiven Assistenten verstehen können.

Bei dem Versuchsplan handelte es sich also um einen mit einer unabhängigen Variablen (UV), der Art des Assistenzsystems, und vier Gruppen von abhängigen Variablen (AVs). Die Variable Assistenzsystem für die Querführung war dabei dreifach gestuft, und zwar in den Ausprägungen 1-stufiger Assistent, 2-stufiger Assistent und adaptiver Assistent.

Die Auswirkungen dieser Ausprägungen der UV wurden in einem Messwiederholungsdesign untersucht. Die UV war hierbei ein Innersubjektfaktor, das bedeutet, dass jeder Proband mit allen Assistenzsystemen fuhr. Jeder Teilnehmer fuhr also insgesamt viermal die gleiche Strecke (siehe Kapitel 3.2) und zwar je einmal mit den drei Assistenten und eine Fahrt ohne Assistenzsystem als Referenzmessung. Die Reihenfolge der Bedingungen wurde zwischen den Probanden ausbalanciert, um Reihenfolgeeffekte in der Beurteilung zu minimieren. Eine Übersicht der realisierten Reihenfolgen und ihrer Zuordnung zu den Probanden findet sich in Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1 Übersicht der realisierten Reihenfolgen mit Zuordnung zu den Probanden

Proband	Position des Assistenten in der Reihenfolge der Fahrten			
	adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent	ohne Assistenz
194	4	3	1	2
196	3	1	4	2
598	3	1	2	4
672	1	2	4	3
683	4	2	3	1
697	1	4	2	3
760	2	4	3	1
761	2	3	1	4

Zusätzlich zur UV wurde für die Auswertung der Fahrdaten die Testfahrt in vier Abschnitte unterteilt. Diese Abschnitte gingen als zweiter Innersubjektfaktor in die Auswertung ein. Für die Erhebung des Befindens und der Beanspruchung gab es jeweils zwei Messzeitpunkte, die bei der Analyse ebenfalls als zweiter Innersubjektfaktor eingingen. Die drei Gruppen der AVs waren zum einen das Verhalten der Fahrer, als zweites ihre Beanspruchung, als drittes die Akzeptanzbewertung der Assistenzsysteme durch die Fahrer und als viertes das mentale Modell der Fahrer von den Assistenzsystemen.

3.6 Kontrolle der Störvariablen

In der Untersuchung wurden die Fahraufgabe und das Fahrzeug konstant gehalten. Zum einen erhielten die Probanden immer die gleiche Instruktion und zum anderen wurde für alle Bedingungen das gleiche Versuchsfahrzeug, nämlich das ViewCar®, genutzt. Die Umweltbedingungen lassen sich nicht kontrollieren. Um störende Auswirkungen auf die Messergebnisse zu minimieren, wurden bei schlechter Witterung zu Versuchsbeginn, im Berufsverkehr und bei Dunkelheit keine Versuchsfahrten durchgeführt. Für die verbliebene Zeit muss das sowohl das Wetter als auch die Verkehrsdichte als zufällig angesehen werden. Die überdauernden Fahreigenschaften, wie Fähigkeiten und Motive wurden durch das Messwiederholungsdesign parallelisiert. Der Fahrerzustand ist, außerhalb der Assistenteneinflüsse, durch das Messwiederholungsdesign in der Zwischensubjektvariabilität eingeschränkt und wurde durch Befragung vor dem Versuch auf ein Mindestmaß an Fitness hin getestet, konnte aber sonst nicht weiter kontrolliert werden. Den Anteil des Fahrerzustands, den die Beanspruchung ausmacht, wurde durch Fragebögen während und nach den Versuchen gemessen. Die Einstellungen des Fahrers, die vermutlich auf Ihre Akzeptanz-Einschätzungen wirken, waren in den Bedingungen durch das Messwiederholungsdesign parallelisiert.

Für die Auswertung und zur Kontrolle der Bedingungen wurden im ViewCar folgende Daten während der Versuchsfahrten aufgezeichnet:

1. Für jede Warnung durch den Assistenten
 - (a) der Zeitpunkt
 - (b) und die Art der Warnung, spezifiziert nach Warnstufe und Richtung
2. Kontinuierlich die Aktivitätsstufen der Probanden
3. Kontinuierlich folgende Fahrzeugdaten
 - (a) Querablage
 - (b) Geschwindigkeit

3.7 Erhebung der abhängigen Variablen

In diesem Abschnitt werden die in der Untersuchung erhobenen Variablen sowie die jeweilige Erhebungsmethode vorgestellt. Abhängige Variablen wurden aus folgenden Bereichen untersucht: der Leistung in der Fahraufgabe Spurhaltung, der Beanspruchung der Probanden bei den Fahrten, der Akzeptanz der Assistenzsysteme durch die Probanden, ihr Befinden vor und nach den Testfahrten sowie das mentale Modell der Probanden von den Funktionen der Assistenten. Die Leistung in der Fahraufgabe Spurhaltung (Kapitel 3.7.1) wurde über Messdaten aus dem ViewCar® erhoben. Die Akzeptanz, das mentale Modell, die subjektive Beanspruchung und die Befindlichkeit wurden über Fragebögen erhoben. Zusätzlich wurde die Beanspruchung über physiologische Indikatoren erhoben (Kapitel 3.7.2.1). Bei den Fragebögen handelt es sich um die Beanspruchungsfragebögen (Kapitel 3.7.3.2), die Akzeptanzfragebögen (Kapitel 3.7.3), die Befindlichkeitsfragebögen (Kapitel 3.7.4) und den Fragebogen zur Beschreibung des Assistenten (Kapitel 3.7.5). Alle verwendeten Fragebögen sind in Anhang A zu finden.

3.7.1 Leistung in der Fahraufgabe Spurhaltung

In dieser Arbeit wird zur Beurteilung der Leistung der Fahrer zum einen die mittlere Geschwindigkeit während der Fahrt und die Standardabweichung der Geschwindigkeit als globales Leistungsmaß erhoben. Als spezifisches Maß der Querführungsleistung wird die Standardabweichung der Querablage genutzt. Dafür wurde für den Vergleich der Assistenzsysteme bezüglich der Spurhaltung während der Testfahrten die Querablage der Probanden im ViewCar® aufgezeichnet. Für die Auswertung wurden die so erhobenen Daten in vier Abschnitte geteilt, um Veränderungen der Leistung während der Fahrten feststellen zu können. Die Maße der Längsführung, also die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung der Geschwindigkeit dienen dabei zur Un-

terscheidung zwischen erwünschten Effekten der Assistenten (Effekte auf die Leistung in der Querführung) und unerwünschten Effekten (Effekte auf die Leistung in der Längsführung).

3.7.2 Beanspruchung

Zur Erhebung der Beanspruchung der Probanden während der Testfahrten wurde neben physiologischen Indikatoren (siehe Kapitel 3.7.2.1) auch eine Messung der subjektiven Wertung erhoben (siehe Kapitel 3.7.2.2).

3.7.2.1 Physiologische Indikatoren der Beanspruchung

Als physiologische Indikatoren der Beanspruchung wurden das EKG sowie das Interbeat-Intervall der Probanden während der Testfahrten aufgezeichnet und ausgewertet. Die Aufzeichnung dieser physiologischen Signale geschah mit Hilfe des HealthLab. Das HealthLab ist ein mobiles System zur Aufzeichnung physiologischer Daten der Probanden, das während der Testfahrten vom Probanden getragen wird. Es besteht aus Sensoren, in diesem Fall der Elektroden für das EKG und einem kombinierten Messwertaufnehmer für Hautleitfähigkeit, Pulswelle und Hauttemperatur, der auf dem linken Ringfinger getragen wird, die per Kabel mit dem in einer Umhängetasche getragenen Aufzeichnungsgerät verbunden sind. Die Stromversorgung erfolgt über einen Akku, der ebenfalls in der Umhängetasche untergebracht ist. Die zeitsynchrone Aufzeichnung der physiologischen Daten mit denen des Fahrzeugs wird über eine Bluetooth-Verbindung von einem der Computer im ViewCar® gesteuert und überwacht. Abbildung 3-3 zeigt das HealthLab.



Abbildung 3-3 Das HealthLab

Für diese Studie wurde ausschließlich das Interbeat-Intervall des EKG-Signals ausgewertet. Das Interbeat-Intervall ist die Zeit, die zwischen zwei Herzschlägen vergeht, und wird anhand der R-Zacken des EKG erkannt. In Abbildung 3-4 ist dies schematisch dargestellt.

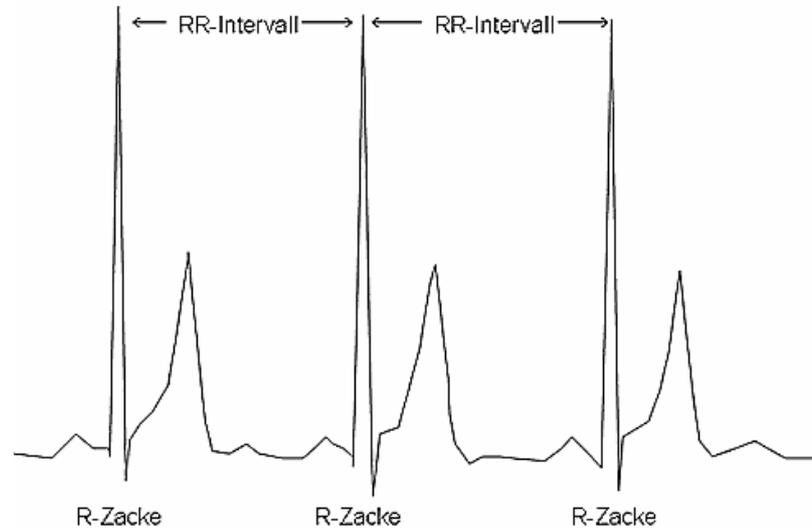


Abbildung 3-4 Schematische Darstellung eines EKG mit Interbeat-Intervall

3.7.2.2 Erhebung der subjektiven Beanspruchung

Zur Erhebung der subjektiven Beanspruchung wurde eine Übersetzung des NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) verwendet, die um je drei Fragen zur Beanspruchung durch den jeweiligen Assistenten ergänzt war, sofern es sich um eine Testfahrt mit Assistenzsystem handelte. Der Fragebogen für Testfahrten mit Assistenzsystem umfasste daher 11 Fragen und der Fragebogen für Testfahrten ohne Assistenzsystem 8 Fragen. Der Fragebogen wurde während jeder Testfahrt zweimal vorgelegt, die Probanden gaben in der Pause und am Ende einer Testfahrt ihr Urteil zur Beanspruchung ab. Der Teil der geschlossenen Fragen zur Beanspruchung umfasste Fragen zur geistigen und körperlichen Anstrengung, zum Zeitdruck bei der Aufgabenerfüllung, zur Einschätzung der erbrachten Leistung sowie zur emotionalen Beanspruchung. In einer offenen Frage wurde erhoben, was die Probanden jeweils als anstrengend empfanden.

Die geschlossenen Fragen des Fragebogens sind mit Hilfe einer Kategorienunterteilungsskala zu beantworten, die in zwei Schritten zu einer 15-fach gestuften Antwort führt. Hierfür sind zunächst auf der Skala Verbalurteile angegeben (z.B. „sehr schlecht“, „schlecht“, „mittel“, „gut“ und „sehr gut“), zwischen denen es sich zu entscheiden gilt. Danach sind diese in jeweils drei Stufen (-1, 0, +1) feiner unterteilt, zwischen denen der Proband sich dann wieder zu entscheiden hat. In Abbildung 3-5 ist beispielhaft eine dieser Kategorienunterteilungsskalen dargestellt.

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abbildung 3-5 Beispiele für die Skalierung der geschlossenen Fragen im Beanspruchungsfragebogen mit der 15-stufigen Kategorienunterteilungsskala

3.7.3 Akzeptanz

Die Akzeptanz der Assistenzsysteme wurde dem in Kapitel 2.4.3 dargestellten Modell folgend erfasst. In der Untersuchung geschah dies über Fragebögen am Ende der Fahrten mit den Assistenten. Die Akzeptanz der Assistenten durch die Probanden wurde dabei auf zwei Arten erhoben. Es wurde zu einem die Akzeptanz der jeweiligen Assistenten und zum anderen vergleichende Akzeptanz erhoben. Akzeptanz der jeweiligen Assistenten wurde erhoben mit den Fragebögen für die einzelnen Assistenten (Kapitel 3.7.3.1). Die vergleichende Akzeptanz wurde mit dem Fragebogen zum Vergleich der Assistenten (Kapitel 3.7.3.2) erhoben. Diese Fragebögen sind eine angepasste Weiterentwicklung der von Werneke (2006) am DLR Braunschweig entwickelten Akzeptanzfragebögen und erfassen die subjektive Bewertung der Spurhalteassistenten durch die Probanden.

3.7.3.1 Fragebögen für die einzelnen Assistenten

Die Fragebögen für die einzelnen Assistenten waren in fünf Teilbereiche gegliedert. Diese Teilbereiche waren:

- A Funktionalität
- B Gestaltung
- C Benutzerfreundlichkeit
- D Nützlichkeit
- und E Einstellung des Probanden zum Assistenten.

Die Fragebögen von Werneke (2006) umfassen drei Teilbereiche, nämlich Gestaltung, Nutzen und Funktionalität: Ihre Konstruktvalidität konnte jedoch in Faktorenanalysen nicht betätigt werden. Als Folge daraus wurden die Bereiche für die hier beschriebene Untersuchung neu gestaltet und Item-Formulierungen verbessert.

Auch beziehen sich die Fragebögen von Werneke (2006) auf verschiedene Formen der Spurhalteassistenten, nämlich informierende Assistenz, warnende Assistenz und eingreifende Assistenz. In den diese Funktionen und die Gestaltung betreffenden Bereichen wurden die Fragebögen für die vorliegende Untersuchung angepasst.

Dabei ergab sich, dass aufgrund der unterschiedlichen Funktionsweise (adaptive Assistenz nur bei einem der Assistenten) und Gestaltung (zwei Warnstufen nur bei dem 2-stufigen und dem adaptive Assistenten, nicht jedoch bei dem 1-stufigen) in den Bereichen Funktionalität, Gestaltung und Benutzerfreundlichkeit unterschiedlich viele Items zu beantworten waren. Die Fragen der beiden Bereiche Nützlichkeit und Einstellung waren identisch. Insgesamt umfasste der Fragebogen für den adaptiven Assistenten 35 Fragen, der für den 2-stufigen Assistenten 32 Fragen und der für den 1-stufigen Assistenten 30 Fragen. In welchen Items sich die Fragebögen jeweils unterschieden, ist in den folgenden Beschreibungen der einzelnen Teilbereiche erläutert. In Tabelle 3-2 sind Beispiel-Items aus den Teilbereichen der Fragebögen aufgeführt.

Tabelle 3-2 Beispiel-Items aus den Fragebögen für die einzelnen Assistenten

Bereich	Item- Nummer	Frage
A	2	Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?
B	5a	Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent anfängt zu warnen (tiefer Ton)?
C	3	Wie klar und verständlich ist, was der Assistent tut?
D	4	Wie hat der Assistent Ihr Sicherheitsgefühl beim das Fahren verändert?
E	3	Wie viel Spaß macht es, mit diesem Assistenten zu fahren?

Der Fragebogen erfasste inhaltlich im Bereich Funktionalität die Bewertung der Funktionen des Assistenten (also die Art der Unterstützung bei der Spurhaltung) durch die Probanden. Der Bereich Funktionalität hatte für den adaptiven Assistenten vier Items und für die beiden anderen Assistenten drei Items (bei ihnen ohne die Frage: „Wie finden Sie die Idee, abhängig von Ihrer Aktivität unterschiedlich früh gewarnt zu werden?“). Da der Bereich aus sehr wenigen und inhaltlich wenig homogenen Items bestand, wurde nicht versucht, eine Skala zu bilden.

Im Bereich Gestaltung sollten die Probanden ihr Urteil über die akustische (Art und Lautstärke der Töne), zeitliche (Zeitpunkt der Warnung) und die Assistenz auslösende (adaptiv zur Fahreraktivität) Gestaltung geben. Dabei enthielt der Fragebogen für den adaptiven Assistenten mit elf Items die meisten Items (Items, die in den anderen Bögen nicht vorhanden sind: „Wie gut erkennt der Assistent Ihre Aktivität?“ und „Der Assistent hält sie [viel zu früh ... viel zu spät] für inaktiv.“). Der Fragebogen für den 2-stufigen Assistenten enthielt neun Items und der für den 1-stufigen Assistenten acht Items (Letzterer ohne die Frage „Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent in die zweite Warnstufe wechselt?“). Eine der Fragen erfasst, wie viele Warnstufen sich die Probanden bei einem Spurhaltungsassistenten wünschen würden. In einer offenen Frage am Ende des Abschnittes könne sie Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge

angeben. Für den Teilbereich Gestaltung wurde eine Skala gebildet. Sie besteht aus sechs Items und hat eine Reliabilität von Cronbach's $\alpha = .758$.

Die Bereiche Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit entstanden aus dem Bereich Nützlichkeit der Originalfragebögen, da sich in Faktorenanalysen zeigte, dass diese Bereiche einzelne Faktoren ergeben.

Der Bereich der Benutzerfreundlichkeit behandelte die Erlernbarkeit und den Umgang mit dem Assistenzsystem sowie dessen Verständlichkeit. Er enthält in den Fragebögen für den adaptiven Assistenten und den 2-stufigen Assistenten acht Items und im Fragebogen für den 1-stufigen Assistenten sieben Items (ohne: „Die Unterscheidung zwischen den Warnstufen (tiefer Ton / hoher Ton) war [sehr einfach ... sehr schwierig].“). Aus den allen drei Fragebögen gemeinsamen Items wurde eine Skala gebildet. Sie besteht, nach Entfernen eines Items, aus sechs Items und hat eine Reliabilität von Cronbach's $\alpha = .799$.

Im Bereich Nützlichkeit wurde erfragt, wie weit der zu beurteilende Assistent die Erfüllung der Aufgabe (Spurhalten bei der Autobahnfahrt) beeinflusst hat. Hier spielten Themen wie Kontrolle über das Fahren, Anstrengung, Sicherheitsgefühl, Ablenkung und Vertrauen in den Assistenten eine Rolle. Der Bereich umfasste acht Items. Die gebildete Skala hat eine Reliabilität von Cronbach's $\alpha = .647$. Trotz nur mittlerer Reliabilität, wurde die Skala aus theoretischen Gründen so belassen.

Im letzten Bereich wurde die globale Einstellung der Probanden zum Assistenten erfragt. Dieser Bereich ergab sich aus den Items des Originalfragebogens, die keinem anderen Faktor zugeordnet werden konnten, aber für die Akzeptanz durch den Nutzer von Belang sind (siehe Cheng, 2006). Hier wurde erfragt, wie angenehm die Probanden den Assistenten fanden, wie gern sie ein Auto mit ihm fahren möchte, ob es Spaß macht, mit dem Assistenten zu fahren und abschließend, wie gut sie die Idee finden, einen solchen Assistenten zu benutzen. Die aus den vier Items des Bereiches gebildete Skala hat eine Reliabilität von Cronbach's $\alpha = .843$.

Auch für diesen Fragebogen wurde für die geschlossenen Fragen die 15-stufige Kategorienunterteilungsskala als Antwortformat verwendet.

Für einige Fragen wurde diese 15-stufige Skala um die 0 für „gar nicht“ oder „nie“ erweitert, sodass hier einen 16-stufige Skala vorliegt. Diese ist in Abbildung 3-6 dargestellt.

gar nicht	sehr selten			selten			mittel			oft			sehr oft		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abbildung 3-6 Beispiele für die Skalierung der geschlossenen Fragen im Akzeptanzfragebogen mit der 16-stufigen Kategorienunterteilungsskala

Die Daten der Bereiche Funktionalität und Gestaltung wurden deskriptiv ausgewertet, um die Eindrücke der Probanden zu erfassen. Die Daten der Bereiche Benutzerfreundlichkeit, Nützlichkeit und Einstellung wurden varianzanalytisch ausgewertet.

3.7.3.2 Fragebogen zum Vergleich der Assistenten

Der Fragebogen zum Vergleich der Assistenten fragte zusammenfassend noch einmal die Bewertung der Assistenzsysteme durch die Probanden hinsichtlich der fünf Teilbereiche Funktionalität, Gestaltung, Benutzerfreundlichkeit, Nützlichkeit des Assistenten sowie der Einstellung zum Assistenten ab. Er unterschied sich vom Vergleichsfragebogen von Werneke (2006) in der Anzahl der Items, die den Teilbereichen der Fragebögen für die einzelnen Assistenten entsprechen. Auch hier wurde der Fragebogen von drei Bereichen auf fünf erweitert. Zusätzlich wurden die Kaufbereitschaft und die Bereitschaft der Probanden, für die Assistenzsysteme Aufpreise beim Fahrzeugkauf zu zahlen, erhoben. In einer offenen Frage am Ende des Fragebogens hatten die Probanden die Möglichkeit, ihre Wünsche für ein Assistenzsystem zur Spurhaltung anzugeben. Der Fragebogen bestand somit aus sieben geschlossenen und einer offenen Frage. Die Beantwortung der geschlossenen Fragen geschah in vergleichender Form, da die Probanden ihr Urteil in der Vergabe der Plätze 1 bis 3 geben sollten. Diese Bewertungsskala für die ersten sechs geschlossenen Fragen ist in Abbildung 3-7 dargestellt.

Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

Abbildung 3-7 Skalierung der geschlossenen Fragen im Fragebogen zum Vergleich der Assistenten.

Bei der Frage nach der Kaufbereitschaft sollten die Probanden ankreuzen, welches der Assistenzsysteme sie bei gleichem Preis kaufen würden.

3.7.4 Befinden

Die Befindlichkeit der Probanden wird standardmäßig vor und nach allen Testfahrten am Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung durch einen dort entwickelten Fragebogen erhoben. Dieser fragt über fünf geschlossene Fragen unterschiedliche Aspekte des Befindens ab. Der Fragebogen enthielt folgende Items:

1. Wie stark ist im Moment Ihre Anspannung, wie sind Sie z.B. angespannt, nervös, unsicher, gereizt, erregt, empfindlich, usw.?

2. Wie stark sind Sie im Moment aktiv, wie sind Sie z.B. unternehmungslustig, energisch, tatkräftig, frisch, wach, usw.?
3. Wie stark ist im Moment ihre positive Stimmung, wie sind Sie z.B. gut drauf, heiter, fröhlich, gut gelaunt, lustig, unbeschwert usw.?
4. Wie groß ist im Moment Ihre Leistungsfähigkeit, wie sind Sie z.B. konzentriert, effektiv, kraftvoll, aufmerksam, eifrig usw.?
5. Wie stark sind Sie im Moment nach außen gerichtet, wie sind Sie z.B. gesprächig, gesellig, kontaktfreudig, offen für andere, selbstsicher, wollen auf andere zugehen usw.?

Diese Fragen waren alle in einem 16-stufigen Format der Kategorienunterteilungsskala, die von „gar nicht“ bis „sehr stark“ reicht, zu beantworten. Jeder Proband füllte diese Bogen vor und nach jeder Testfahrt aus.

3.7.5 Mentales Modell

Das mentale Modell der Probanden zu dem jeweils gefahrenen Assistenzsystem wurde, nach der anfänglichen Phase des Ausprobierens während des ersten Viertels der Testfahrt, in der Pause per Fragebogen schriftlich erhoben. In diesem Fragebogen zur Beschreibung des Assistenten sollten die Probanden ihr Verständnis der Funktionsweise des jeweils gerade ausprobierten Assistenzsystems erläutern. Er diente dazu, herauszufinden, in wie weit die Probanden in der Lage sind, die auslösenden Ereignisse für die Assistenten, vor allem für den adaptiven Assistenten zu verstehen. Die Probanden wurden hierbei instruiert, sich vorzustellen, einer anderen Person, die den Assistenten nicht kennt, den Assistenten beschreiben zu müssen. Als Hilfe zum Einstieg in die Befragung wurden beispielhafte Fragen vorgegeben, die man bei einer solchen Beschreibung zu beantworten versuchen könnte (z.B. Wann, aufgrund welcher Ereignisse, tut der Assistent was?). Der Fragebogen zur Beschreibung des Assistenten war ein Fragebogen mit offenen Antworten. Ausgewertet wurde er über den Anteil der richtig genannten Merkmale an der Gesamtzahl der Merkmale der Assistenten. Dabei wurden zunächst die Merkmale der Assistenten festgelegt und dann mit den Angaben der Probanden verglichen. Falsch genannte Merkmale der Assistenten gingen nicht den Vergleich der mentalen Modelle ein, wurden aber mitgezählt und werden berichtet.

3.8 Instruktion

Die Probanden erhielten bei ihrer ersten Testfahrt für diese Untersuchung einleitend schriftlich Informationen über die zu fahrende Versuchstrecke und darüber, dass sie diese Strecke mit drei verschiedenen Assistenzsystemen zur Spurhaltung und einmal

ohne Assistenzsystem fahren werden. Zusätzlich erhielten sie vor den einzelnen Fahrten schriftliche Instruktionen. Hierfür gab es zwei verschiedene Versionen, eine für die Fahrten mit Assistenzsystem und einen für die Fahrten ohne Assistenzsystem. Die Instruktionen enthielten einen ungefähren zeitlichen Ablaufplan, nach dem ca. zwei Stunden Testfahrt mit einer Pause nach einer viertel Stunde zu erwarten sind, und eine Beschreibung der Aufgabe. Die Probanden sollten auf dem ersten Teil der Fahrt das Assistenzsystem innerhalb der durch den Verkehr vorgegebenen Möglichkeiten und innerhalb der durch die Straßenverkehrsordnung zugelassenen Grenzen das Assistenzsystem soweit ausprobieren, dass sie dessen Funktion erklären können. Sie wurden auf die verschiedenen Befragungen während der Pause und am Ende der Testfahrt hingewiesen und darauf aufmerksam gemacht, für eine sichere Fahrt zu sorgen. Nach der Befragung zur Funktionsweise des jeweils gefahrenen Assistenzsystems wurde ihnen diese vom Versuchsleiter mündlich erklärt. Dabei wurde auf die Ereignisse eingegangen, die Warnungen auslösen, also die Abweichung von der Idealspur nach links oder nach rechts. Die Abstufungen der Warnungen in die beiden Bereiche unsicher und kritisch wurden erläutert, sowie die Abhängigkeit von der aufgabenbezogenen Aktivität beim adaptiven Assistenten. Zusätzlich wurde erklärt, dass die Assistenten keine Warnungen ausgeben, wenn der Fahrer blinkt, um die Spur zu wechseln. Die vollständigen Instruktionen finden sich im Anhang.

3.9 Versuchsdurchführung

Die Testfahrten wurden mit dem ViewCar®, dem Messfahrzeug des DLR Braunschweig, durchgeführt. Pro Tag konnten maximal zwei Testfahrten stattfinden, die jeweils aus der Fahrt mit einem der drei Assistenzsysteme oder der Fahrt ohne Assistenzsystem bestanden. Dabei wurde jeweils eine Untersuchung vormittags, wenn möglich mit Beginn um 9.00 Uhr und eine Fahrt nachmittags, wenn möglich mit Beginn um 13.00 Uhr durchgeführt, um zu vermeiden, in die hohe Verkehrsdichte durch berufliche Pendler auf der A2 zu gelangen.

Zu Beginn der Untersuchung wurde den Probanden das HealthLab zur Aufzeichnung ihrer physiologischen Daten angelegt. Danach wurde ihnen die für die jeweilige Testfahrt gültige Instruktion vorgelegt und sie erhielten den ersten Befindlichkeitsfragebogen (siehe Kapitel 3.7.4) zum Ausfüllen. Anschließend wurden die Versuchspersonen gebeten, sich im ViewCar® den Sitz und die Spiegel passend einzustellen. Die Messsysteme und das jeweilige Assistenzsystem im Fahrzeug wurden durch den Versuchsleiter vorbereitet und angeschaltet, danach begann die Testfahrt. In der ersten Phase der Fahrt sollten die Probanden den jeweiligen Assistenten ausprobieren, um zu erfahren, wie er funktioniert. Nach ca. einem Viertel der Gesamtstrecke, am Rastplatz

Helmstedt wurde während der Fahrt eine ca. 10-minütige Pause eingelegt, in der die Probanden zu ihrem mentalen Modell der Funktionsweise des Assistenten und ihrer Beanspruchung befragt wurden (siehe Kapitel 3.7.5 sowie Kapitel 3.7.2). Danach wurden sie über die genaue Funktion des Assistenten aufgeklärt und gebeten, nun den restlichen Teil der Testfahrt in ihrem normalen Fahrstil weiter zu fahren. Anschließend wurde die Testfahrt ohne weitere Pause fortgesetzt. Nach Beendigung der Testfahrt wurde das HealthLab entfernt. Die Probanden füllten einen weiteren Beanspruchungsfragebogen, den Akzeptanzfragebogen für das jeweils gefahrene Assistenzsystem, und den zweiten Befindlichkeitsfragebogen aus. Nach der letzten der vier Testfahrten füllten sie zusätzlich den Vergleichsfragebogen aus und wurden für die Teilnahme an der Untersuchung entlohnt. Der Ablauf einer Testfahrt ist in Abbildung 3-8 in Form eines Flussdiagramms dargestellt.

Die einzelnen Testfahrten dauerten im Mittel 82.07 Minuten, mit einer Standardabweichung von 7.38 Minuten. Insgesamt dauerte die Datenerhebung 7 Wochen. Insgesamt lagen Daten von 33 Fahrten vor. Von diesen Fahrten musste eine wegen eines Staus abgebrochen und wiederholt werden. Die abgebrochene Fahrt wurde nicht in die Auswertung mit einbezogen. Zwei weitere Fahrten sind wegen Staus am Ende der Strecke (ab Königslutter) abgebrochen worden, ohne die Fahrt zu wiederholen. Diese beiden Fahrten gehen in die Auswertung mit ein.

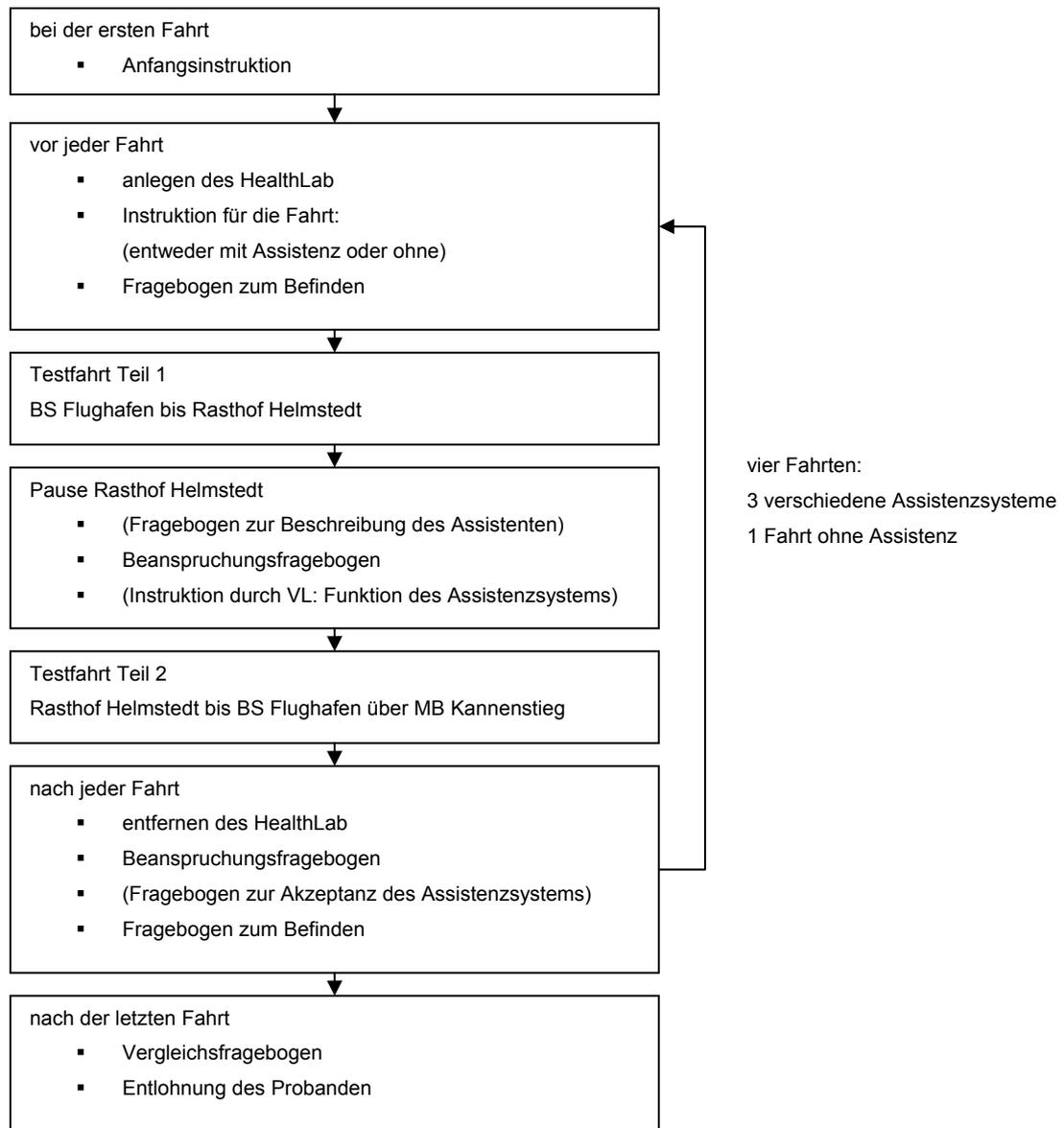


Abbildung 3-8 Übersicht des Versuchsablaufs einer Testfahrt. Angaben in Klammern bedeuten, dass diese Fragebögen nur bei Testfahrten mit Assistenzsystem vorgelegt wurden

3.10 Formale Hypothesen

Die formalen Hypothesen, die sich aus der Operationalisierung der abhängigen Variablen aus den Untersuchungshypothesen (siehe Kapitel 2.5.3) ergeben, lauten:

- H_{1a}: Bei Fahrten, die durch Assistenz unterstützt werden, werden im Mittel geringere Standardabweichungen der Querablage erreicht.
- H_{1b}: Bei Fahrten, die durch Assistenz mit engeren Warngrenzen unterstützt werden, werden im Mittel geringere Standardabweichungen der Querablage erreicht als bei Fahrten, die von Assistenz mit weiteren Warngrenzen unterstützt werden.
- H_{1c}: Bei Fahrten, die durch fahrerzustandsabhängige Assistenz unterstützt werden, werden im Mittel geringere Standardabweichungen der Querablage erreicht als

bei Fahrten, die von einer statischen Assistentenauslegung unterstützt werden, die nur dann warnt, wenn es die zweite Stufe des fahrerzustandsabhängigen Assistenten tut.

- H₂: Fahrerzustandsabhängige Assistenz erreicht im Mittel höhere Akzeptanzbewertungen als eine statische Assistentenauslegung mit gleichen Grenzwerten.
- H₃: Fahrerzustandsabhängige Assistenz verursacht geringere Bewertungen der Beanspruchung und im Mittel größere Inter-Beat-Intervalle als eine statische Assistentenauslegung mit gleichen Grenzwerten.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt. Dazu wird zunächst das Vorgehen bei der Auswertung beschrieben (Kapitel 4.1). In Kapitel 4.2 wird als Manipulationskontrolle im ersten Schritt geprüft, ob die verschiedenen Assistenzfunktionen unterschiedlich häufig warnen (4.2.1). Dann wird untersucht, ob die verschiedenen Assistenzsysteme Einfluss auf das Verhalten der Fahrer hatte, wobei zum einen ihre Aktivität (Kapitel 4.2.2) und zum anderen ihre Geschwindigkeit während der Testfahrten (Kapitel 4.2.3) betrachtet werden. Bei der Darstellung der Wirkung der Assistenz (Kapitel 4.3) wird zunächst die direkte Veränderung des Verhaltens im Bereich der Querführung untersucht (Kapitel 4.3.1) und im Anschluss die resultierende Beanspruchung der Probanden (Kapitel 4.3.2). Danach wird die Akzeptanzbewertung der Assistenzsysteme durch die Probanden (Kapitel 4.3.3) und deren Befinden vor und nach der Fahrt (Kapitel 4.3.4) betrachtet. Die Ergebnisse zum Aufbau mentaler Modelle der Assistenzfunktionen durch die Probanden (Kapitel 4.3.5) werden am Ende des Kapitels dargestellt. Als weitere Analysen werden dann Zusammenhänge zwischen Kontrollvariablen und abhängigen Variablen berichtet (Kapitel 4.4). Am Ende werden die Ergebnisse noch einmal kurz zusammengefasst (Kapitel 4.5).

4.1 Vorgehen bei der Auswertung

In diesem Kapitel wird zunächst dargestellt, wie die Messdaten aus dem Versuchsfahrzeug zur Auswertung aufbereitet wurden und welche Qualität die auszuwertenden Daten insgesamt hatten (Kapitel 4.1.1). Anschließend wird die Strategie der statistischen Auswertung beschrieben (Kapitel 4.1.2).

4.1.1 Datenverarbeitung und Datenqualität

Die Fahrdaten und die physiologischen Daten wurden aus den verschiedenen Dateien, in die sie bei der Aufzeichnung gespeichert wurden, zu einer zeitsynchronen Datei mit einheitlichem Zeitstempel zusammengefügt. Da die Daten in unterschiedlicher Frequenz aufgezeichnet wurden, wurden sie auf eine Abtastrate von 10Hz angeglichen. Die Länge der Aufzeichnungen unterschied sich nicht zwischen den Bedingungen ($F_{3,28} = 0.783$, $p = .513$). Nach dem Zusammenfügen der Dateien wurde jede Testfahrt in vier ungefähr gleich lange Bereiche geteilt. Dies geschah anhand der Geschwindigkeitsverläufe während der Fahrt. Der erste dieser vier Abschnitte begann nach dem Auffahren auf die Autobahn und endete mit dem Abfahren auf die Raststätte Helmstedt. Der zweite Abschnitt begann nach der Pause an der Raststätte und endete vor dem Abfahren von der Autobahn an der Abfahrt Magdeburg Kannenstieg. Der dritte Abschnitt begann nach dem erneuten Auffahren auf die Autobahn nach dem Wenden

und endete nach der Hälfte der nun verbliebenen Fahrzeit bis zur Abfahrt Braunschweig Flughafen. Der vierte und letzte Abschnitt begann direkt im Anschluss an den dritten und endete mit der Abfahrt von der Autobahn in Braunschweig. Die Spurwechsel der Probanden wurden anhand der Aufzeichnungen der Querablage in den Daten markiert. Bei jedem Spurwechsel springt der aufgezeichnete Wert der Querablage aus dem negativen in den positiven Wertebereich oder umgekehrt. Je fünf Sekunden vor und nach einem Sprung wurden mitmarkiert, um die gesamte Änderung der Querablage, die zu einem Spurwechsel gehört, aus der Auswertung entfernen zu können. Alle Teile der Fahrt, in denen die Spurerkennung nicht richtig funktionierte wurden ebenfalls markiert. Die so markierten Bereiche wurden anschließend aus der Auswertung der Querabweichung, der Geschwindigkeit, der Aktivitätsaufzeichnungen und der Aufzeichnung der Warnhäufigkeiten ausgeschlossen. Der Anteil ausgewerteter Daten an den insgesamt aufgezeichneten betrug im Mittel 58,7% mit einer Standardabweichung von 5,4%. Dieser geringe Anteil liegt sowohl daran, dass die Aufzeichnungen deutlich vor Beginn der eigentlichen Testphase begonnen wurden, als auch daran, dass die Pausen während der Fahrten einen relativen großen zeitlichen Anteil ausmachten.

Die Anzahl herausgeschnittener Spurwechsel unterscheidet sich nicht zwischen Bedingungen ($F_{3, 28} = 0.044$, $p = .987$). Auch die Anteile ausgewerteter Daten an den aufgezeichneten Daten unterschieden sich nicht zwischen den Bedingungen ($F_{3, 28} = 1.160$, $p = .343$). Die so zur Auswertung vorbereiteten Daten unterschieden sich zwischen den Abschnitten der Fahrten ($F_{3, 21} = 16.748$, $p = .000$) und zwischen den Probanden ($F_{1, 7} = 950,581$, $p = .000$). Sie unterschieden sich jedoch nicht zwischen den Bedingungen ($F_{3, 21} = 0.127$, $p = .943$). Die auszuwertenden Variablen wurden für die einzelnen Probanden pro Abschnitt normiert, in den sie gemittelt (Geschwindigkeit, Inter-Beat-Intervall und Standardabweichung der Querablage) oder relativ zur Länge des betreffenden Abschnitts angegeben (Häufigkeit der Warnungen sowie inaktive Phasen während der Fahrten) wurden.

Um die Qualität der physiologischen Daten zu prüfen, wurden alle Aufzeichnungen einer Sichtprüfung unterzogen. Immer, wenn das aufgezeichnete EKG eine sichere Erkennung der R-Zacken nicht zuließ, wurden die betroffenen Bereiche aus den daraus berechneten Inter-Beat-Intervallen herausgeschnitten. Dies führte dazu, dass bei zwei Fahrten überhaupt keine Inter-Beat-Intervalle ausgewertet werden konnten, bei einer Fahrt wurden neun Minuten der Aufzeichnung wegen schlechter Qualität herausgeschnitten. Anschließend wurden die berechneten Inter-Beat-Intervalle gefiltert, sodass nur Werte, die zwischen 500 ms und 1300 ms lagen, in die Auswertung eingingen. Da bereits bei der Datenaufzeichnung bei einer Fahrt kein EKG aufgezeichnet

wurde, fehlen für insgesamt drei komplette Fahrten sowie für den ersten Abschnitt einer weiteren Fahrt die Daten.

Für die Fragebogendaten wurden zur Kontrolle der Rohdaten die Häufigkeiten der Antworten auf fehlende Werte und Werte außerhalb des Wertebereichs überprüft. Dabei fand sich insgesamt ein fehlender Wert im Fragebogen zur Beanspruchung nach der Fahrt in der Bedingung 1-stufiger Assistent. Dieser Wert wurde tatsächlich vom Probanden nicht angegeben. Er wurde nach der Methode von Bingham, Stemmler, Petersen und Graber (1998) ergänzt.

4.1.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit den Programmen SPSS 14.0 und, für die exakten Tests, SPSS 15.0 der Firma SPSS Inc. sowie mit STATISICA 7.0.61.0 EN der Firma StatSoft.

Die Auswertung der Daten hinsichtlich der zentralen Hypothesen erfolgte für die Hypothesenprüfung mittels t-Tests für abhängige Stichproben oder Wilcoxon-Rangsummentests für abhängige Stichproben. Voraussetzung für die Verwendung von t-Tests ist die Normalverteilung der Messdaten innerhalb der Stichproben, mit der die Normalverteilung innerhalb der Populationen geschätzt wird. Diese Voraussetzung war nicht für alle Daten erfüllt.

Für die weiteren Analysen wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung oder Friedman-Tests genutzt. Diese Analysen sind nicht im Sinne einer Testung von a-priori Hypothesen zu verstehen. Sie dienen lediglich einer Absicherung gegen zufällige Ergebnisse bei der weiteren Analyse der Daten. Ihre Ergebnisse sind demnach als hypothesengenerierend für weitere Untersuchungen zu verstehen.

Voraussetzungen für die Varianzanalysen mit Messwiederholung sind:

1. Normalverteilung der Zellresiduen: Das Modell der Varianzanalyse geht davon aus, dass in jeder Zelle des Designs die Residuen normalverteilt sind (Bortz, 1999, S. 374, S.317, S. 339). Das bedeutet, dass die Messwerte in jeder Zelle normalverteilt sein müssen.
2. Sphärizität: Die zweite Voraussetzung für Varianzanalysen mit vollständiger Messwiederholung besagt, dass sowohl die Fehlervarianzen innerhalb der Zellen einer Faktorstufe homogen sind, als auch, dass zwischen den Faktorstufen homogene Korrelationen vorliegen (Bortz, 1999, S.339 ff).

Die Überprüfung der Voraussetzung der Normalverteilung der Werte der abhängigen Variablen innerhalb der Zellen kann mit Tests (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungs-Test bzw. Shapiro-Wilks-Test) vorgenommen werden. Diese reagieren bei der kleinen Zellenbesetzung eher konservativ (Schmidt, 2006). Da die Tests auf die Nullhypothese testen, würde eine konservative Entscheidung in diesem Fall zu unangemessenen An-

nahmen der H_0 , also der Annahme der Normalverteilung führen. Sie würden also eine Abweichung vor der Normalverteilung der Daten in der vorliegenden Untersuchung nicht erkennen. Daher wurde eine visuelle Sichtung der Daten mithilfe von Histogrammen und Q-Q Diagramme der Zellenwerte vorgenommen. Getestet wurde zusätzlich über Korrelationen der beobachteten Werte mit den unter der Normalverteilungsannahme erwarteten Werten. Johnson & Wichern (2002) geben dafür als untere Grenze zur Annahme der Normalverteilung für Stichproben kleiner $N = 10$ einen Korrelationskoeffizienten nach Spearman von $r = .9032$ zwischen beobachteten und erwarteten Residuen an. Die Annahme der Normalverteilung für alle gerechneten Tests wurde daher nach dem von Johnson und Wichern beschriebenen Vorgehen für alle untersuchten Variablen überprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfung finden sich im Anhang. Die Sphäritätsannahme wurde mit Mauchly-Tests überprüft. Hierbei wurde höheres Signifikanzniveau α von $\alpha = .20$ gewählt, um eine ungerechtfertigte Annahme der H_0 zu reduzieren. Wenn die Sphärität nicht gegeben war, wurden Korrekturen der Freiheitsgrade der F-Statistik nach Greenhouse und Geisser (Bortz, 1999, S. 339 ff) vorgenommen. Alle Tests der geplanten Einzelvergleiche auf Mittelwertsunterschiede und der Varianzanalysen wurden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde bei Mehrfachvergleichen nach Bonferroni korrigiert.

4.2 Manipulationskontrolle

Zur Manipulationskontrolle wurden die Häufigkeiten der Warnungen durch die verschiedenen Assistenten (Kapitel 4.2.1) auf ihre Unterschiede zwischen den Assistenten untersucht. Anschließend wurde für die Aktivität der Probanden während der Fahrten (Kapitel 4.2.2) und deren mittlere Geschwindigkeit während der Testfahrten (Kapitel 4.2.3) geprüft, ob es Einflüsse der Assistenzsysteme auf diese Aspekte des Fahrerverhaltens gab.

4.2.1 Häufigkeiten der Warnungen

Um sicherzustellen, dass die verschiedenen ausgelegten Assistenzsysteme tatsächlich unterschiedlich waren, wurden die Häufigkeiten ihrer Warnungen verglichen. In Abbildung 4-1 ist dargestellt, dass erwartungsgemäß der 2-stufige Assistent mit im Mittel 7.329 (SD= 3.867) Warnungen pro Minute häufiger warnt als der 1-stufige Assistent mit im Mittel 1.112 (SD= 1.106) Warnungen. Der adaptive Assistent schlug über die Abschnitte der Fahrt hinweg im Mittel 4.734mal (SD= 3.569) an und lag damit zwischen den beiden anderen Assistenten.

Häufigkeiten der Warnungen nach Bedingung und Fahrtabschnitt

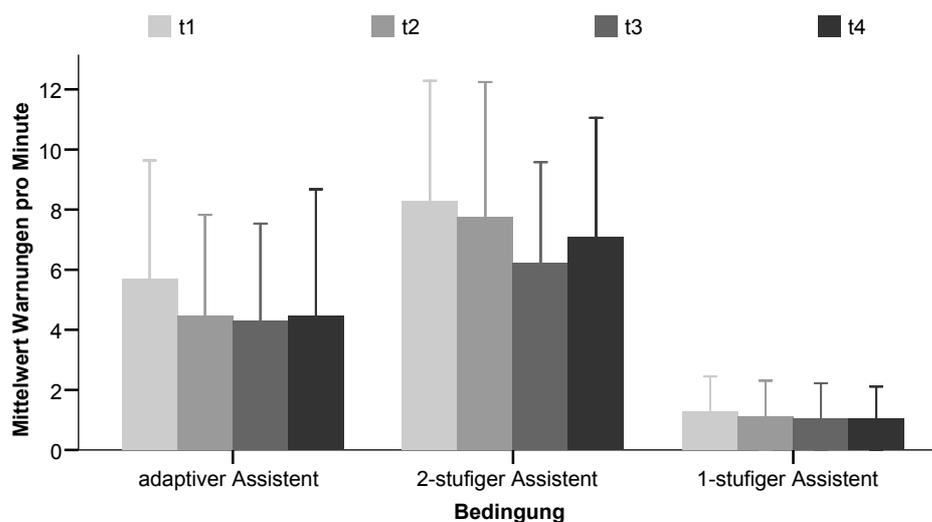


Abbildung 4-1 Mittelwerte und Standardabweichungen der Häufigkeiten der Warnungen nach Bedingung und Fahrtabschnitt sortiert

Für alle Fahrtabschnitte unterscheiden sich die Assistenten in den Häufigkeiten der Warnungen signifikant. Die Kennwerte der zugehörigen Friedman-Tests finden sich in Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1 Kennwerte der Friedman-Tests auf Unterschiede in den Häufigkeiten der Warnungen zwischen den Bedingungen

Fahrtabschnitt	N	χ^2	df	p
1	8	24.000	3	.000
2	8	22.671	3	.000
3	8	23.734	3	.000
4	8	23.734	3	.000

Auch für die Häufigkeiten der Warnungen zeigen sich erhebliche Unterschiede zwischen den Probanden. Zwar wurden alle Probanden von dem 2-stufigen und dem adaptiven Assistenten deutlich häufiger gewarnt als von dem 1-stufigen Assistenten, jedoch unterschieden sie sich deutlich in ihrem allgemeinen Niveau der Warnungshäufigkeit (Proband 760 mit fast gar keinen Warnungen bzw. Probandin 672 mit sehr vielen). Auch gab es Unterschiede im Verhältnis der Warnungshäufigkeit durch den 1-stufigen Assistenten im Vergleich zum 2-stufigen und zum adaptiven Assistenten (Probandin 194 mit relativ vielen Warnungen beim 1-stufigen Assistenten und Probandin 672 mit relativ wenigen). Und auch im Verhältnis der Warnungshäufigkeit durch den 2-stufigen Assistenten im Vergleich zum adaptiven Assistenten zeigen sich Unterschiede zwischen den Probanden (große Unterschiede bei Probandin 598 und geringe bei Probandin 194 und Probandin 672).

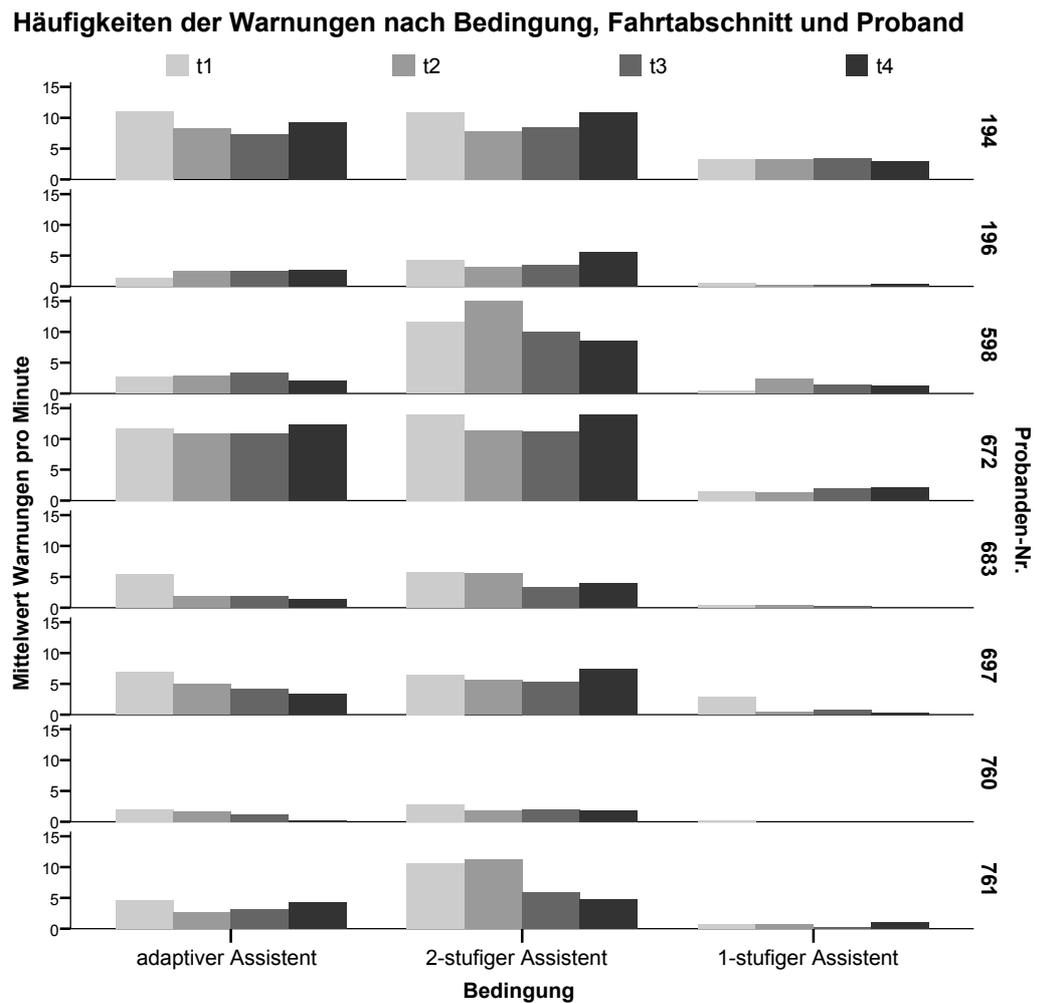


Abbildung 4-2 Häufigkeiten der Warnungen für die einzelnen Probanden

4.2.2 Aktivität

Über den Aktivitätsindex wurde der Anteil aktiver und inaktiver Phasen ermittelt. Die Anteile inaktiver Phasen an der Fahrzeit des jeweiligen Abschnitts variierten nach Bedingungen und Abschnitten (Haupteffekt Abschnitt: $F_{3, 21} = 14.432$, $p = .000$; Haupteffekt Bedingung: $F_{3, 21} = 3.190$, $p = .450$; Interaktion: $F_{3, 626, 63} = 3.110$, $p = .004$). So waren die Probanden in den Abschnitten 2 und 3 deutlich inaktiver als im Mittel der jeweils anderen Abschnitte (Abschnitt 2: $M = 0.228$, $SD = 0.123$, $F_{1, 7} = 24.846$, $p = .002$; Abschnitt 3: $M = 0.292$, $SD = 0.139$, $F_{1, 7} = 11.980$, $p = .011$). Dies könnte an der in diesen Abschnitten tendenziell geringeren Verkehrsdichte liegen. Die Probanden waren während der Fahrt mit den adaptiven Assistenten aktiver ($M = 0.278$, $SD = 0.126$, $F_{1, 7} = 10.740$, $p = .014$) sowie dem 2-stufigen Assistenten tendenziell inaktiver ($M = 0.240$, $SD = 0.122$, $F_{1, 7} = 4.630$, $p = .068$) als im Mittel der jeweils anderen Bedingungen. Während die Fahrer bei Fahrten mit Assistenz im Abschnitt 2 am inaktivsten sind, so ist es bei den Fahrten ohne Assistenz der dritte Abschnitt. Das Verhältnis der Inaktivitätsanteile von 2-

stufigem zu 1-stufigem Assistenten kehrt sich zwischen Fahrabschnitt 2 und 3 um (vgl. Abbildung 4-3).

Anteil inaktiver Phasen an der Fahrzeit nach Bedingung und Fahrabschnitt

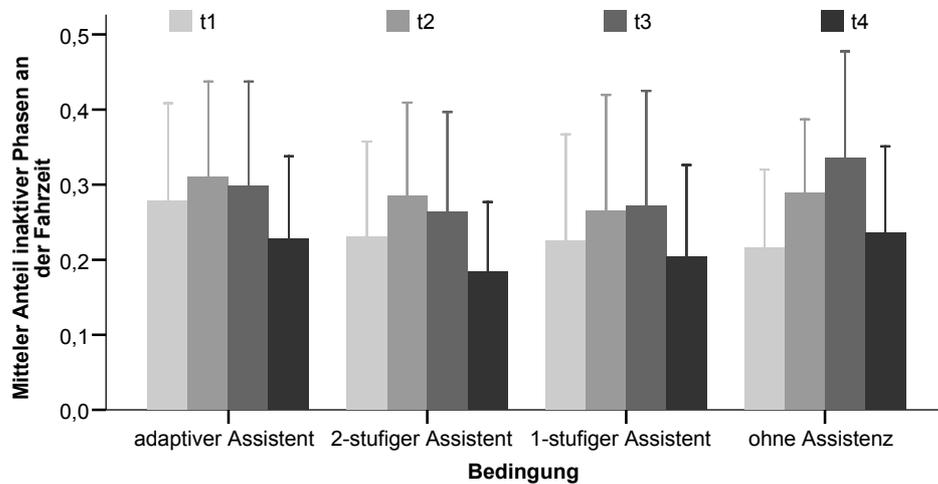


Abbildung 4-3 Mittelwerte und Standardabweichungen der Anteile inaktiver Phasen nach Bedingung und Fahrabschnitt sortiert

Es zeigen sich große Unterschiede in der Aktivität zwischen den Probanden. Die Anteile inaktiver Phasen sind für die einzelnen Probanden in Abbildung 4-4 dargestellt. Während die aktivste Probandin nur ca. 10% der Fahrzeit im inaktiven Bereich war ($M=0.102$, $SD=0.026$), so waren es bei der ruhigsten Probandin fast 50% der Fahrzeit ($M=0.484$, $SD=0.0583$). Im Mittel waren die Probanden gut ein Viertel der Fahrzeit inaktiv ($M=0.257$, $SD=0.126$).

Anteil inaktiver Phasen an der Fahrzeit nach Bedingung, Fahrtabschnitt und Proband

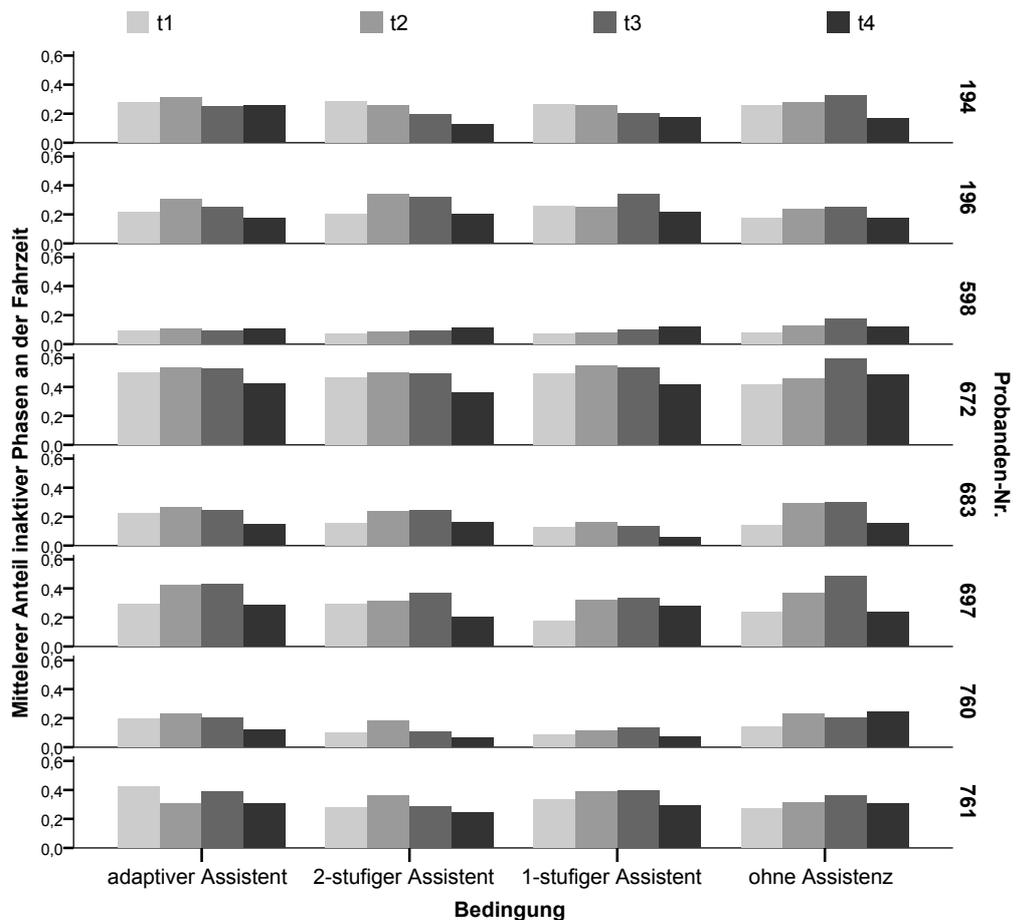


Abbildung 4-4 Anteil inaktiver Phasen für die einzelnen Probanden

4.2.3 Geschwindigkeit

Um zu prüfen, ob sich das Fahrverhalten während der Fahrt änderte, wurden die mittlere Geschwindigkeit und die Standardabweichung der Geschwindigkeit auf Unterschiede zwischen den Bedingungen und den Fahrtabschnitten untersucht. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab für die mittlere Geschwindigkeit keinen Interaktionseffekt ($F_{3,850, 63} = 1.633, p = .196$) und keinen Haupteffekt der Bedingung ($F_{1,492, 21} = 0.84, p = .869$). Der Haupteffekt des Abschnitts wurde signifikant ($F_{3, 21} = 5.999, p = .004$). In Abschnitt 2 wurde demnach schneller gefahren ($F_{1, 7} = 26.197, p = .001$) und in Abschnitt 3 langsamer ($F_{1, 7} = 5.737, p = .048$) als im Mittel der jeweils anderen Abschnitte. Die mittlere Geschwindigkeit lag insgesamt bei 131.015 km/h, variierte jedoch zwischen den Probanden zwischen 121.527 km/h und 137.897 km/h ($SD = 10.702$).

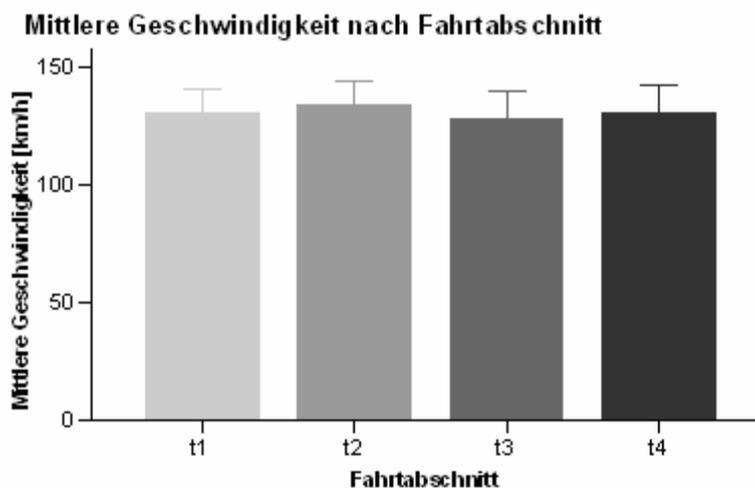


Abbildung 4-5 Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten nach Fahrtabschnitt sortiert

Die Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab für die Standardabweichung der Geschwindigkeit keinen Interaktionseffekt ($F_{2,390, 42} = 0.648$, $p = .562$) und keinen Haupteffekt des Abschnitts ($F_{1,275, 21} = 1.938$, $p = .200$). Der Haupteffekt der Bedingung wurde tendenziell signifikant ($F_{3, 21} = 2.486$, $p = .089$). Dabei unterschied sich nur die Fahrt mit dem 2-stufigen Assistenten tendenziell von der Fahrt ohne Assistenz ($F_{1, 7} = 5.468$, $p = .052$). Die beiden anderen Bedingungen unterscheiden sich nicht von der Kontrollbedingung (adaptiver Assistent: $F_{1, 7} = 1.630$, $p = .242$; 1-stufiger Assistent: $F_{1, 7} = 0.718$, $p = .452$).

Standardabweichung der Geschwindigkeit nach Bedingungen

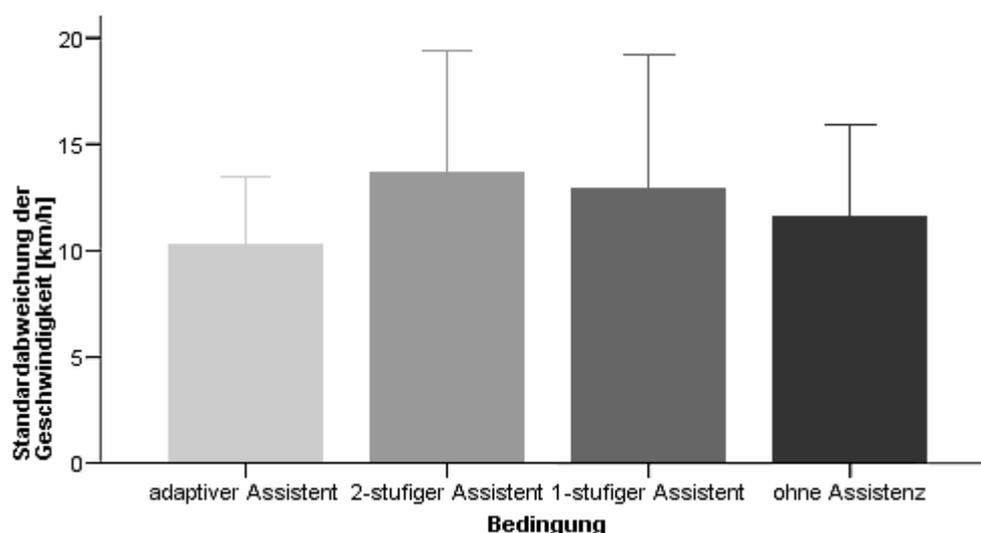


Abbildung 4-6 Mittelwerte und Standardabweichungen der Standardabweichung der Geschwindigkeit nach Bedingungen sortiert

Dabei unterschied sich nur die Fahrt mit dem 2-stufigen Assistenten tendenziell von der Fahrt ohne Assistenz ($F_{1, 7} = 5.468$, $p = .052$). Die beiden anderen Bedingungen

unterscheiden sich nicht von der Kontrollbedingung (adaptiver Assistent: $F_{1, 7} = 1.630$, $p = .242$; 1-stufiger Assistent: $F_{1, 7} = 0.718$, $p = .452$).

4.3 Wirkung der Assistenzsysteme

In diesem Kapitel wird zunächst auf die direkten Auswirkungen der Assistenz auf Querführungsleistung der Fahrer betrachtet (Kapitel 4.3.1), dann die daraus resultierende Beanspruchung der Fahrer (Kapitel 4.3.2). Im Anschluss werden die Ergebnisse der am Ende der Fahrten durchgeführten Akzeptanzbefragung (Kapitel 4.3.3) zu den drei Systemen und der Befragung zum Befinden (Kapitel 4.3.4) der Probanden vor und nach den Testfahrten dargestellt. Am Ende dieses Kapitels (Kapitel 4.3.5) werden die durch die Probanden während des ersten Teils der Fahrt aufgebauten mentalen Modellen zu den Funktionen der Assistenzsysteme berichtet.

4.3.1 Leistung in der Querführung

Die Leistung in der Querführung ist in dieser Untersuchung operationalisiert durch die Standardabweichung der Querablage. Eine geringere Standardabweichung der Querablage entspricht einer besseren Querführungsleistung der Fahrer. Da die Probanden im ersten Abschnitt die Aufgabe hatten, die Assistenzsysteme auszuprobieren, ist die Spurhaltung in diesem Abschnitt für die Auswertung nicht von Belang und wird deshalb aus der Auswertung ausgeschlossen.

Die Unterschiede zwischen den Assistenzsystemen sind statistisch nicht bedeutsam (für den Fahrtabschnitt: $F_{2, 14} = 1.833$, $p = .196$; für den Effekt der Assistenz: $F_{1, 287, 21} = 2.672$, $p = .133$; Interaktion von Abschnitt und Bedingung: $F_{2, 283, 42} = 2.749$, $p = .529$). Grafisch deutet sich in an, dass die Unterschiede gegen Ende größer werden (vgl. Abbildung 4-7).

Standardabweichung der Querablage nach Fahrtabschnitt und Bedingung

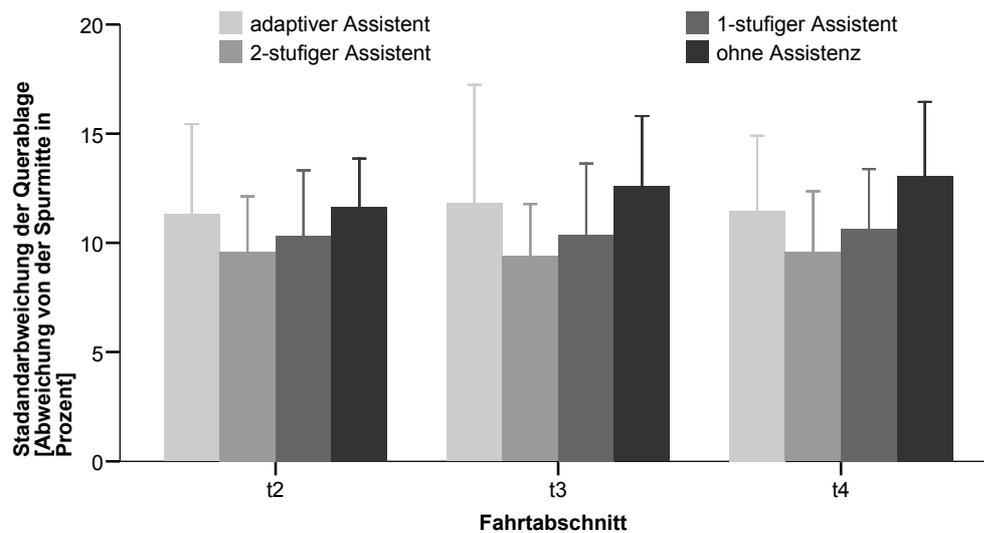


Abbildung 4-7 Mittelwerte und Standardabweichungen der Standardabweichung der Querablage nach Bedingungen und Fahrtabschnitt sortiert

Im letzten Abschnitt der Fahrten unterschieden sich die Standardabweichungen der Querablage zwischen den Bedingungen ($F_{1,410, 21} = 4.881$, $p = .043$). Dabei ist die Standardabweichung der Querablage mit allen drei Assistenzsystemen geringer als ohne Assistenz. Für den adaptiven Assistenten ($F_{1, 7} = 11.993$, $p = .011$) und den 2-stufigen Assistenten ($F_{1, 7} = 11.585$, $p = .011$) ist dieser Effekt signifikant, für den 1-stufigen knapp nicht signifikant ($F_{1, 7} = 3.511$, $p = .103$).

Standardabweichung der Querablage nach Bedingung und Fahrtabschnitt

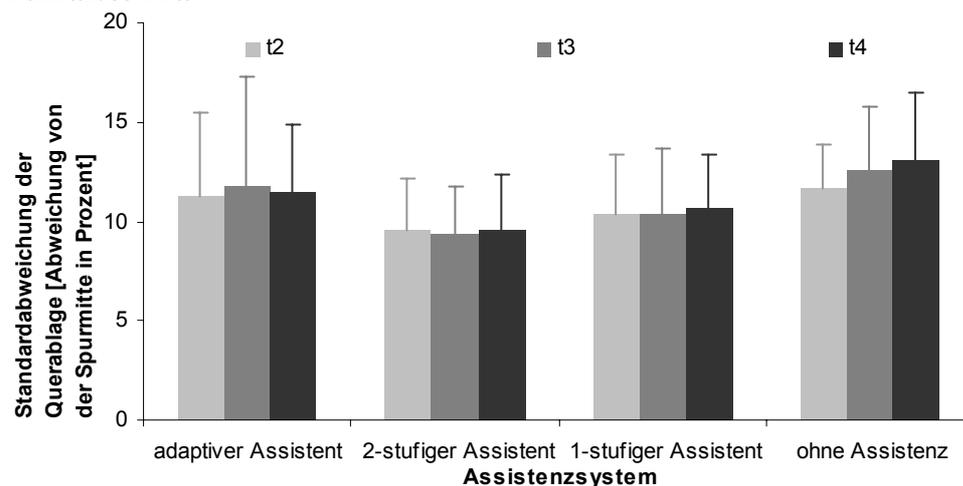


Abbildung 4-8 Mittelwerte und Standardabweichungen der Standardabweichung der Querablage nach Fahrtabschnitt und Bedingungen sortiert

Grafisch zeigt sich außerdem, wie in Abbildung 4-8 zu erkennen, dass sich die Güte der Spurhaltung in der Kontrollbedingung ohne Assistenzsystem während der Fahrt verschlechtert. Dieser lineare Trend ist tendenziell signifikant ($F_{2, 14} = 2.964$, $p = .084$).

Mit den anderen Systemen ist kein Trend zu erkennen (adaptiver Assistent: $F_{1,17,14} = 0.163$, $p = .735$; 2-stufiger Assistent: $F_{2,14} = 0.255$, $p = .778$; 1-stufiger Assistent: $F_{2,14} = 0.535$, $p = .587$).

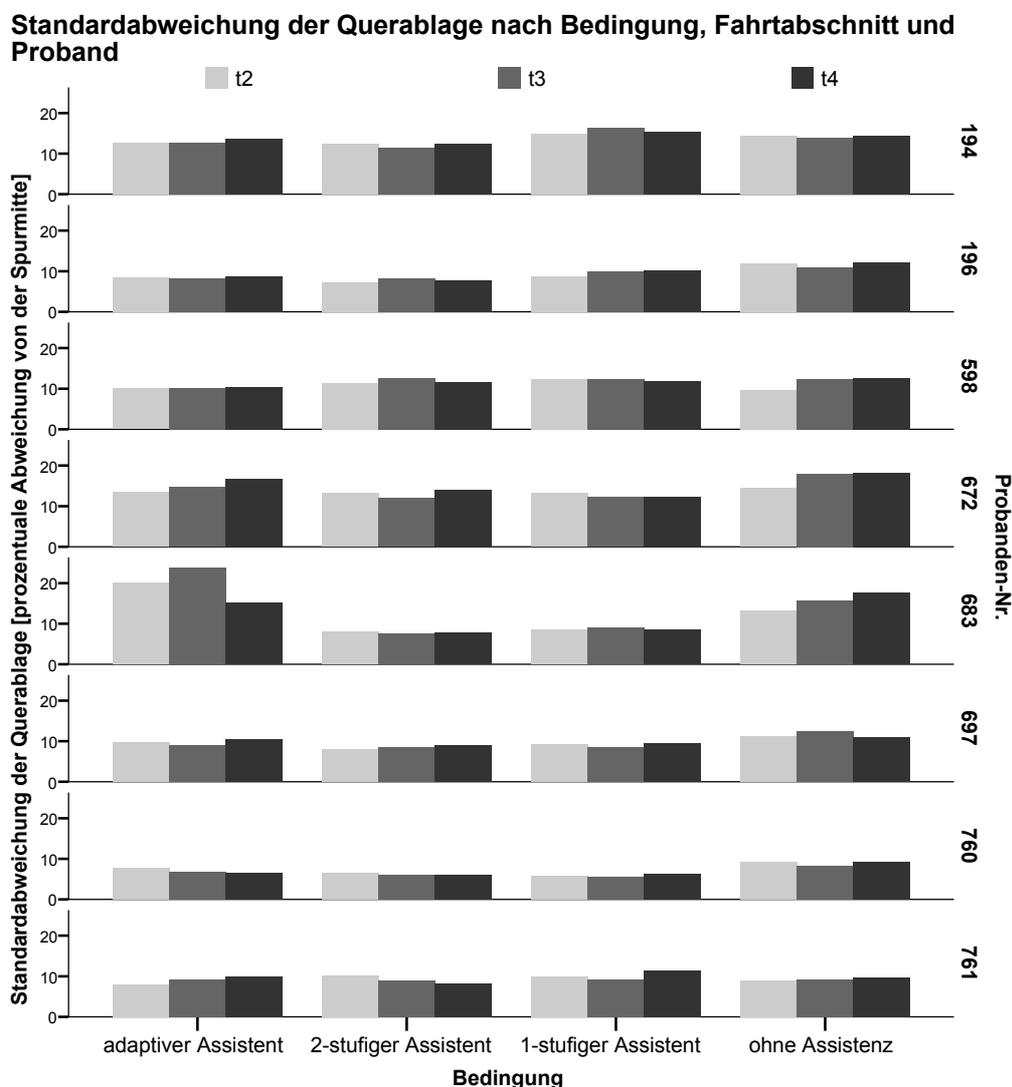


Abbildung 4-9 Mittelwerte der Standardabweichung der Querablage nach Bedingung, Fahrtabschnitt und Proband sortiert

Bedeutsam ist der Unterschied in der Güte der Spurhaltung zwischen den Probanden ($F_{1,7} = 149.257$, $p = .000$), der aus Abbildung 4-9 hervorgeht. Hier ist nicht nur das unterschiedliche Niveau der Standardabweichung der Querablage für die verschiedenen Personen interessant, sondern insbesondere die personenspezifische Art, mit den Assistenzsystemen zu fahren. Die Probandin 683 hat für die Fahrt mit dem adaptiven Assistenten für alle Abschnitte der Testfahrt eine deutlich höhere SD der Querablage als in den anderen Bedingungen, die Fahrt ohne Assistenz ist ebenfalls etwas schlechter in der Spurhaltung gelungen, als die anderen beiden Fahrten mit den statischen Assistenten. Ein ähnliches, wenn auch nicht so stark ausgeprägtes, Muster zeigt die Pro-

bandin 672. Proband 760 zeigt in allen Bedingungen und Abschnitten sehr geringe Werte in der SD der Querablage, ist aber in der Bedingung ohne Assistenz etwas schlechter.

4.3.1.1 Hypothesentestung: Leistung in der Querführung

Die Hypothese H_{1a} , die besagt, dass mit den Assistenzsystemen bessere Leistungen in der Querführung erbracht werden als ohne Assistenz, lässt sich nur für den letzten Fahrtabschnitt, und hierbei auch nur für den adaptiven und den 2-stufigen Assistenten untermauern (vgl. Kapitel 4.3.1, Seite 51).

Zur Prüfung der Hypothese H_{1b} wurden einfache Kontraste der Standardabweichung der Querablage jeweils für den adaptiven und den 2-stufigen Assistenten gegen den 1-stufigen Assistenten für die letzten drei Fahrtabschnitte berechnet. Eine bessere Querführungsleistung konnte nur für den 2-stufigen Assistenten tendenziell bestätigt werden (adaptiver Assistent: $F_{1,7} = 0.483$, $p = .510$; 2-stufiger Assistent: $F_{1,7} = 4.195$, $p = .080$).

Die Hypothese H_{1c} wurde durch paarweise Vergleiche der Mittelwerte der Standardabweichung der Querablage für die letzten drei der vier Abschnitte der Testfahrten überprüft. Der erste Abschnitt wurde nicht in die Analysen mit einbezogen, da es hier die Aufgabe der Probanden war, den jeweiligen Assistenten auszuprobieren und daher nicht von normaler Fahrt auszugehen ist. Es wurden einseitige t-Tests für gepaarte Stichproben berechnet. Die Signifikanzwerte wurden entsprechend der Anzahl der Tests korrigiert. Die statistischen Kennwerte hierzu finden sich in Tabelle 4-2.

Tabelle 4-2 Statistiken für den Vergleich der Querführungsleistung zwischen adaptivem und 1-stufigem Assistenten

Variablen	Mittelwert	Standardabweichung	t	df	p
2.1SDQuer	11.302	4.135	0.598	7	1.000
2.3SDQuer	10.332	2.987			
3.1SDQuer	11.808	5.429	0.706	7	1.000
3.3SDQuer	10.380	3.250			
4.1SDQuer	11.478	3.426	0.736	7	.971
4.3SDQuer	10.656	2.718			

Für keinen der drei ausgewerteten Abschnitte der Testfahrten konnte die H_0 , die besagt, dass die Standardabweichung der Querablage in der Bedingung mit dem 1-stufigen Assistenten größer oder gleich der Standardabweichung der Querablage in der Bedingung mit dem adaptiven Assistenten ist, abgelehnt werden.

4.3.2 Beanspruchung

Zur Erhebung der Beanspruchung der Probanden während der Testfahrten wurden sowohl ein physiologischer Indikator (siehe Kapitel 4.3.2.1) als auch eine subjektive Wertung erhoben (siehe Kapitel 4.3.2.2). Beide Indikatoren für die Beanspruchung erfüllen

jeweils die Voraussetzungen für eine varianzanalytische Auswertung (siehe Anhang). Beide Indikatoren weisen nur einen geringen Zusammenhang auf (Korrelation nach Pearson: $r = -.267$, $p = .147$). Die Inter-Beat-Intervalle scheinen hierbei der unspezifischere Indikator zu sein.

4.3.2.1 Physiologische Indikatoren der Beanspruchung

Als physiologische Indikatoren der Beanspruchung wurden die Intervalle zwischen wie Herzschlägen (Inter-Beat-Intervalle) genutzt. Ein längeres Inter-Beat-Intervall entspricht hierbei einem langsameren Herzschlag, welches als Indikator für geringere Beanspruchung gilt. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Abschnitt (vierstufig) und Bedingung (vierstufig) ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt ($F_{2,759,36} = 1.372$, $p = .301$) und auch keinen signifikanten Haupteffekt des Faktors Assistenz ($F_{1,126,12} = 0.507$, $p = .508$). Der Haupteffekt des Abschnitts der Fahrt wurde signifikant ($F_{1,297,12} = 11.838$, $p = .001$). Die Inter-Beat-Intervalle stiegen während aller Fahrten an, der lineare Trend wird signifikant ($F_{1,4} = 17.177$, $p = .014$). In Abbildung 4-10 sind die mittleren Inter-Beat-Intervalle pro Bedingung und Fahrtabschnitt dargestellt.

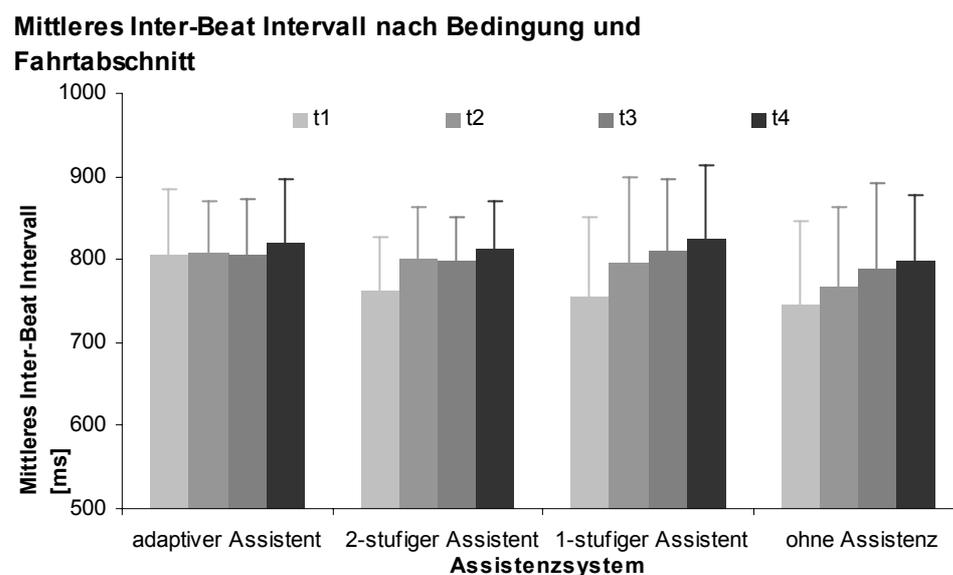


Abbildung 4-10 Mittelwerte und Standardabweichung der Inter-Beat-Intervalle nach Bedingung und Fahrtabschnitt sortiert

4.3.2.2 Subjektive Beanspruchung

Die subjektive Beanspruchung wurde über eine Skala mit sieben Items erhoben. Die interne Konsistenz dieser Skala betrug zum ersten Erhebungszeitpunkt, in der Pause der Testfahrten, $.761$ (Cronbach's α) und zum zweiten Erhebungszeitpunkt $.795$ (Cronbach's α). Die Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den beiden Faktoren Bedingung (vierstufig) und Zeitpunkt (zweistufig) ergab keinen Interaktionseffekt ($F_{3,21} =$

0.651, $p = .591$). Sowohl ein Haupteffekt der Bedingung ($F_{3, 21} = 4.987$, $p = .009$), als auch ein Haupteffekt des Zeitpunktes ($F_{3, 21} = 29.382$, $p = .001$) wurde signifikant. Demnach wurden die Fahrten mit dem adaptiven Assistenten ($M = 6.670$, $SD = 0.991$) und dem 2-stufigen Assistenten ($M = 6.777$, $SD = 1.037$) als eher mittel anstrengend empfunden, die Fahrten mit dem 1-stufigen Assistenten ($M = 6.036$, $SD = 0.955$) und ohne Assistenzsystem ($M = 5.911$, $SD = 0.929$) als wenig anstrengend ($F_{1, 15} = 12.216$, $p = .003$). In der Pause empfanden die Probanden die Fahrten insgesamt weniger anstrengend ($M = 5.906$, $SD = 0.906$) als nach der Fahrt ($M = 6.790$, $SD = 0.991$). In Abbildung 4-11 sind diese Effekte dargestellt.

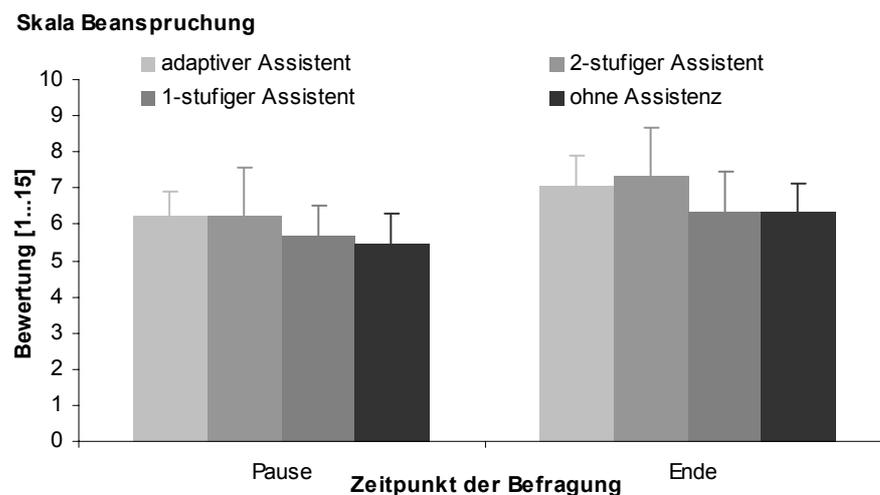


Abbildung 4-11 Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiven Beanspruchung der Probanden

Frage: Was war anstrengend bei der Fahrt?

Auf diese Frage gab es insgesamt 33 Nennungen von anstrengenden Aspekten, wobei bei der Befragung in der Pause 14 Angaben gemacht wurden und bei der Befragung nach der Fahrt 19. Bei der Befragung in der Pause hatten sieben der anstrengenden Ereignisse ihren Ursprung in äußeren Einflüssen auf die Fahrt wie hohe Verkehrsdichte (drei Nennungen), starker Regen (einmal), blendender Sonne (einmal), Sichtbehinderung (einmal) sowie in einem rasanten Spurwechsel, der von einem LKW-Spurwechsel erzwungen wurde. Sechs Angaben bezogen sich auf Anstrengungen durch den Assistenten, davon waren zwei auf das Verständnis der Systemfunktionen bezogen, eine auf den Auslösezeitpunkt (diese drei Angaben beziehen sich auf Fahrten mit dem adaptiven Assistenten) und zwei darauf, durch Anpassen des Fahrstils die Warntöne zu vermeiden (je einmal beim adaptiven Assistenten und einmal beim 2-stufigen Assistenten, jedoch von verschiedenen Probanden). Eine Angabe bezogen auf das 2-stufige System war „das Gebimmel geht mir auf den Keks“. Ein weiterer Grund für Anstrengung

war die nicht optimal eingestellte Sitzposition einer Probandin. Für die Angaben nach der Fahrt lagen 13 berichtete Gründe für Anstrengung in äußeren Einflüssen, davon fünf in hohem Verkehrsaufkommen, zwei in der blendenden Sonne, zwei Gründe waren Sichtbehinderung durch während der Fahrten einsetzendes Schneetreiben bzw. starken Regen. Ein genannter Grund für Anstrengung war eine Baustelle auf der Strecke und viermal wurden durch die riskante Fahrweise anderer hervorgerufene Ausweichmanöver als anstrengend genannt. Anstrengung, die durch den Assistenten hervorgerufen wurde, wurde dreimal genannt, davon einmal das frühe Auslösen des adaptiven Assistenten und zweimal die Verhaltensanpassung, um Warnungen zu vermeiden (beide Angaben beim 2-stufigen Assistenten). Dreimal wurde Anstrengung durch körperliche Fehlhaltungen im Auto angegeben, alle diese Angaben stammen, wie auch die Angabe zum gleichen Thema in der Pause, von einer Probandin.

Außer der Skala gab es für die Testfahrten mit Assistenzsystem drei zusätzliche Fragen zur Beanspruchung durch das jeweils genutzte System. Für diese wurde ebenfalls eine Skala gebildet. Die interne Konsistenz dieser Skala betrug zum ersten Erhebungszeitpunkt, in der Pause der Testfahrten, Cronbach's $\alpha = .764$ und zum zweiten Erhebungszeitpunkt Cronbach's $\alpha = .777$. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den beiden Faktoren Bedingung (dreistufig) und Zeitpunkt (zweistufig) ergab keinen Interaktionseffekt ($F_{1,293, 9.052} = 1.119, p = .338$). Auch der Haupteffekt des Zeitpunktes wurde nicht signifikant ($F_{1, 7} = 2.336, p = .170$). Der Haupteffekt der Bedingung wurde signifikant ($F_{2, 14} = 9.752, p = .002$). Demnach wurden die Fahrten mit dem 1-stufigen Assistenten ($M = 6.205, SD = 1.093$) als wenig anstrengend empfunden, die Fahrten mit dem adaptiven Assistenten im Gegensatz dazu ($F_{1, 7} = 11.103, p = .013$) als eher mittel anstrengend ($M = 8.271, SD = 1.580$), ebenso ($F_{1, 7} = 32.186, p = .001$) die mit dem 2-stufigen Assistenten ($M = 8.354, SD = 1.414$). Sowohl in der Pause ($M = 7.431, SD = 1.388$) als auch nach der Fahrt ($M = 7.790, SD = 1.336$) empfanden die Probanden die Fahrten insgesamt als mittel anstrengend.

Skala Beanspruchung durch den Assistenten

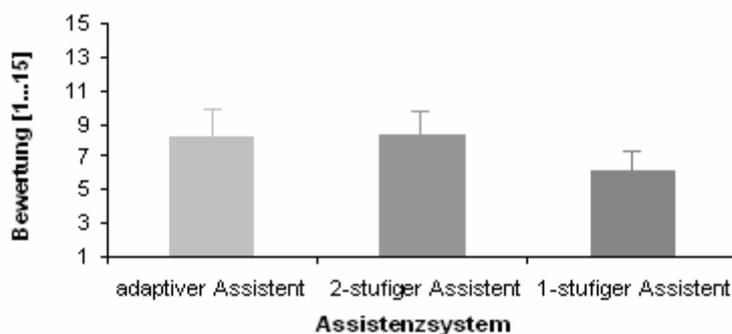


Abbildung 4-12 Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiven Beanspruchung der Probanden durch die Assistenten nach der Fahrt

4.3.2.3 Hypothesentestung: Beanspruchung

Die Hypothese, dass fahrerzustandsabhängige Assistenz geringere mentale Beanspruchung beim Fahrer verursacht als eine statische Assistentenauslegung mit gleichen Grenzwerten, wurde zum einen für die subjektive Beanspruchung und zum anderen für die durch physiologische Indikatoren gemessene Beanspruchung geprüft. Das Signifikanzniveau der Tests wurde der Anzahl der Test (insgesamt drei) entsprechend korrigiert. Für die Inter-Beat-Intervalle wurde die Hypothese durch die Berechnung von Kontrasten zwischen dem adaptiven und dem 2-stufigen Assistenten für die letzten drei Abschnitte der Fahrt geprüft. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Assistenzsystemen ($F_{1, 4} = 0.170$, $p = 1.000$). Für die subjektive Beanspruchung wurde die Hypothese ebenfalls durch die Berechnung von Kontrasten zwischen den Bewertungen des adaptiven und des 2-stufigen Assistenten geprüft. Weder für die Beanspruchung durch die Fahrt ($F_{1, 7} = 0.018$, $p = 1.000$) noch für die Beanspruchung durch den Assistenten ($F_{1, 7} = 0.167$, $p = 1.000$) wurde das Testergebnis signifikant. Die Hypothese, dass adaptive Assistenz weniger starke Beanspruchung verursacht als statische Assistenz mit den gleichen Warngrenzen, kann demzufolge nicht bestätigt werden.

4.3.3 Akzeptanz

Die Fragebögen zur Akzeptanz der Assistenzsysteme unterteilen sich in die Fragebögen für die einzelnen Assistenten (Kapitel 4.3.3.1) und den Fragebogen zum Vergleich der Assistenten (Kapitel 4.3.3.2). Die Hypothese, dass der adaptive Assistent höhere Akzeptanzwerte erreicht als der 2-stufige Assistent, wurde anhand der Skalen der Fragebögen für die einzelnen Assistenten geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfung finden sich in Kapitel 4.3.3.3.

4.3.3.1 Fragebögen für die einzelnen Assistenten

Die Fragebögen für die einzelnen Assistenten gliedern sich in die Bereiche Funktionalität (Kapitel 4.3.3.1.1), Gestaltung (Kapitel 4.3.3.1.2), Benutzerfreundlichkeit (Kapitel 4.3.3.1.3), Nützlichkeit (4.3.3.1.4) und Einstellung gegenüber den Assistenten (Kapitel 4.3.3.1.5). Die Ergebnisse der Befragung werden im Folgenden dargestellt. Dabei werden zunächst die Ergebnisse der Skalen berichtet und im Anschluss die Ergebnisse derjenigen Fragen, die nicht in die Skalen mit einbezogen wurden. Bis auf eine der einzelnen Fragen im Bereich Benutzerfreundlichkeit erfüllen alle abhängigen Variablen die Normalverteilungsvoraussetzung für Varianzanalysen und t-Tests (Prüfung siehe Anhang B). Für die Frage, die die Voraussetzung nicht erfüllt, wurde ein Friedman-Test gerechnet.

4.3.3.1.1 Funktionalität der Assistenten

Für die Bewertung der Funktionalität der Assistenzsysteme wurde keine Skala gebildet, da dies aufgrund der geringen internen Konsistenz der zu bildenden Skala (Cronbach's $\alpha = .438$) nicht sinnvoll ist. Daher werden im Folgenden die Ergebnisse für die einzelnen Fragen dargestellt.

Frage: Wie finden Sie die hinter dieser Funktionalität stehende Idee?

Die hinter der Funktion stehenden Idee wurde für alle Assistenten Art der Unterstützung wurde für alle Assistenten als gut bewertet und zwar der adaptive Assistent im Mittel mit 9.875 (SD= 1.642), der 2-stufigen Assistenten mit 10.125 (SD= 2.100) und der 1-stufige Assistent mit 11.000 (SD= 0.926). Diese Bewertungen unterscheiden sich nicht signifikant ($F_{2, 14} = 1.979$, $p = .175$).

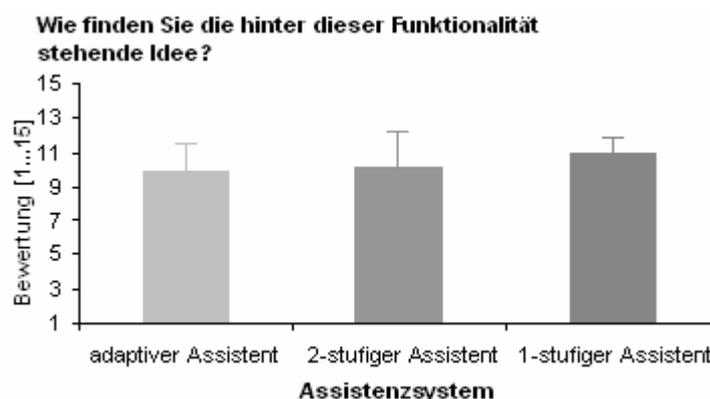


Abbildung 4-13 Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertung der Frage: Wie finden Sie die hinter dieser Funktionalität stehende Idee?

Frage: Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?

Die Art der Unterstützung wurde ebenfalls für alle Assistenten als gut bewertet: und zwar der adaptive Assistent im Mittel mit 10.625 (SD= 1.753), der 2-stufigen Assistenten mit 10.250 (SD= 2.066) und der 1-stufige Assistent mit 11.875 (SD= 1.126), wobei sich tendenzielle Unterschiede in der Bewertung zeigen ($F_{1,367, 14} = 3.971$, $p = .067$). Die Idee hinter dem 1-stufigen Assistent wird besser bewertet also die der anderen beiden ($F_{1,7} = 17.223$, $p = .004$).

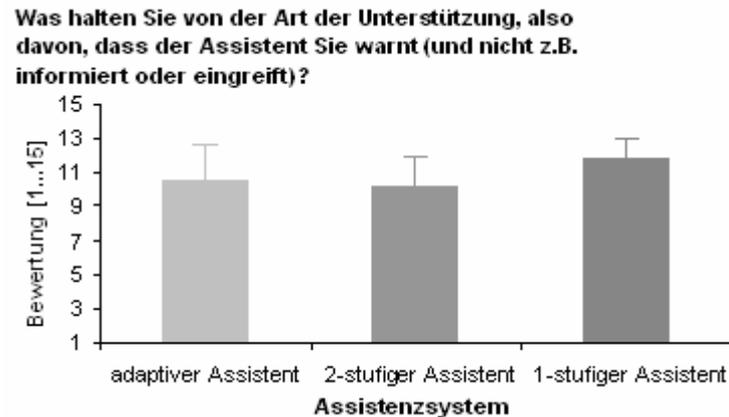


Abbildung 4-14 Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertung der Frage: Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?

Frage: Wie finden Sie die Idee, abhängig von Ihrer Aktivität beim Fahren unterschiedlich früh gewarnt zu werden?

Diese Frage wurde nur für den adaptiven Assistenten gestellt. Die Probanden fanden die Idee im Mittel mit $M= 8.625$ neutral, waren sich in der Beurteilung jedoch eher uneinig ($SD= 3.503$).

Frage: Wie häufig haben Sie den Assistenten für Ihre Spurhaltung genutzt?

Die Angaben zu dieser Frage unterschieden sich tendenziell ($F_{2, 14}= 16.667$, $p= .056$) Der adaptive Assistent ($M= 8.125$, $SD= 2.232$) und der 2-stufigen Assistent ($M= 8.125$, $SD= 2.357$) wurden mittelhäufig genutzt, der 1-stufige Assistent mit im Mittel 5.625 ($SD= 2.875$) hingegen eher selten ($F_{1, 7}= 5.785$, $p= .047$).

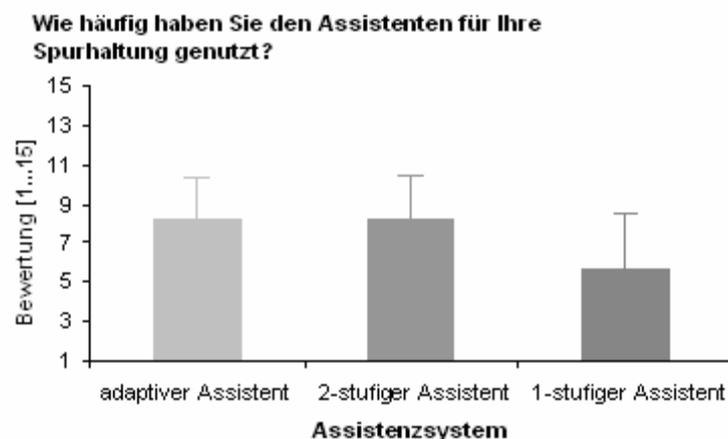


Abbildung 4-15 Mittelwerte und Standardabweichungen der Frage: Wie häufig haben Sie den Assistenten für Ihre Spurhaltung genutzt?

4.3.3.1.2 Gestaltung der Assistenten

Für den Bereich Gestaltung der Assistenten wurde zum einen eine Skala gebildet, in der die Güte der Gestaltung beurteilt wurde. Zusätzlich wurden einzelne Items, die sich mit konkreten Merkmalen beschäftigen, einzeln ausgewertet.

Die Skala Gestaltung besteht aus vier Items und hat eine interne Konsistenz von .758 (Cronbach's α). Die Varianzanalyse mit Messwiederholung und dem dreistufigen Inner-subjektfaktor Assistenz zeigte keinen signifikanten Haupteffekt ($F_{2, 14} = 1.225, p = .323$). Alle Assistenten wurden von den Probanden als gut gestaltet bewertet (adaptiver Assistent: $M = 9.500, SD = 2.179$; 2-stufiger Assistent: $M = 9.469, SD = 1.661$; 1-stufiger Assistent: $M = 10.500, SD = 1.282$).

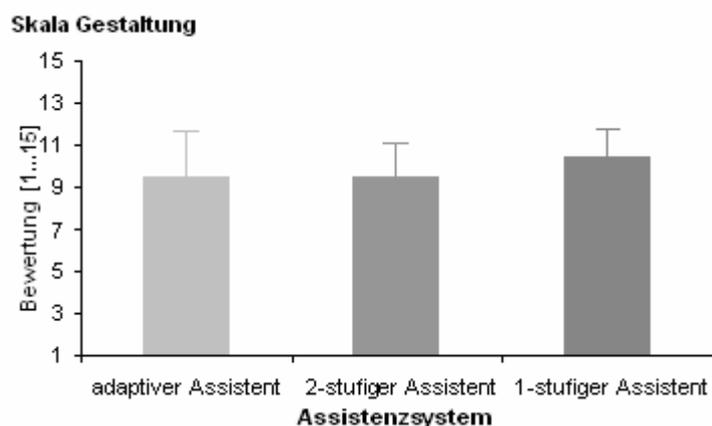


Abbildung 4-16 Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Gestaltung

Frage: Wie gut erkennt der Assistent Ihre Aktivität?

Diese Frage wurde nur für den adaptiven Assistenten gestellt. Die Probanden fanden die Aktivitätserkennung mittelmäßig mit einer Tendenz zu gut ($M = 9.500, SD = 2.619$). Auf die genauere Angabe „Der Assistent hält Sie [viel zu früh ... viel zu spät] für inaktiv.“ antworteten die Probanden, dass der Assistent sie zu früh für inaktiv hält ($M = 5.000, SD = 1.195$).

Frage: Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?

Hier bewerteten die Probanden für die Menge der Informationen durch den Assistenten unterschiedlich ($F_{2, 14} = 0.506, p = .022$). Sie gaben an, dass der 2-stufige Assistent ($M = 10.625, SD = 1.408$) zu viele Informationen gibt und im Unterschied dazu der adaptive Assistent ($M = 9.500, SD = 1.069$) eher zu viele und der 1-stufige Assistent ($M = 8.875, SD = 1.126$) die richtige Menge ($F_{1, 7} = 10.315, p = .015$).

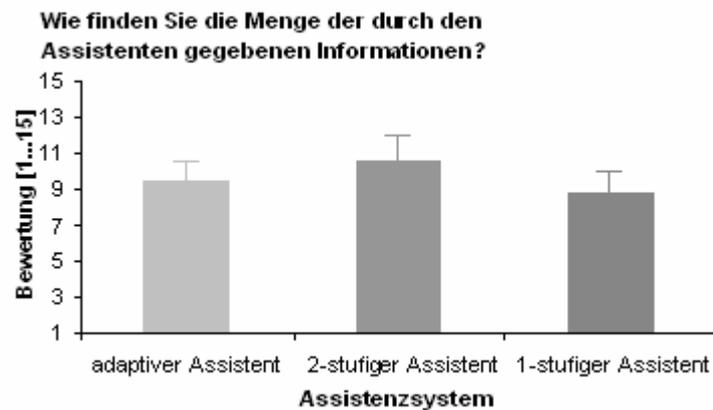


Abbildung 4-17 Mittelwerte und Standardabweichungen der Frage: Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?

Frage: Wie gefallen Ihnen die Zeitpunkte, zu denen der Assistent aktiv wird?

Die Beurteilung der Zeitpunkte, zu denen der Assistent aktiv wird, wurde für die Warnstufen einzeln abgefragt. Somit gab es für die Beurteilung der ersten Warnstufe zwei Bedingungen, nämlich die des adaptiven und die des 2-stufigen Assistenten. Für die Beurteilung der zweiten Warnstufe gab es Daten von allen drei Assistenten. Die erste Warnstufe wurde von den Probanden für beide Assistenzsysteme gleich beurteilt ($T_7 = -0.215$, $p = .836$). Sie wurde als im Mittel zu früh bewertet (adaptiver Assistent: $M = 5.000$, $SD = 1.291$; 2-stufiger Assistent: $M = 5.125$, $SD = 1.642$). Auch die zweite Warnstufe wurde zwischen den Assistenten nicht signifikant unterschiedlich bewertet ($F_{1,204,14} = 1.792$, $p = .311$). Sie wurde für alle Assistenten als im Mittel genau richtig bewertet (adaptiver Assistent: $M = 6.750$, $SD = 1.035$; 2-stufiger Assistent: $M = 7.500$, $SD = 0.926$; 1-stufiger Assistent: $M = 7.625$, $SD = 1.598$).

Frage: Wie viele Ausprägungen der Warnung würden Sie sich wünschen?

Auf diese Frage antworteten die Probanden für den adaptiven Assistenten im Mittel mit 1.625 ($SD = 0.518$), für den 2-stufigen Assistenten im Mittel mit 1.250 ($SD = 0.707$), für den 1-stufigen Assistenten im Mittel mit 1.375 ($SD = 0.744$). Die Angaben unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($F_{2,14} = 1.000$, $p = .393$).

Frage: Was ist an der Gestaltung verbesserungsbedürftig? Wie könnte man es besser machen?

Auf diese Frage gaben für den adaptiven Assistenten drei Probanden an, dass erst bei längerer Inaktivität auf solche geschlossen werden sollte. Zwei Probanden meinten, dass die erste Warnung zu früh käme, ein weiterer, dass dies auf der linken Fahrspur-

seite der Fall sei. Ein Proband hätte die äußere Warngrenze gern später und ein weitere bei dieser Warnstufe nur zwei aufeinander folgende Warntöne. Ein Proband fand die Unterscheidung zwischen Warnungen von links und solchen von rechts zu schwierig, ein weitere fand die Warnungen „einfach nur nervig“. Für den 2-stufigen Assistenten wünschten sich drei Probanden eine spätere Warnung, zwei weitere fanden die Warngrenzen links zu eng. Ein Proband wünschte sich nur eine Warnstufe. Ein Proband äußerte Bedenken bezüglich der Hörbarkeit der akustischen Warnungen bei laut gehörter Musik. Wieder gab ein Proband an, die Warnungen nervig zu finden. Beim 1-stufigen Assistenten fand ein Proband die Warnungen zu früh, einer die Richtungen, aus denen sie kommen, zu schwer unterscheidbar und ein Proband die Warnungen „nervig“.

4.3.3.1.3 Benutzerfreundlichkeit der Assistenten

Die Skala Benutzerfreundlichkeit besteht ebenfalls aus sechs Items und hat eine interne Konsistenz von .799 (Cronbach's α). Die Benutzerfreundlichkeit der Assistenten wurde für den adaptiven Assistenten und den 2-stufigen Assistenten als gut (adaptiver Assistent: $M= 10.813$, $SD= 1.785$; 2-stufiger Assistent: $M= 10.771$, $SD= 1.647$) bewertet, für den 1-stufigen Assistenten als sehr gut ($M= 12.771$, $SD= 0.563$). Dieser Effekt wurde signifikant ($F_{2, 14}= 5.862$, $p= .014$), wobei sich der adaptive Assistent ($F_{1, 7}= 11.412$, $p= .012$) und der 2-stufige Assistent ($F_{1, 7}= 13.485$, $p= .008$) jeweils vom 1-stufigen unterscheiden.

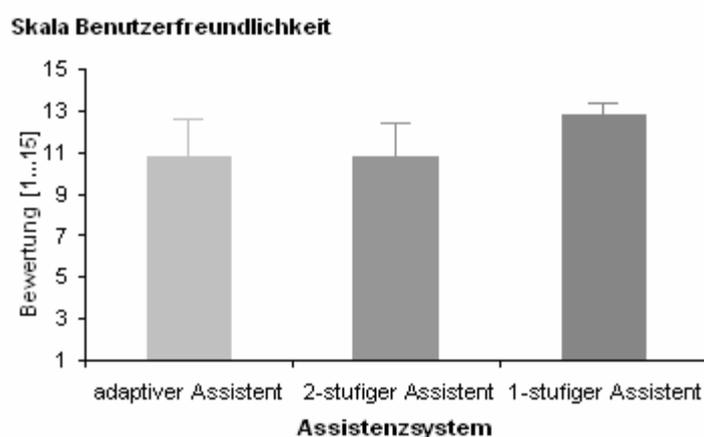


Abbildung 4-18 Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Benutzerfreundlichkeit

Frage: Bitte bewerten Sie, wie gut Sie die Warnungen unterscheiden konnten.

Die Unterscheidung zwischen den Warnstufen (nur für adaptiven und 2-stufigen Assistenten) war für die Probanden sehr einfach (adaptiver Assistent: $M= 12.625$, $SD= 1.408$; 2-stufiger Assistent: $M= 12.625$, $SD= 1.685$). Es gab keinen Unterschied ($T_7=$

0.000, $p = 1.000$) zwischen den Bewertungen der Assistenten. Die Unterscheidung zwischen den Richtungen (rechts oder links) war für die Probanden im Mittel einfach (adaptiver Assistent: $M = 11.750$, $SD = 3.808$; 2-stufiger Assistent: $M = 11.000$, $SD = 3.546$, 1-stufiger Assistent: $M = 9.625$, $SD = 4.689$). Auch hier unterschieden sich die Bewertungen nicht signifikant zwischen den Assistenten ($\chi^2 = 0.074$, $p = .991$).

4.3.3.1.4 Nützlichkeit der Assistenten

Die Skala Nützlichkeit besteht aus acht Items und hat eine interne Konsistenz von 0.674 (Cronbach's α). Die Assistenzsysteme wurden von allen Probanden als mittelmäßig nützlich bewertet (adaptiver Assistent: $M = 8.703$, $SD = 1.056$; 2-stufiger Assistent: $M = 8.234$, $SD = 1.286$; 1-stufiger Assistent: $M = 9.469$, $SD = 1.189$) und unterschieden sich nicht signifikant ($F_{2, 14} = 2.534$, $p = .114$) voneinander.

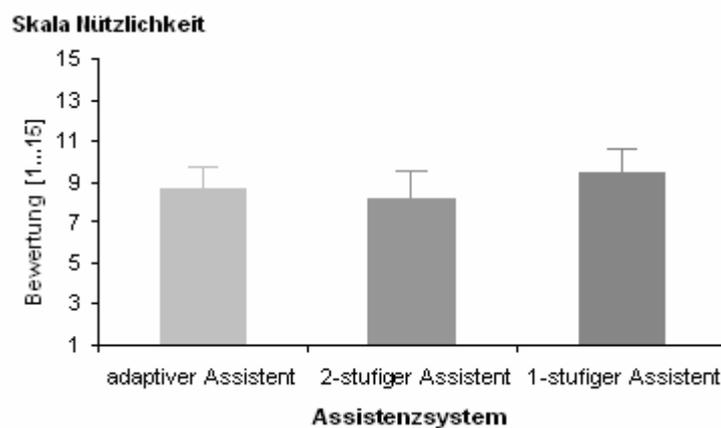


Abbildung 4-19 Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Nützlichkeit

4.3.3.1.5 Einstellung gegenüber den Assistenten

Die Skala Einstellung umfasst vier Items und hat eine interne Konsistenz von 0.843 (Cronbach's α). Die Einstellung gegenüber den Assistenten war für den adaptiven Assistenten und den 2-stufigen Assistenten negativ (adaptiver Assistent: $M = 6.338$, $SD = 2.356$; 2-stufiger Assistent: $M = 6.750$, $SD = 1.309$), gegenüber dem 1-stufigen Assistenten neutral ($M = 8.375$, $SD = 1.203$). Dieser Effekt wurde signifikant ($F_{2, 14} = 5.642$, $p = .040$). Sowohl der adaptive Assistent ($F_{1, 7} = 7.288$, $p = .031$) als auch der 2-stufige Assistent ($F_{1, 7} = 39.433$, $p = .000$) wurden schlechter bewertet als der 1-stufige Assistent.

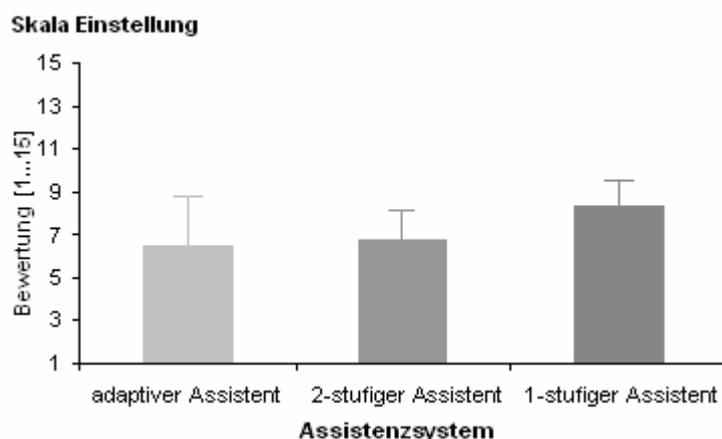


Abbildung 4-20 Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Einstellung

4.3.3.2 Fragebogen zum Vergleich der Assistenten

Die Probanden sollten die ersten fünf geschlossenen Fragen des Fragebogens zum Vergleich der Assistenten beantworten, indem sie den Assistenten die Plätze 1 bis 3 zuweisen. Die Rangsummen für die drei Assistenzsysteme unterschieden sich für keine der Fragen signifikant (vgl. Tabelle 4-3). Im Folgenden werden die Häufigkeiten der Platzvergaben berichtet.

Tabelle 4-3 Kennwerte der Friedman-Tests auf Unterschiede in den vergebenen Plätzen

Frage	Mittlerer Rang			X ²	df	p
	Assistenzsystem					
	adaptiv	2-stufig	1-stufig			
Welches der drei Assistenzsysteme bietet die besten Funktionen, um die Spur zu halten?	1.88	2.13	2.00	0.250	2	.967
Bei welchem Assistenzsystem hat Ihnen die Gestaltung am besten gefallen?	2.25	2.38	1.38	4.750	2	.120
Welches der drei Assistenzsysteme hat die beste Benutzerfreundlichkeit?	2.25	2.13	1.63	1.750	2	.531
Welches der drei Assistenzsysteme war für Sie für die Spurhaltung am nützlichsten?	2.00	2.13	1.88	0.250	2	.967
Welches der drei Assistenzsysteme hat Ihnen insgesamt am besten gefallen?	2.25	2.38	1.38	4.750	2	.120

Für die Frage „Welches der drei Assistenzsysteme bietet die besten Funktionen, um die Spur zu halten?“ vergaben vier Probanden den ersten Platz an den adaptiven Assistenten, drei an den 1-stufigen Assistenten und einer an den 2-stufigen. Der zweite Platz wurde von fünf Probanden an den 2-stufigen Assistenten vergeben, von zwei Probanden an den 1-stufigen und von einem Probanden an den adaptiven Assistenten. Den dritten Platz vergaben je drei Probanden an den adaptiven und den 1-stufigen Assistenten und zwei Probanden an den 2-stufigen Assistenten (vgl. Abbildung 4-21).

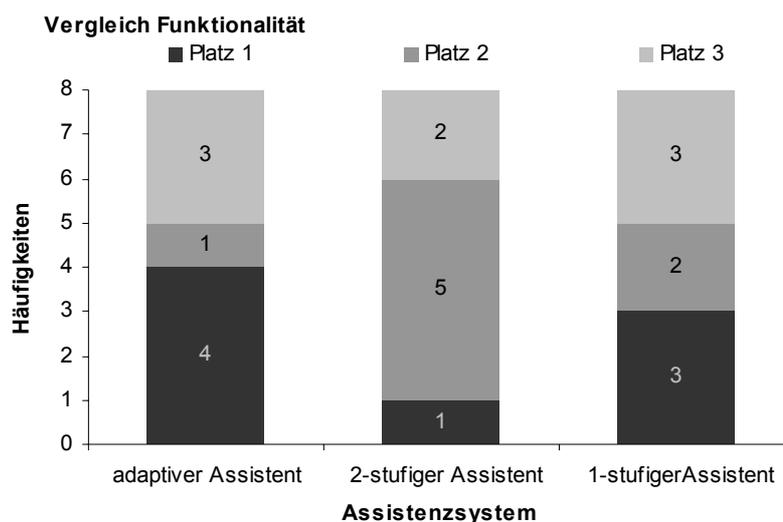


Abbildung 4-21 Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Funktion. Die Zahlen in den Blöcken entsprechen der Anzahl der Nennungen.

Für die Frage „Bei welchem Assistenzsystem hat Ihnen die Gestaltung am besten gefallen?“ vergaben sechs Probanden den ersten Platz an den 1-stufigen Assistenten und je einer an den adaptiven und den 2-stufigen Assistenten. Der zweite Platz wurde von vier Probanden an den adaptiven Assistenten vergeben, von drei Probanden an den 2-stufigen und von einem Probanden an den 1-stufigen Assistenten. Den dritten Platz vergaben vier Probanden an den 2-stufigen Assistenten, drei an den adaptiven Assistenten und einer an den 1-stufigen Assistenten (vgl. Abbildung 4-22).

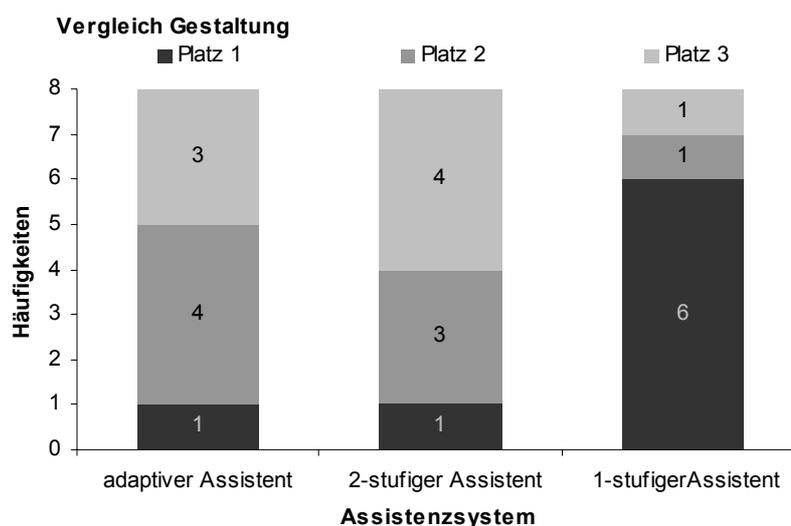


Abbildung 4-22 Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Gestaltung. Die Zahlen in den Blöcken entsprechen der Anzahl der Nennungen.

Für die Frage „Welches der drei Assistenzsysteme hat die beste Benutzerfreundlichkeit?“ vergaben vier Probanden den ersten Platz an den 1-stufigen Assistenten und je zwei Probanden an den adaptiven und den 2-stufigen Assistenten. Der zweite Platz wurde an den 2-stufigen und den 1-stufigen Assistenten je dreimal vergeben, an den adaptiven Assistenten zweimal. Der adaptive Assistent wurde viermal mit dem dritten Platz bewertet, der 2-stufige Assistent dreimal und der 1-stufige Assistent einmal (vgl. Abbildung 4-23).

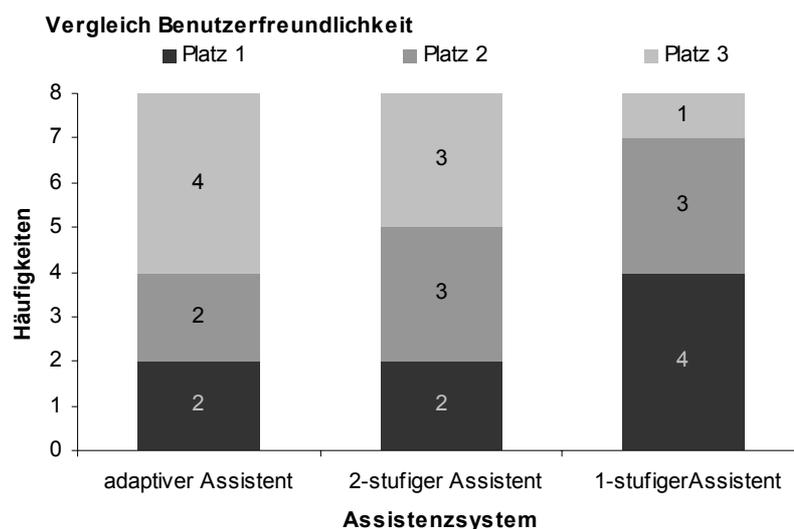


Abbildung 4-23 Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Benutzerfreundlichkeit. Die Zahlen in den Blöcken entsprechen der Anzahl der Nennungen.

Für die Frage „Welches der drei Assistenzsysteme war für Sie für die Spurhaltung am nützlichsten?“ vergaben vier Probanden den ersten Platz an den 1-stufigen Assistenten, drei an den adaptiven Assistenten und einer an den 2-stufigen Assistenten. Der zweite Platz ging fünfmal an den 2-stufigen Assistenten, zweimal an den adaptiven Assistenten und einmal an den 1-stufigen Assistenten. Der dritte Platz wurde je dreimal an den adaptiven und den 1-stufigen Assistenten vergeben und zweimal an den 2-stufigen Assistenten (vgl. Abbildung 4-24).

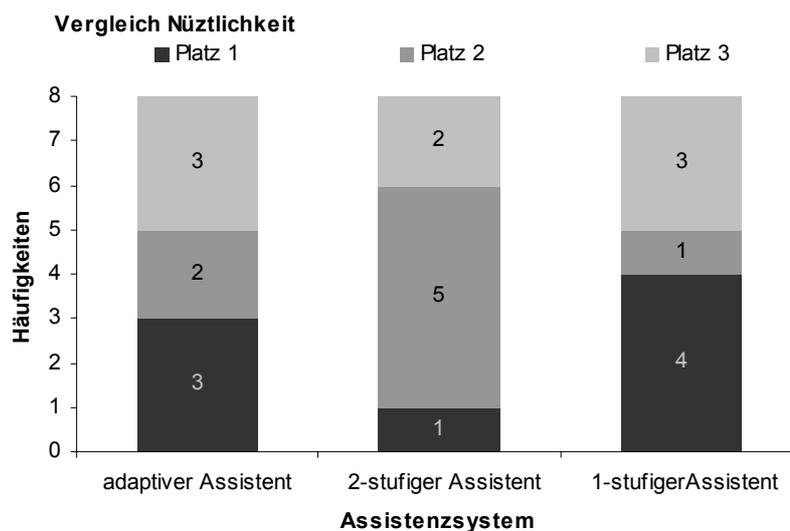


Abbildung 4-24 Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Nützlichkeit. Die Zahlen in den Blöcken entsprechen der Anzahl der Nennungen.

Für die Frage „Welches der drei Assistenzsysteme hat Ihnen insgesamt am besten gefallen?“ vergaben sechs der acht Probanden den ersten Platz an den 1-stufigen Assistenten. Von den beiden anderen Probanden wählten je einer den adaptiven und den 2-stufigen Assistenten auf den ersten Platz. Der adaptive Assistent bekam viermal den zweiten Platz. Der 3-stufige dreimal und der 1-stufige einmal. Auf den dritten Platz kam der 2-stufige Assistent viermal, der adaptive Assistent dreimal und der 1-stufige Assistent einmal. (vgl. Abbildung 4-25).

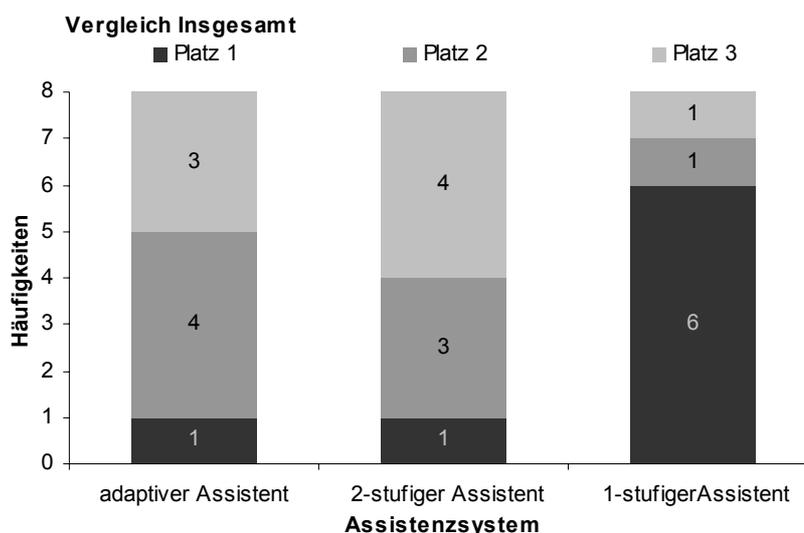


Abbildung 4-25 Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung insgesamt. Die Zahlen in den Blöcken entsprechen der Anzahl der Nennungen.

Zu der Frage „Welches der drei Assistenzsysteme würden Sie für einen Kauf in Erwägung ziehen, wenn alle drei den gleichen Preis im Markt hätten?“ gaben fünf Probanden an, den 1-stufigen Assistenten für einen Kauf in Erwägung zu ziehen und jeweils einer, den 2-stufigen, den adaptiven oder gar keinen Assistenten für einen Kauf in Erwägung zu ziehen. (vgl. Abbildung 4-26).

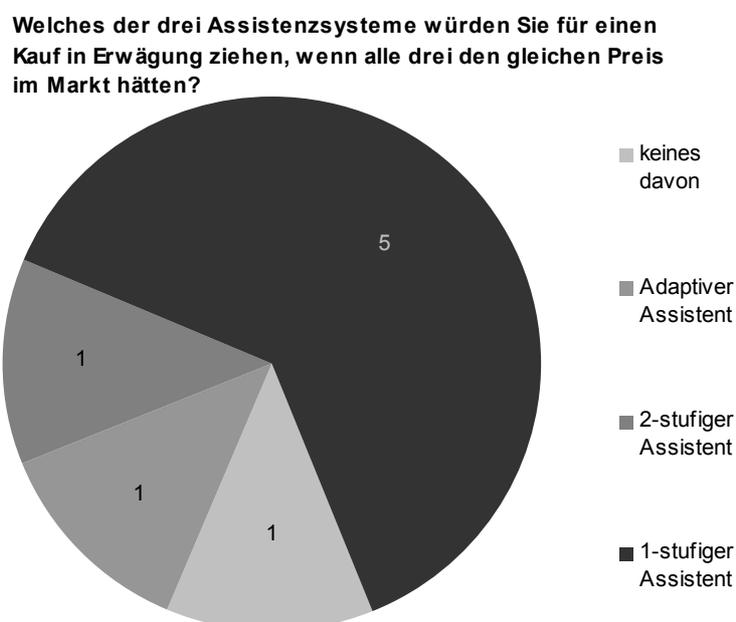


Abbildung 4-26 Häufigkeiten der Nennung der Assistenzsysteme als Antwort auf die Frage: „Welches der Assistenzsysteme würden Sie für einen Kauf in Erwägung ziehen, wenn alle drei den gleichen Preis im Markt hätten?“. Die Zahlen in den Kreissegmenten entsprechen der Anzahl der Nennungen.

Auf die Frage „Welchen Preis wären Sie bereit, für ein solches Assistenzsystem auszugeben?“ gaben die Probanden für den adaptiven Assistenten im Mittel an, bereit zu sein € 118,75 (SD= 155.695) auszugeben, für den 2-stufigen Assistenten € 96,25 (SD= 106.091) und für den 1-stufigen Assistenten € 137,50 (SD= 159.799). In Abbildung 4-27 sind in Boxplots die Verteilungen dieser Angaben dargestellt. Ein Friedman-Test auf Unterschiede zwischen den Assistenzsystemen wurde nicht signifikant ($\chi^2_2 = 0.381$; $p = .880$). Somit kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Probanden für eines der Assistenzsysteme mehr oder weniger als für die anderen auszugeben bereit wären. Für den adaptiven Assistenten gaben vier Probanden an, € 0 auszugeben bereit zu sein. Drei Probanden gaben dies für den 2-stufigen Assistenten an und zwei Probanden für den 1-stufigen.

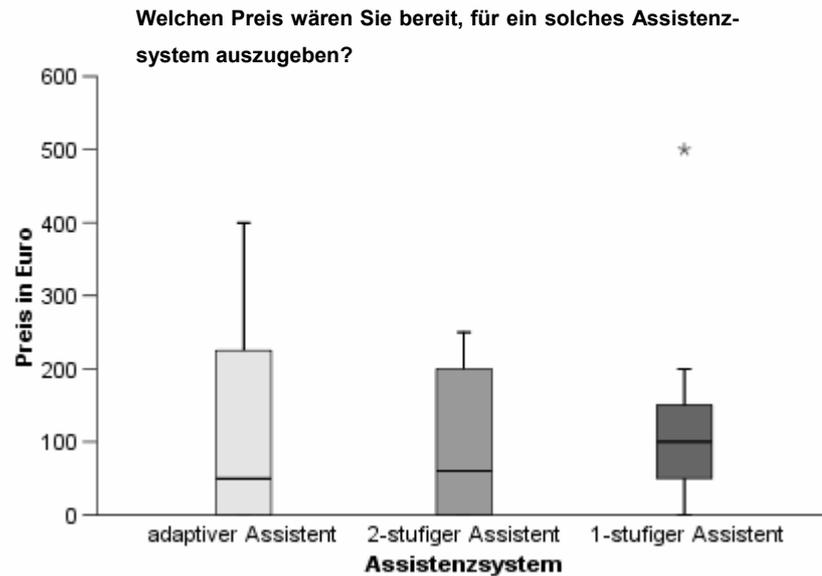


Abbildung 4-27 Boxplots der Antworten auf die Frage: „Welchen Preis wären Sie bereit, für ein solches Assistenzsystem auszugeben?“

Zu der offenen Frage „Was wäre für Sie eine optimale Unterstützung der Spurhaltung?“ gaben zwei Probanden an, sich einen Assistenten zu wünschen, der auf dem adaptiven Assistenten basiere. Einer von ihnen wünschte sich weitere Bereiche ohne Warnungen, der andere nur einen Warn-Ton. Ein zusätzlicher Proband gab an, dass wenn es ein Assistent mit Aktivitätserkennung sein sollte, diese „genauer“ kontrollieren sollte. Ein Proband wünschte sich Assistenz auf Basis des 2-stufigen Assistenten mit zusätzlichen Funktionen (erkennen, wenn man LKW überholt und dann nach links nicht warnen). Ein Proband wünschte sich einen frei konfigurierbaren (Warnstufen und –grenzen sowie Art der Warnung (akustisch, optisch) frei einstellbar) Assistenten auf Basis des 1-stufigen Assistenten. Ein Proband gab keine Gestaltungsideen an, sondern nannte als Ziel einen Assistenten, der nicht bei jeder kleinen Abweichung reagiere, aber gefährliche Situationen erkenne. Ein letzter Proband sprach sich gegen Assistenz und für konzentriertes, langsames Fahren aus.

4.3.3.3 Hypothesentestung: Akzeptanz der Assistenten

Der Datenqualität der Skalen der Akzeptanzfragebögen für die einzelnen Assistenten entsprechend wurden zur Hypothesenprüfung einseitige t-Tests für gepaarte Stichproben berechnet, die Signifikanzwerte wurden entsprechend der Anzahl der Tests korrigiert.

Tabelle 4-4 Kennwerte der einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben für die Hypothesenprüfung in Bezug auf die Akzeptanz des adaptiven Assistenten im Vergleich zum 2-stufigen Assistenten

Skala	Gepaarte Differenzen		t	df	p
	Mittelwert	Standardabweichung			
Gestaltung	0.031	2.388	0.037	7	1.000
Benutzerfreundlichkeit	0.042	2.373	0.050	7	1.000
Nützlichkeit	0.469	1.728	0.767	7	.936
Einstellung	-0.313	2.133	-0.414	7	1.000

Die Tests ergaben, dass keine höheren Werte für die Beurteilung des adaptiven Assistenten als für die Beurteilung des 2-stufigen Assistenten erreicht wurden (vgl. Tabelle 4-4). Für die Vergleichsfragebögen wurden Wilcoxon-Rangsummen-Tests für abhängige Stichproben berechnet, auch hier wurde das Signifikanzniveau nach Bonferro ni angepasst. Wie aus Tabelle 4-5 ersichtlich, wird der adaptive Assistent nicht gegenüber dem 2-stufigen Assistenten bevorzugt.

Tabelle 4-5 Kennwerte der Wilcoxon-Rangsummen-Tests für abhängige Stichproben für die Hypothesenprüfung in Bezug auf die Akzeptanz der Assistenzsysteme

Frage	Z	p
Welches der drei Assistenzsysteme bietet die besten Funktionen, um die Spur zu halten?	0.513	1.000
Bei welchem Assistenzsystem hat Ihnen die Gestaltung am besten gefallen?	0.302	1.000
Welches der drei Assistenzsysteme hat die beste Benutzerfreundlichkeit?	0.289	1.000
Welches der drei Assistenzsysteme war für Sie für die Spurhaltung am nützlichsten?	0.302	1.000
Welches der drei Assistenzsysteme hat Ihnen insgesamt am besten gefallen?	0.674	1.000

Die Hypothese H_2 , nach der die fahrerzustandsabhängige Assistenz höhere Akzeptanz hervorrufen sollte als die statische Assistenz mit gleichen Grenzwerten, konnte demnach nicht bestätigt werden.

4.3.4 Befinden

Die Items des Fragebogens zum Befinden der Probanden wurden zu einer Skala zusammengefasst. Diese hat für alle Fragebögen vor der Fahrt eine interne Konsistenz von .858 (Cronbach's α) und für alle Fragebögen nach der Fahrt eine interne Konsistenz von .882 (Cronbach's α).

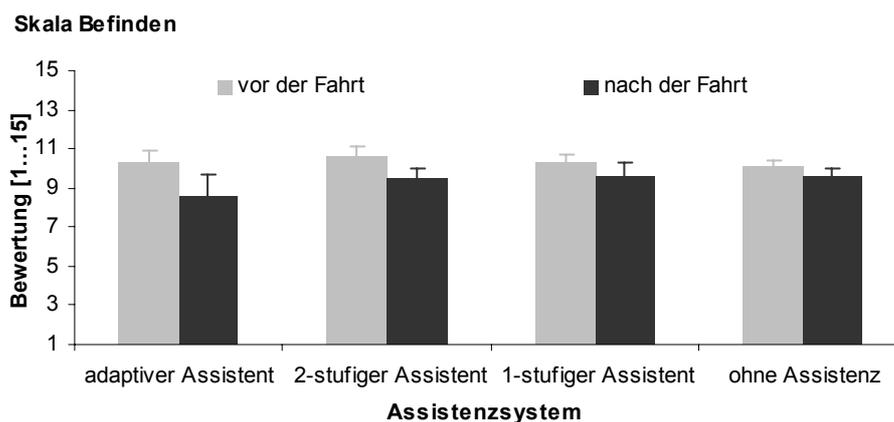


Abbildung 4-28 Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertung des Befindens

Das Befinden der Probanden unterschied sich weder vor noch nach der Fahrt zwischen den Assistenten signifikant (vor der Fahrt: $X^2_3 = 1.014$, $p = .798$; nach der Fahrt: $X^2_3 = 41.145$, $p = .252$). Für Fahrten mit dem 2-stufigen Assistenten unterschied sich jedoch die Bewertung vor der Fahrt von der nach der Fahrt ($Z = -2.731$, $p = .008$) und für solche mit dem adaptiven Assistenten tendenziell ($Z = -1.542$, $p = .070$). Für die Fahrten mit 1-stufigem Assistenten und ohne Assistenz ergab sich kein Unterschied (1-stufiger Assistent $Z = -1.101$, $p = .164$; ohne Assistenz: $Z = -1.352$, $p = .109$). Das Befinden der Probanden wurde demnach durch die ersteren beiden Assistenten eher beeinträchtigt als durch den 1-stufigen Assistenten und die Kontrollfahrt.

4.3.5 Mentales Modell

Die Angaben der Probanden zum mentalen Modell, welches sie sich in der ersten Phase der Testfahrt aufbauen sollten, wurden über die Häufigkeit der Nennungen der Merkmale der Assistenten ausgewertet. Dabei wurden zunächst die Merkmale der Assistenten festgelegt. Der adaptive Assistent hatte demnach sieben Merkmale, der 2-stufige Assistent sechs und der 1-stufige Assistent ebenfalls sechs Merkmale. Als erstes Merkmal warnten die Assistenten abhängig von der Abweichung von der Idealspur. Als richtig gelten gelassen wurden dabei alle Formulierungen, die auf eine Warnung bei drohendem Verlassen der Fahrspur hinausliefen. Für ihr Modell des adaptiven Assistenten gaben sechs der acht Probanden dieses Merkmal an, für die beiden anderen Assistenten, also den 1-stufigen und den 2-stufigen je fünf von acht. Zweites Merkmal der Assistenten war die Asymmetrie der Warnungsgrenzen, die sich aus der Studie von Schießl (2006) ergab. Keiner der Probanden nannte für irgendeinen der Assistenten eine solche Asymmetrie. Als drittes Merkmal galt es die Anzahl der Warnstufen (eine oder zwei) zu nennen. Dies taten für den adaptiven Assistenten und für den 2-stufigen Assistenten jeweils sechs Probanden. Für den 1-stufigen Assistenten nannten

nur drei Probanden explizit die Anzahl der Stufen. Als viertes Merkmal galt die Art der Warnung, also Angaben, die „akustische Warnung“ oder „Warnung durch Töne“ enthielten. Hier gaben für den adaptiven Assistenten und für den 2-stufigen Assistenten je 7 Probanden die Art der Warnungen richtig an, für den 1-stufigen Assistenten nannten alle acht Probanden das Merkmal. Als fünftes Merkmal war die seitenspezifische Warnung, also bei Abweichungen zu einer Seite die Warnungen auch von dieser Seite zu erhalten, zu nennen. Dies taten bei dem adaptiven Assistenten sieben Probanden, bei dem 2-stufigen Assistenten fünf und bei dem 1-stufigen Assistenten ebenfalls sieben der acht Probanden. Als sechstes Merkmal der Assistenten war die Unterdrückung der Warnungen bei beabsichtigtem, durch Blinken angezeigtem Spurwechsel zu nennen. Dieses Merkmal wurde bei dem adaptiven Assistenten sowie bei dem 2-stufigen Assistenten von je sechs Probanden und bei dem 1-stufigen Assistenten von sieben Probanden genannt. Als siebtes Merkmal des adaptiven Assistenten war die Abhängigkeit der Warnungen in der ersten Stufe von der Fahreraktivität zu erkennen. Dieses Merkmal wurde von keinem der Probanden genannt. Es gab insgesamt zwei falsche Vermutungen über die Funktionsweise der Assistenten, und zwar gab einer der Probanden beim adaptiven Assistenten an: „Je mehr man zur Seite abweicht, desto schneller wird das Signal.“ und ein anderer beim 1-stufigen Assistenten: „Normalerweise gibt er 3 Töne, wenn man die Spur trotzdem "überschreitet", gibt er länger Alarm.“. Eine Übersicht über die Ergebnisse findet sich in Tabelle 4-6.

Tabelle 4-6 Richtig genannte Merkmale der Assistenten

Merkmal	adaptiver Assistent		2-stufiger Assistent		1-stufiger Assistent	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
Abweichung von der Spurmitte	6	0,750	5	0,625	5	0,625
Asymmetrie	0	0,000	0		0	0,000
Anzahl Stufen	6	0,750	6		3	0,375
Akustische Warnung	7	0,875	7	0,875	8	1,000
Seitenspezifische Warnung	7	0,875	5	0,625	7	0,875
Unterdrückung beim Blinken	6	0,750	6		7	0,875
Abhängigkeit von der Fahreraktivität	0	0,000				
Summe	32		29		30	
Anteil	0,571		0,604		0,625	
Falsche Vermutungen	1				1	

Die Probanden nannten für die verschiedenen Assistenten ähnlich große Anteile der Merkmale richtig (adaptiver Assistent: $M= 0.571$, $SD= 0.108$; 2-stufiger Assistent: $M=$

0.625, SD= 0.153; 1-stufiger Assistent: M= 0.604, SD= 0.148). Diese Mittelwerte sind in Abbildung 4-29 dargestellt. Zusätzlich wurde für den Anteil richtiger Antworten an der Anzahl der Merkmale ein Friedman-Test auf Unterschiede zwischen den Assistenzsystemen gerechnet. Dieser wurde nicht signifikant ($\chi^2_2 = 0.25$, $p = .967$).

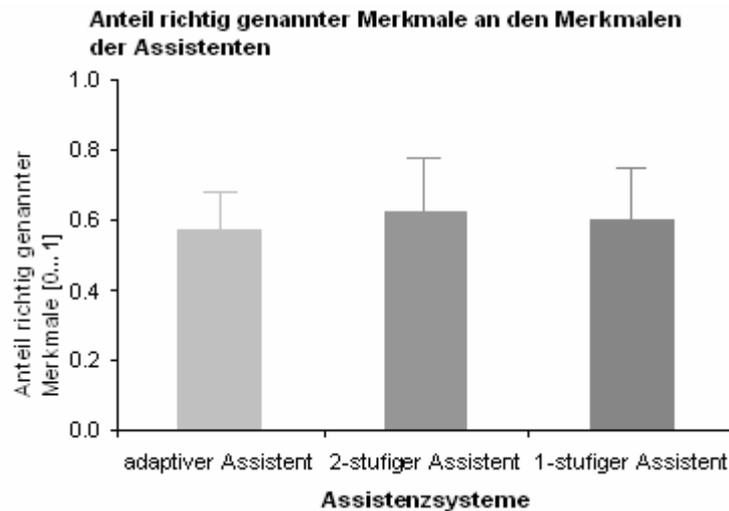


Abbildung 4-29 Mittelwerte und Standardabweichungen der Anteile richtiger Merkmalsnennungen für die drei Assistenten

4.4 Zusätzliche Analysen

Um die Unterschiede in der Akzeptanzbewertung besser zu verstehen, wurden die Fragebögen noch einmal für jede Frage einzeln ausgewertet. Im Folgenden werden die Ergebnisse derjenigen Fragen berichtet, bei denen Unterschiede zwischen den Bewertungen der Systeme auftraten. Die Ergebnisse der anderen Fragen finden sich in Anhang B.

Im Bereich der Benutzerfreundlichkeit fanden sich Unterschiede in der Bewertung von drei Fragen. Für die Frage „Bitte bewerten Sie, wie schnell Sie mit dem Assistenten klargekommen sind. Den Umgang mit dem Warn-Assistenten zu erlernen ist ...“ wurde der 1-stufige Assistent signifikant besser bewertet als die anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 27.323$, $p = .001$). Auch für die Frage „Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?“ wurde der 1-stufige Assistent signifikant besser bewertet als die anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 9.333$, $p = .018$). Für die Frage „Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit insgesamt?“ wurde der 1-stufige Assistent ebenfalls besser bewertet als die anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 19.250$, $p = .003$).

Im Bereich der Nützlichkeit unterschieden sich die Bewertungen der Assistenten bei zwei Fragen. Für die Frage „Wie sehr hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie sonst fahren?“ gaben die Probanden dem 2-stufigen Assistenten signifikant schlechtere Bewertungen als den anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 3.65$, $p = .052$).

Für die Frage „Wie nützlich ist der Assistent insgesamt, um gut zu fahren?“ erhielt der 1-stufige Assistent bessere Bewertungen als die anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 14.147$, $p = .007$).

Im Bereich Einstellung gegenüber den Assistenten fanden sich signifikante Unterschiede für drei der vier Fragen. Für die Frage: „Wie angenehm ist es, mit diesem Assistenten zu fahren?“ erhielt der 1-stufige Assistent bessere Bewertungen als die anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 13.825$, $p = .007$). Auch für die Frage: „Wie viel Spaß macht es, mit diesem Assistenten zu fahren?“ wurde der 1-stufige Assistent besser bewertet als die anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 8.556$, $p = .022$). Für die Frage: „Wie finden Sie insgesamt die Idee, einen solche Assistenten zu benutzen?“ erhielt der 1-stufige Assistent schließlich auch signifikant bessere Bewertungen als die anderen beiden Assistenten ($F_{1,7} = 28.000$, $p = .001$).

4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt ließ sich keine der für das adaptive System spezifischen Hypothesen bestätigen. Weder ist die Spurführung mit dem adaptiven Assistenten besser als mit dem 1-stufigen System, noch werden geringere Beanspruchung oder höhere Akzeptanz als mit dem 2-stufigen System erreicht.

Die Querführungsleistung der Probanden ist am Ende der Fahrt mit den beiden Assistenzsystemen mit den engen Warngrenzen besser als ohne Assistenz. Bei Fahrten mit dem 2-stufigen Assistenten werden bessere Querführungsleistungen erbracht, als bei Fahrten mit dem 1-stufigen Assistenten. Bei der Beanspruchung erreicht der 1-stufige Assistent die besten Werte. Auch in der Akzeptanz durch die Probanden ist dieser den anderen Systemen in den Bereichen Benutzerfreundlichkeit und Einstellung zum Assistenten überlegen. Keiner der Probanden konnte ein mentales Modell des adaptiven Assistenten aufbauen, indem die Abhängigkeit der Warnungen von seiner Aktivität enthalten war. Die Korrektheit der aufgebauten Modelle unterschied sich insgesamt nicht zwischen den Assistenten. Eine Übersicht über die unterschiedlichen Wirkungen der Assistenzsysteme findet sich in Tabelle 4-7.

Darüber hinaus fanden sich große Unterschiede zwischen den Probanden in ihrer Aktivität und eine geringere Aktivität auf den beiden mittleren Abschnitten der Versuchsfahrten. Im zweiten Abschnitt der Fahrt wurde schneller und im dritten Abschnitt langsamer gefahren als in den anderen beiden Abschnitten. Die Inter-Beat-Intervalle stiegen in allen Bedingungen während der Fahrt an und am Ende der Fahrten wurde höhere subjektive Beanspruchung angegeben als in der Pause.

Tabelle 4-7 Übersicht über die Wirkungen der Assistenzsysteme

Wirkungen der Assistenten			
Abhängige Variable	Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent
Häufigkeiten der Warnungen	mittelhäufige Warnungen	häufige Warnungen	seltene Warnungen
Aktivität	Probanden aktiver		Probanden weniger aktiv
Geschwindigkeit			höhere SD der Geschwindigkeit
Leistung in der Querführung	bessere Leistung im vierten Abschnitt	bessere Leistung im vierten Abschnitt	
Beanspruchung	höhere subjektive Beanspruchung	höhere subjektive Beanspruchung	
Akzeptanz			Funktionalität besser bewertet
	Gestaltung gut <ul style="list-style-type: none"> ▪ Inaktivitätskriterium zu früh ▪ Warnungen der ersten Stufe zu früh ▪ zweite Warnstufe richtig ▪ zu viele Informationen 	Gestaltung gut <ul style="list-style-type: none"> ▪ Warnungen der ersten Stufe zu früh ▪ zweite Warnstufe richtig ▪ zu viele Informationen 	Gestaltung gut <ul style="list-style-type: none"> ▪ Warnstufe richtig ▪ richtige Menge Informationen
	Benutzerfreundlichkeit gut	Benutzerfreundlichkeit gut	Benutzerfreundlichkeit sehr gut <ul style="list-style-type: none"> ▪ Umgang leichter zu erlernen ▪ Umgang einfacher
	Nützlichkeit mittelmäßig	Nützlichkeit mittelmäßig <ul style="list-style-type: none"> ▪ behindert eigenes Fahren stärker 	Nützlichkeit mittelmäßig
	Einstellung negativ	Einstellung negativ	Einstellung neutral <ul style="list-style-type: none"> ▪ angenehmer zu fahren ▪ macht mehr Spaß
Befinden	tendenzielle Beeinträchtigung nach der Fahrt	Beeinträchtigung nach der Fahrt	
Mentales Modell	Adaptivität nicht genannt		

5 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, ein adaptives Assistenzsystem für die Querführungsaufgabe zu evaluieren, welches vor dem Verlassen der Spur warnen soll. Dazu wurde es mit zwei statischen Systemvarianten sowie der normalen, assistenzfreien Fahrt verglichen. Dies geschah bei eineinhalbstündigen Realfahrten auf der Autobahn. Die Assistenzsysteme wurde im Hinblick auf die drei in Kapitel 2.4 entwickelten Kriterien zur Beurteilung von Assistenzsystemen, nämlich die Leistung in der unterstützten Fahraufgabe, die Beanspruchung der Fahrer und die Akzeptanz der Systeme durch die Fahrer verglichen.

Insgesamt konnte keine der Untersuchungshypothesen vollständig bestätigt werden. Für das Kriterium der Leistung in der Querführung, konnte die Hypothese H_{1a} , die besagt, dass mit den Assistenzsystemen bessere Leistungen in der Querführung erbracht werden als ohne Assistenz, insgesamt nicht bestätigt werden. Es fand sich also insgesamt keine bessere Leistung in der Querführung mit Assistenz. Allerdings zeigte sich eine Art Lerneffekt. Im letzten Fahrtabschnitt ergaben sich deutliche Unterschiede zwischen den Bedingungen. Eine Verbesserung der der Querführungsleistung gegenüber der Fahrt ohne Assistenz lies sich für die adaptive und 2-stufige Assistenz deutlich zeigen, für die 1-stufige Assistenz nur marginal.

Eine bessere Querführungsleistung durch die Vorwarnstufe des adaptiven und des 2-stufigen Assistenten (H_2) konnte nur für den 2-stufigen Assistenten tendenziell bestätigt werden. Für keinen der drei ausgewerteten Abschnitte der Testfahrten konnte die Hypothese H_{1c} bestätigt werden, die besagt, dass die Querführungsleistung in der Bedingung mit dem adaptiven Assistenten besser oder gleich der Querführungsleistung in der Bedingung mit dem 1-stufigen Assistenten ist. Gleiches gilt für die Hypothese H_2 , dass adaptive Assistenz weniger starke Beanspruchung verursacht als statische Assistenz mit den gleichen Warngrenzen. Auch für das Kriterium der Akzeptanz ergaben sich keine höheren Werte für die Beurteilung des adaptiven Assistenten als für die Beurteilung des 2-stufigen Assistenten. Auch im direkten Vergleich wurde der adaptive Assistent nicht gegenüber dem 2-stufigen Assistenten bevorzugt.

Es ist nun zu klären, wie diese Ergebnisse zustande kommen. Dazu werden zunächst die Unterschiede der Wirkungen der drei Assistenzsysteme auch im Vergleich zur Fahrt ohne Assistenz dargestellt und wahrscheinliche Ursachen dieser Ergebnisse erläutert (Kapitel 5.1). Im Anschluss daran werden methodische Aspekte der Untersuchung kritisch betrachtet (Kapitel 5.2). Am Ende werden die Schlüsse, die sich aus den Ergebnissen ziehen lassen, nach Systembestandteilen geordnet betrachtet (Kapitel 5.3).

5.1 Wirkungen der Assistenzsysteme

In diesem Kapitel werden die Wirkungen der unabhängigen Variablen nach erhobenen Variablen sortiert, diskutiert. Die Reihenfolge entspricht dabei der des Ergebnisteils. Zunächst wird die Wirkung auf die Häufigkeit der Warnungen (Kapitel 5.1.1), die Aktivität der Probanden (Kapitel 5.1.2) und deren Geschwindigkeit während der Testfahrten (Kapitel 5.1.3) behandelt. Danach wird die Wirkungen auf die abhängigen Variablen, also die Leistung in der Querführung (Kapitel 5.1.4), die Beanspruchung der Probanden (Kapitel 5.1.5), die Akzeptanz der Assistenzsysteme durch die Probanden (Kapitel 5.1.6), ihr Befinden (Kapitel 5.1.7) und das mentale Modell (Kapitel 5.1.8) betrachtet. Am Ende des Kapitels werden die Wirkungen der Assistenzsysteme noch einmal zusammenfassend diskutiert (Kapitel 5.1.9).

5.1.1 Häufigkeiten der Warnungen

Die Häufigkeiten der Warnungen unterschieden sich zwischen den Assistenzsystemen wie erwartet. Der 1-stufige Assistent gab am wenigsten Warnungen aus, gefolgt vom adaptiven Assistenten. Am häufigsten warnte der 2-stufige Assistent.

Dabei gab es jedoch große Unterschiede zwischen den Probanden. Bei fünf der acht Probanden unterschieden sich die Häufigkeiten der Warnungen zwischen allen drei Assistenten deutlich, bei drei Probanden gab es fast keine Unterschiede in der Häufigkeit der Warnungen zwischen dem adaptiven und dem 2-stufigen Assistenten. Von diesen drei Probanden war eine Probandin extrem inaktiv und zwei überdurchschnittlich aktiv während der Fahrt. Bei der inaktiven Probandin lassen sich die häufigen Warnungen bei der Fahrt mit dem adaptiven Assistenten also dadurch erklären, dass sie kontinuierlich als inaktiv galt und deshalb der Assistent reagiert hat wie der 2-stufige Assistent. Bei den anderen beiden wurden die häufigen Warnungen eher von der zweiten Warnstufe ausgelöst, was einer insgesamt eher schlechten Spurführung entspricht.

5.1.2 Aktivität

Die Aktivität der Probanden unterschied sich zwischen den Bedingungen und den Auswertungsabschnitten der Fahrten. Die Probanden waren in den Abschnitten 2 und 3 deutlich inaktiver als im Mittel der jeweils anderen Abschnitte. Bei Fahrten mit dem adaptiven Assistenten waren die Probanden aktiver, bei Fahrten mit dem 1-stufigen Assistenten inaktiver als im Mittel der jeweils anderen Bedingungen. Während die Fahrer bei Fahrten mit Assistenz im Abschnitt 2 am inaktivsten sind, so ist es bei den Fahrten ohne Assistenz der dritte Abschnitt. Das Verhältnis der Inaktivitätsanteile von 2-

stufigem zu 1-stufigem Assistenten kehrt sich zwischen dem zweiten und dem dritten Fahrtabschnitt um.

Bei einer signifikanten Interaktion wirken die beiden Faktoren nicht unabhängig voneinander, daher sollten die Haupteffekte nicht ohne genauere Betrachtung der Art der Interaktion interpretiert werden. Nach Bortz (1999, S. 290) sind Haupteffekte nur dann zulässig interpretierbar, wenn die Interaktion ordinal oder hybrid, aber ordinal für den zu interpretierenden Faktor ist. Dies ist bei den vorliegenden Daten nicht der Fall. Für den Faktor Abschnitt weicht allerdings nur ein Wert vom geforderten Trend der Daten ab. Hier ließe sich die geringere Aktivität auf den beiden mittleren Abschnitten der Versuchsfahrten gut über die Verkehrsdichte auf der Versuchsstrecke erklären. Die Abschnitte zwei und drei liegen jeweils östlich vom Autobahnkreuz Wolfsburg, dort ist im Allgemeinen die Verkehrsdichte geringer als in den Abschnitten eins und vier, die das Autobahnkreuz Wolfsburg jeweils enthalten. Die geringere Verkehrsdichte würde in dem Fall die Regelung der Fahrzeugführung weniger dringlich machen, da es bei weniger Fahrzeugen in der Umgebung unwahrscheinlicher ist, mit ihnen in einen Konflikt zu geraten. Das eigene Fahrverhalten muss in dieser Situation weniger auf das anderer Verkehrsteilnehmer angepasst werden. Der Effekt der Assistenzsysteme auf das Aktivitätsniveau der Probanden lässt sich aufgrund der Ergebnisse nicht einfach interpretieren. Es scheint allerdings so, als wäre das Aktivitätsniveau der Probanden beim 2-stufigen und beim 1-stufigen Assistenten geringer als beim adaptiven Assistenten oder ohne Assistenz. Als Ursache dieses Effekts könnte die Möglichkeit der Anpassung des eigenen Verhaltens an den Assistenten zum tragen kommen. Möglicherweise passen Fahrer ihr Verhalten an die statischen Assistenten an, indem sie insgesamt weniger aktiv in die Fahrzeugsteuerung eingreifen. Dass dies bei der adaptiven Variante nicht geschieht, könnte daran liegen, dass dieser Assistent für die Fahrer weniger berechenbar erscheint. Da sie sich hierbei nicht auf den Assistenten verlassen zu können glauben, regeln sie die Fahrzeugsteuerung so, wie sie es ohne Assistenz tun würden. Dies ist auch einer der möglichen Erklärungen dafür, weshalb das adaptive System die Fahrer nicht entlastet (siehe Kapitel 5.1.5).

Es ergaben sich insgesamt sehr große Unterschiede in den Anteilen inaktiver Phasen an den Abschnitten der Fahrten zwischen den Probanden, dabei fand sich eine große Stabilität der probandenspezifischen Aktivität über die Fahrtabschnitte und die Bedingungen hinweg. Dies lässt darauf schließen, dass es sich bei dieser Aktivität, also der Häufigkeit der Korrekturen der Fahrzeugführung, um ein persönliches Merkmal der Fahrer handelt. Unabhängig von anderen Überlegungen zur Bestimmung der aufgabenbezogenen Aktivität von Fahrern erscheint es daher sinnvoll, die Aktivitätserkennung an das fahrerspezifische Niveau zu adaptieren.

5.1.3 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit der Probanden war im zweiten Abschnitt der Fahrt höher und im dritten Abschnitt der Fahrten geringer als in den anderen Abschnitten. Dieser Effekt lässt sich durch den Verlauf der Strecke erklären. Sie verläuft in Abschnitt 2 eher bergab und entsprechend in Abschnitt 3 bergauf. Die mittlere Geschwindigkeit variierte nicht zwischen den Bedingungen der Untersuchung. Die Standardabweichung der Geschwindigkeit war in der Bedingung mit dem 2-stufigen Assistenten tendenziell höher als in der Kontrollbedingung. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Assistenzsysteme zur Querführung einen nur geringen Einfluss auf die Längsführung haben. Bei Buld, Tietze und Krüger (2005, S.183) wird berichtet, dass automatisierte Systeme zur Übernahme einer der Regelungsebenen (z.B. der Querführung) zu einer Vernachlässigung und der Verschlechterung der Regelung in der anderen Ebene (dem entsprechend z.B. der Längsführung) führen. Für das realisierte warnende System finden sich in der Betrachtung der Geschwindigkeit Hinweise auf einen solchen Effekt nur tendenziell für das 2-stufige System.

In Kapitel 5.1.2 wurde dargestellt, dass die Assistenzsysteme möglicherweise die aufgabenbezogene Aktivität der Fahrer beeinflussen. Die Probanden waren bei den Fahrten mit den statischen Systemen eher inaktiver als bei den Fahrten mit dem adaptiven Assistenten und ohne Assistenz. Dem folgend war die Standardabweichung der Geschwindigkeit bei den statischen Systemen eher höher und bei dem adaptiven System und ohne Assistenz niedriger. Sollten die Systeme also Einfluss auf die Längsführung haben, so scheint dieser über die Aktivität der Fahrer vermittelt zu werden. Aktiveres fahren führt demnach auch auf der Ebene der Längsführung besser Auto. Um sichere Aussagen über den Einfluss der Assistenzsysteme auf die Längsführung machen zu können, müsste der Einfluss zusätzlich zu den untersuchten Kriterien am sicherheitsrelevanteren Kriterium der Time-To-Collision geprüft werden.

5.1.4 Leistung in der Querführung

Während der Fahrt verschlechtert sich die Güte der Spurhaltung in der Kontrollbedingung ohne Assistenzsystem. Mit den beiden statisch ausgelegten Systemen hingegen wird sie ab dem zweiten Abschnitt besser, mit dem adaptiven System ist kein Trend zu erkennen. Die Unterschiede zwischen den Bedingungen werden also zum Ende der Fahrten deutlicher. Im letzten Abschnitt werden mit dem 2-stufigen und dem adaptiven Assistenten bessere Leistungen erzielt als ohne Assistenz, mit dem 2-stufigen Assistenten werden im letzten Abschnitt auch bessere Leistungen erzielt als mit dem 1-stufigen Assistenten. Eine genauere Analyse der Wirkung der Assistenzfunktionen zeigt, wie in Abbildung 5-1 dargestellt, in welcher Art und Weise sich die Standardab-

weichung der Querabweichung als Maß für die Präzision der Spurführung bei den Systemvarianten im Vergleich zur Kontrollbedingung verändert. Bei der Fahrt mit dem 1-stufigen Assistenten ergaben sich die größten Veränderungen der Spurführung für diejenigen Fahrer, die in der Kontrollbedingung besonders schlecht die Spur hielten. Vergleicht man die Spurführung zwischen dem 2-stufigen Assistenten und der Kontrollbedingung, so zeigt sich, dass alle Probanden mit Assistenz ihre Spurführung verbessern. Der Vergleich der adaptiven Assistenz mit der Kontrollbedingung zeigt für alle Fahrer eine geringere Verbesserung der Spurführung als bei den anderen beiden Assistenten.

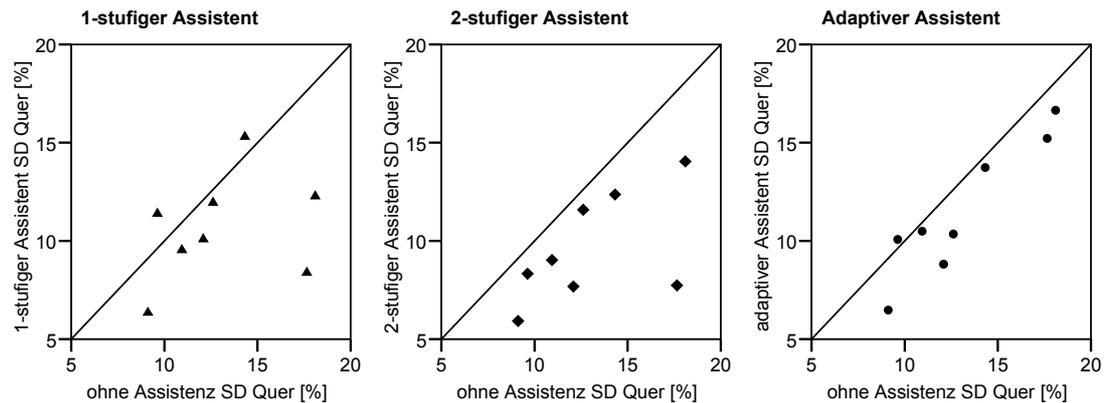


Abbildung 5-1 Korrelation der Präzision der Spurführung (Standardabweichung der prozentualen Querabweichung) zwischen der Kontrollbedingung und den drei Assistenzvarianten. Dargestellt sind die Werte der acht Probanden im jeweils vierten Abschnitt der Fahrt.

Ein Grund für dieses Ergebnis könnte sein, dass die Probanden dem adaptiven System durch ständige Lenkradbewegungen Aktivität signalisierten und so die Warnungen der Vorwarnstufe vermieden. Das könnte zum einen der Grund für die relativ schlechte Spurführung sein und zum anderen ein Grund für die hohe Beanspruchung und, darüber vermittelt, die negative Bewertung des Assistenten in dieser Bedingung. Das bedeutet, dass diese Art der Aktivitätsschätzung ungeeignet ist, und eine solche ohne Einbezug der Lenkradbewegungen zu nutzen wäre.

Eine weitere mögliche Erklärung ist, dass sich die Probanden nicht auf das adaptive System einstellen können, und deshalb fahren, als führen sie ohne Assistenz. Dafür spricht, dass keiner der Probanden bei der Befragung zum mentalen Modell eine Aussage über die Adaptivität machte. Könnten sich die Fahrer tatsächlich nicht auf das adaptive System einstellen, so würde das auch zu einer hohen Beanspruchung und negativen Systembewertungen führen, da das System scheinbar sinnlos warnt.

Insgesamt lässt sich aus den Ergebnissen zur Leistung in der Querführung ableiten, dass die Dauer der Testfahrten richtig gewählt wurde, da sich die Wirkungen der Assistenz auf das Fahren erst spät zeigen. Weitere, noch längere Fahrten müssten zeigen,

ob sich der gefundene Effekt stabilisiert oder ob gar später, wenn die Fahrer müde werden, sich ein positiver Einfluss des adaptiven Assistenten zeigt.

5.1.5 Beanspruchung

Das Inter-Beat-Intervall steigt in allen Bedingungen während der Fahrt an. Dieses Absinken der Herzrate während der Versuchsfahrten, die immerhin 2 Stunden bewegungsarme Tätigkeit bedeuten, ist nicht weiter verwunderlich. Nach (Grandt, 2004), der psychophysiologische Parameter hinsichtlich ihrer Güte zur Erfassung mentaler Beanspruchung systematisch untersuchte, sind Indikatoren des kardiovaskulären Systems wenig geeignet, Beanspruchungen geringer Intensität widerzuspiegeln. Außerdem sei ihre Sensitivität in hohem Maße von zeitlichen Einflüssen abhängig. Diese Ergebnisse sprechen für eine Interpretation der Ergebnisse dahingehend, dass die Inter-Beat-Intervalle ein für die Beurteilung der Beanspruchung durch die Aufgabe zu unspezifischer Indikator zu sein scheinen.

Der Verlauf der Aktivität spiegelt nicht den Verlauf der Inter-Beat-Intervalle wider. Während die Aktivität der Fahrer im letzten Abschnitt der Fahrten wieder ansteigt, verkürzen sich die Inter-Beat-Intervalle nicht. Davon ausgehend, dass sich aufgrund von Überlagerungen durch andere physiologische Effekte keine Wirkungen der Assistenzsysteme in den Inter-Beat-Intervallen finden, zeigt dieser Befund, dass die gefundene physiologische Beanspruchung auch nicht auf die im Aktivitätsindex gemessenen Betätigungen von Gas- und Bremspedal oder des Lenkrads zurückzuführen ist.

Die beiden Skalen zur Beanspruchung (Beanspruchung durch die Fahrt und Beanspruchung durch den Assistenten) korrelieren mittelstark positiv miteinander. Der nicht sehr starke Zusammenhang deutet darauf hin, dass sie nicht das Gleiche messen. Die Probanden haben also scheinbar bei der Beurteilung der Beanspruchung durch die Fahrt nicht auch die Beanspruchung durch die Assistenz bewertet.

Am Ende der Fahrten geben die Probanden über die Bedingungen hinweg eine höhere Beanspruchung an als in der Pause. Dieser Effekt kann auf die Daueranstrengung der Testfahrten zurückgeführt werden.

Subjektiv sind Fahrten mit 1-stufigen Assistenten und ohne Assistenz weniger beanspruchend als Fahrten mit adaptiver oder 2-stufiger Assistenz. Dabei wurden die Fahrten mit dem adaptiven und dem 2-stufigen Assistenten als mittel anstrengend erlebt, die mit dem 1-stufigen Assistenten als wenig anstrengend. Diese Einschätzung galt sowohl für die Beanspruchung durch die Fahrt insgesamt als auch für die Beanspruchung durch den Assistenten. Die Beanspruchung wird also für den 2-stufigen und den adaptiven Assistenten höher als für den 1-stufigen Assistenten eingestuft. Die Fahrt ohne Assistenzsystem wurde insgesamt als wenig anstrengend bewertet. Auch in einer Untersuchung von Hillburn, Jona, Byrne & Parasuraman (1997) war die mit dem NASA-

TLX gemessene subjektive Beanspruchung (bei einem Vergleich von adaptiver und statischer Unterstützung für Fluglotsen mit der Beanspruchung ohne Unterstützung) mit dem adaptiven und dem vollautomatisierten System bei starkem Luftverkehr stärker als mit manueller Kontrolle. Adaptive Assistenz führt demnach nicht automatisch zu einer geringeren Beanspruchung der Nutzer.

5.1.6 Akzeptanz

Insgesamt wird der 1-stufige Assistent besser akzeptiert als die anderen beiden Assistenten. Die Idee hinter der Funktionsweise wird als gut bewertet. Die Probanden nutzen diesen Assistenten nach eigenen Angaben selten. Diese Einschätzung stimmt mit der geringen Häufigkeit der durch diesen Assistenten ausgelösten Warnungen überein. Die Gestaltung des Assistenten wird als gut bewertet, der Zeitpunkt seiner Warnungen als genau richtig und die Menge der gegebenen Informationen auch. In der Beurteilung der Benutzerfreundlichkeit schneidet dieser Assistent sehr gut ab, die Unterscheidbarkeit der Warnungen in Bezug auf die Richtung wird als gut bewertet. In der Bewertung der Nützlichkeit schneidet der Assistent mittelmäßig ab, die Einstellung der Probanden ihm gegenüber ist neutral. Die anderen beiden Assistenten schneiden in der Bewertung der Probanden schlechter ab. Auch bei ihnen ist die Bewertung der Idee gut. Sie werden nach Angaben der Probanden beide mittelhäufig genutzt. Dabei gibt es keine Unterschiede im Empfinden der Probanden, obwohl die Warnhäufigkeit des 2-stufigen Assistenten über der des adaptiven Assistenten lag.

Die Idee der aktivitätsabhängigen Warnungen wird als neutral bewertet. Dieses Ergebnis könnte durch die nicht wahrgenommenen Unterschiede in der Häufigkeit der Warnungen seinen Ursprung haben, sodass die Probanden in der Adaptivität keinen Vorteil erkennen können.

Auch für den adaptiven und den 2-stufigen Assistenten wird die Gestaltung insgesamt als gut bewertet, die Grenzen des Auslösens der ersten Warnstufe werden jedoch für beide Assistenten als zu früh bewertet. Beide Assistenten geben den Fahrern auch eher zu viele Informationen. In der offenen Frage nach Schwächen und Verbesserungsmöglichkeiten der Gestaltung wird dementsprechend auch häufig genannt, dass die Warnungen beim 2-stufigen Assistenten und beim adaptiven Assistenten zu früh ausgelöst werden, vor allem auf der linken Seite beim Überholen. Die asymmetrische Auslegung der Assistenten lies zwar schon eine weitere Abweichung von der Spurmitte zu (siehe Kapitel 2.2.3), ehe gewarnt wurde, aber dies scheint den Probanden nicht zu reichen. Zusätzlich wird für das adaptive System angegeben, dass es die Fahrer zu früh für inaktiv halte. Hier wird klar, dass die Grenze, die durch die 80% der Aktivitätsverteilung der Untersuchung von Vollrath (2006) festgelegt wurde, zu eng ist. Wahrscheinlich sind auch die Fahrer in dieser Untersuchung nicht inaktiv im Sinne von „ge-

fährlich unaufmerksam“ gewesen. Die in der Untersuchung gewählte Grenze ist zwar durch Vorversuche mit Mitarbeitern des DLR e.V. validiert worden, aber bei diesen relativ kurzen Fahrten (maximal eine Stunde) war wohl die Befürchtung zu groß, gar keine Warnungen in der ersten Stufe der Assistenz zu erhalten.

Die Benutzerfreundlichkeit der Assistenten wird für den 2-stufigen und den adaptiven Assistenten als gut bewertet. Die Unterschiede der Beurteilung der Benutzerfreundlichkeit beider Assistenten im Vergleich zum 1-stufigen Assistenten rühren von einer etwas schlechteren Beurteilung der Erlernbarkeit des Umgangs mit dem Assistenten und der Einfachheit der Benutzung her. Diese Fragen spiegeln inhaltlich auch wider, wie einfach man sich auf die Assistenten einstellen kann. Die Unterscheidbarkeit der Warnungen wurde für beide Assistenten als gut eingeschätzt, sie war zwischen den Warnstufen sehr einfach und zwischen den Richtungen einfach.

Ein Proband hatte Schwierigkeiten bei der Richtungsunterscheidung. Daraus ergibt sich, dass es bei der Gestaltung akustisch warnender Assistenten von Bedeutung ist, ob die potenziellen Nutzer Richtungshören können. Wenn das Wissen zur Verfügung stünde, wie groß der Anteil der Bevölkerung ist, die dabei Schwierigkeiten haben, könnte beurteilt werden, ob solche akustischen Warnungen überhaupt sinnvoll für die Fahrer nutzbar sind. Können zu wenige Menschen Richtungshören, ist von diesem Konzept der Warnung gänzlich abzusehen, sonst ist die Fähigkeit bei den einzelnen Fahrern zu prüfen.

Der adaptive und der 2-stufige Assistent wurden genau wie der 1-stufige Assistent als mittelmäßig nützlich bewertet. Hierbei sind Unterschiede in der Beurteilung der Assistenten dahingehend zu finden, dass der 2-stufige Assistent die Probanden deutlich stärker hindert, so zu fahren, wie sie es eigentlich möchten. Insgesamt stehen bei diesen beiden Assistenten die Vorteile in Bezug auf den Nutzen auch großen Nachteilen gegenüber. Die Einstellung der Probanden gegenüber diesen beiden Assistenten war negativ. Dabei fanden es die Probanden weniger angenehm mit diesen beiden Assistenten zu fahren als mit dem 1-stufigen Assistenten. Mit dem adaptiven Assistenten machte es ihnen am wenigsten Spaß zu fahren, mit dem 2-stufigen wenig und mit dem 1-stufigen mittelmäßig viel Spaß. Die Probanden fanden insgesamt die Idee, solche Assistenten zu nutzen, beim adaptiven und beim 2-stufigen Assistenten mittelmäßig und damit schlechter als beim 1-stufigen Assistenten, für den sie die Idee der Nutzung gut fanden.

Im direkten Vergleich der Bereiche wurde kein Assistent bevorzugt. Allerdings wurde auf die Frage, welchen der Assistenten die Probanden kaufen würden, klar der 1-stufige Assistent bevorzugt. Fünf von acht Probanden würden sich für ihn entscheiden. Beim Preis, den die Probanden bereit wäre zu zahlen, unterschieden sich die Mittel-

werte zwischen den Assistenten nicht, aber es ist festzustellen, dass für den adaptiven eine größere Spanne ausgegeben werden würde, für den 2-stufigen eine weniger variierende Preisspanne und beim 1-stufigen Assistenten herrscht ziemliche Einigkeit. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass sich die Probanden in der Beurteilung des adaptiven weniger einig sind und deshalb in ihren Preisbeurteilungen so unterschiedlich antworten. Es ist aber auch möglich, dass sie bei dem 1-stufigen Assistenten aufgrund der Ähnlichkeit des Konzepts mit schon auf dem Markt befindlichen Systemen, wie z.B. in den Modellen C4, C5 und C6 der Firma Citroën (AFIL), schon ein Gefühl für akzeptable Preise entwickelt haben.

Insgesamt zeigt sich, dass die Bewertung des 2-stufigen Assistenten sich nicht von der des adaptiven Assistenten unterscheidet, und dass das möglicherweise daran liegt, dass die Häufigkeit der Warnungen für beide Assistenten als gleich häufig empfunden wurde, obwohl sie sich in den objektiven Daten unterscheidet. Es scheint, dass auch die hohe Beanspruchung durch beide Assistenten mit Vorwarnstufe mit diesen gleich häufig empfundenen Warnungen zusammenhängt, wobei die Wirkungsrichtung zu klären wäre. Es scheint allerdings plausibler, dass die hohe Beanspruchung durch den adaptiven Assistenten zu einer Überschätzung der Warnungen führt als umgekehrt. Die geringe Akzeptanz des adaptiven Assistenten zeigt, dass durch die untersuchte Auslegung des Assistenten Reaktanz, Ignorieren des Assistenten und das Abschalten des Assistenten nicht verhindert werden kann.

5.1.7 Befinden

Das Befinden der Probanden ist nach den Fahrten mit dem adaptiven und dem 2-stufigen Assistenten beeinträchtigt. Es verschlechtert sich bei den Fahrten mit dem 2-stufigen Assistenten während der Fahrt signifikant, bei Fahrten mit dem adaptiven Assistenten tendenziell. Insbesondere bei der Frage: „Wie stark sind Sie im Moment aktiv, wie sind Sie z.B. unternehmungslustig, energisch, tatkräftig, frisch, wach, usw.?“ ist die Beurteilung durch die Probanden am Ende der Fahrt für den adaptiven Assistenten stärker verschlechtert als für alle andere Bedingungen. Diese Befunde passen in sofern zu denen der berichteten Beanspruchung der Probanden, als dass auch hier die Assistenzsysteme mit zwei Warnstufen schlechter abschneiden. Inwiefern diese beiden Ergebnisse zusammenhängen, oder ob das schlechtere Befinden durch die höhere Beanspruchung hervorgerufen wird, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

5.1.8 Mentales Modell

In Bezug auf die Vollständigkeit der mentalen Modelle, welche die Probanden in der ersten Phase der Testfahrt aufbauten, wurden keine Unterschiede in den Anteilen der korrekt genannten Merkmale der Assistenten gefunden. Keiner der Probanden gab die

Asymmetrie der Grenzen der Warnungen an. Ebenfalls kein Proband gab an, dass die Warnungen beim adaptiven Assistenten von der Aktivität der Probanden abhingen. Es wurde überhaupt keine Vermutung über einen anderen Auslöser der Warnungen als das Verlassen der Spur angegeben. Die Ergebnisse der Erhebung zeigen, dass mit jeweils nur ca. 60% genannten Merkmalen, die Probanden relativ wenige Merkmale der Assistenten genannt haben. Dies lässt sich durch die Erhebungsmethode erklären. So haben Verbalisierungsmethoden und freie Visualisierung, beides Methoden, die dieser sehr einfachen Erhebung am nächsten kommen, den Nachteil, dass Probanden implizites Wissen häufig nicht darstellen können und die daran gekoppelten Systemkomponenten in ihrer Darstellung vergessen (Klostermann & Huss, 2006). Zur Korrektheit der Modelle ist festzustellen, dass insgesamt zwei falsche Vermutungen über die Funktionen der Systeme gemacht wurden, eine davon in Bezug auf das adaptive System und eine auf das 1-stufige System. Beide bezogen sich auf eine vermutete dynamische Gestaltung der Warnsignale. Dass die Anpassung des adaptiven Assistenten an die Aktivität der Fahrer von den Probanden nicht explizit verstanden wurde, könnte ein Grund dafür sein, dass das System sie stark beansprucht hat und es ihnen schwer fiel, sich darauf einzustellen.

5.1.9 Fazit zur Wirkung der Assistenzsysteme

Insgesamt zeigt sich, dass warnende Querführungsassistenz dazu führt, dass die Spur beim Fahren auf der Autobahn besser gehalten wird. Dies ist mit erhöhter Beanspruchung verbunden und verringert die Akzeptanz der Systeme. Dem entsprechend wird eher ein Assistent akzeptiert, der selten warnt, aber auch eine geringere Wirkung auf die Güte der Spurhaltung hat.

Die Adaptivität an den Fahrerzustand hat nicht die gewünschte Wirkung gezeigt. Das kann daran liegen, dass der Algorithmus so eingestellt war, dass die Anzahl der Warnungen relativ häufig war, was erhöhte Beanspruchung zur Folge hatte. Eventuell kam noch hinzu, dass Warnungen über eine erhöhte Aktivität der Fahrer, mit entsprechend höherer resultierender Beanspruchung, zu vermeiden waren. Eine dritte mögliche Erklärung ergibt sich aus den Daten zum mentalen Modell. Sollten die Probanden das adaptive System für unvorhersehbar halten, so würde auch dies zu hoher Beanspruchung und geringer Akzeptanz führen.

5.2 Kritische Betrachtung der Untersuchung

Im folgenden Kapitel wird die Untersuchung unter methodischen Gesichtspunkten kritisch betrachtet. Dabei wird zunächst auf Aspekte der Untersuchungsplanung und des

Designs eingegangen (Kapitel 5.2.1) und im Anschluss daran auf die gewählten Auswertungsmethoden (Kapitel 5.2.2).

5.2.1 Design der Untersuchung

Die Untersuchung wurde als Experiment angelegt, in dem die Wirkungen des adaptiven Spurverlassenswarners mit denen zweier statischer Varianten des Systems und einer Kontrollbedingung verglichen wurden. Probleme für die interne Validität ergeben sich durch die im gewählten Setting, nämlich Fahrten im Realverkehr, nicht mögliche Kontrolle der äußeren Bedingungen, die so als Störvariablen wirken. Zwar wurde durch die Beschränkung der Fahrten auf Zeitpunkte ohne Verkehrsspitzen eine dieser Störvariablen in ihrer Wirkung eingeschränkt, jedoch konnten aus organisatorischen Gründen weder die Tageszeit der Fahrten (vormittags und nachmittags) noch die Wetterbedingungen, bei denen die Testfahrten durchgeführt wurden, weiter eingeschränkt werden. Andererseits wirken sich die Testfahrten im Realverkehr positiv auf die externe Validität aus. Nur durch die realen Fahrten im Straßenverkehr lässt sich sicherstellen, dass die Fahrer weitestgehend so fahren, wie sie es auch sonst tun. Bei Untersuchungen im Simulator ist das, trotz des erheblichen Aufwands, der in die Realitätsnähe der Simulation gesteckt wird, nicht sicher zu stellen.

Die Intersubjektvariabilität, die bei Querschnittsuntersuchungen eine Gefahr für die interne Validität darstellt, wurde durch das vollständige Messwiederholungsdesign vermieden. Die kleine Stichprobe der Untersuchung wurde so gewählt, da der zeitliche Rahmen der Durchführung nicht mehr Testfahrten zuließ. Nachteil dieses Vorgehens ist, dass die externe Validität, also die Erweiterbarkeit der Schlüsse über diese Untersuchung hinaus, durch die sehr kleine Stichprobe eingeschränkt wird. Diese ist aber durch die Auswahl der Stichprobe sowieso sehr eingeschränkt, da es sich bei der Stichprobe nicht um eine Zufallsstichprobe von Fahrern handelt. Die Probanden stammten aus dem Probandenpool des DLR Braunschweig. Bei ihnen handelt es sich, gerade was die Akzeptanzbeurteilung von Assistenzsystemen angeht, um eine Positiv-Auswahl von Fahrern, da sie aufgrund ihres Interesses an der Entwicklung von Assistenzsystemen in diesem Pool befinden. Diese Stichprobe wurde weiter eingeschränkt durch die Prämisse, keine besonders jungen oder alten Fahrer zu untersuchen, da diese besondere Risikogruppen von Fahrern darstellen und aus Sicherheitsgründen nicht mit unbekanntem Systemen im Realverkehr fahren sollten. Aus dem gleichen Grund wurden Fahrer ausgeschlossen, die nur eine geringe Fahrpraxis aufweisen. Die Störvariable Geschlecht der Fahrer wurde ausbalanciert, an der Untersuchung nahmen vier Frauen und vier Männer teil.

Nicht zu beheben sind allerdings die Effekte des Versuchsfahrzeugs auf das Fahrverhalten anderer Verkehrsteilnehmer. Auch wenn versucht wird, das Fahrzeug so unauf-

fällig wie möglich zu gestalten, reagieren andere häufig mit einer extrem regelkonformen Fahrweise auf das ViewCar®, dass sie wegen der installierten Kameras für ein Polizeifahrzeug zu halten scheinen.

Der Geltungsbereich der Untersuchungsergebnisse beschränkt sich weiterhin auf die Spurführung auf Autobahnen, da nur dies untersucht wurde. Andere, vor allem kurvige Strecken würden weitergehende Aussagen über das Assistenzsystem ermöglichen. Die verschiedenen erhobenen Maße zur Beanspruchung liefern nicht alle die gleichen Ergebnisse. Daraus ist abzuleiten, dass die verschiedenen Kriterien – Fragebogen und Physiologie – unterschiedliche Aspekte der Beanspruchung abbilden. Auch in weiterführenden Studien sollte auf verschiedene Beanspruchungsparameter zurückgegriffen werden. Da die Beanspruchungsmaße jedoch unterschiedlich gut, also unterschiedlich sensitiv und spezifisch, sind, sollten in folgenden Untersuchungen andere physiologische Indikatoren gewählt werden. Grandt (2001) schlägt als sensitive und spezifische Maße für Beanspruchung durch informationsverarbeitende Tätigkeiten die Lidschlagfrequenz und die Blickbewegungsmessung vor.

Die Untersuchung hat in all jenen Bereichen, die nicht direkt die Testung der spezifischen Hypothesen betreffen, rein explorativen Charakter. Diese explorativen Anteile sind bei der Untersuchung von technischen Innovationen besonders wichtig, da sie Probleme und Nutzungshemmnisse durch die potenziellen Nutzer aufdecken können, auf die durch rein analytische Betrachtungen niemand gekommen wäre (vgl. Dzida & Wandke, 2006).

Ein weiteres Problem der Untersuchung ist die nicht gut gelungene Auslegung des adaptiven Assistenten. Die Aktivitätserkennung scheint Fahrer generell zu früh für inaktiv zu halten. Daraus ergeben sich für den Assistenten häufigere Warnungen, als es bei einer späteren Grenze für Inaktivität der Fall wäre. Es ist durchaus möglich, dass ein adaptiver Assistent mit deutlich größerer Toleranz bis zur Inaktivitätsgrenze bessere Akzeptanz erreicht. Auch ein solcher sollte, gerade bei längeren Fahrten, auf denen Unaufmerksamkeit und Müdigkeit eher ein Problem darstellen als auf den Testfahrten, mit den wenigen Warnungen, die er dann in der Vorwarnstufe ausgibt, Vorteile für die Sicherheit der Fahrer erbringen.

5.2.2 Auswertung

Ziel der gewählten Auswertungsstrategie war es, die spezifischen Hypothesen der Untersuchung der Datenqualität entsprechend zu testen und zusätzlich so viele Hinweise auf mögliche Einflüsse auf die Kriterien wie möglich zu erlangen. Daher wurde bei der Prüfung der Hypothesen auf Einhaltung der methodischen Kriterien geachtet. Bei den weiterführenden Analysen stand das nicht im Vordergrund. Diese sind daher auch nur als Hinweise für weitere Untersuchungen zu verstehen.

Die ausgewerteten Anteile der Daten an den Fahrtabschnitten unterschieden sich zwischen den Abschnitten und den Probanden. Daher wurde sie für die Probanden normiert, indem die Daten pro Abschnitt gemittelt wurden. Dadurch gingen Informationen über kurzzeitige Verläufe der Daten verloren, es war demzufolge nur eine recht grobe Analyse möglich.

Aufgrund der geringen Stichprobengröße konnte bei einigen der abhängigen Variablen nicht von der Erfüllung der Voraussetzungen für varianzanalytische Auswertungsverfahren ausgegangen werden. Für diese Variablen wurden dann entsprechende nonparametrische Verfahren eingesetzt, die allerdings im Vergleich zu parametrischen Verfahren eine geringere statistische Power ausweisen.

5.3 Schlussfolgerungen aus der Untersuchung

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 5.1 erarbeiteten Implikationen der Ergebnisse nach den Bestandteilen des Assistenzsystems geordnet. Dabei wird zuerst auf die Wirkung der adaptiven Unterstützung (Kapitel 5.3.1), danach auf die Anwendung des Aktivitätskriteriums (Kapitel 5.3.2) und am Ende auf die Gestaltung der Grenzwerte für die Warnungen (Kapitel 5.3.3) eingegangen.

5.3.1 Wirkung der adaptiven Unterstützung

Miller und Parasuraman (2007) weisen darauf hin, dass viele effektive adaptive Automatisierungen nicht durch die Nutzer akzeptiert werden, weil sie für diese unvorhersagbar agieren. Zu dem gleichen Schluss führen die oben diskutierten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung: Das adaptive Assistenzsystem hilft den Fahrern zwar bei der Spurführung. Allerdings scheinen sie die Funktionsweise nicht zu verstehen. Die dadurch vermutlich ausgelöste Unvorhersagbarkeit der Systemaktionen führt dazu, dass die Fahrer nicht wie erwartet entlastet werden. Zusätzlich lehnen sie das System auf affektiver Ebene ab und akzeptieren es nicht.

5.3.2 Anwendung der Fahreraktivitätserkennung

Ziel der untersuchten Art der Aktivitätsschätzung war es, mit bereits in den Fahrzeugen vorhandenen Sensoren eine fahrerzustandsabhängige Assistenz zu ermöglichen. Die dadurch erhofften Effekte, nämlich eine geringere Beanspruchung der Fahrer sowie eine höhere Akzeptanz des Systems gegenüber statisch ausgelegter Assistenz, wurden nicht gefunden.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen zum einen, dass es sich bei der gemessenen Aktivität der Fahrer, aufgrund der Stabilität über die Bedingungen hinweg, um ein per-

sönliches Merkmal handeln könnte. Um dies zu überprüfen, sollten hier Untersuchungen mit großen, zufälligen Fahrer Stichproben durchgeführt werden.

Es zeigt sich aber auch, dass eine Aktivitätsschätzung mit den Eingangsgrößen: Veränderungen von Brems- und Gaspedal sowie der Lenkwinkeländerung nicht sinnvoll als Kriterium eines Assistenten zur Unterstützung der Querverführung sind. Hier sollten Varianten in ihrer Wirkung geprüft werden, die keine Parameter der Querverführung enthalten. Leider wurden in der vorliegenden Untersuchung die Eingangsgrößen für die Aktivitätserkennung nicht einzeln aufgezeichnet, sodass mit den vorliegenden Daten nicht bestimmt werden kann, wie groß der Anteil der Lenkwinkeländerungen an den Aktivitätssignalen ist. Da die Testfahrten aber auf relativ freien Autobahnstrecken durchgeführt wurden, und die Probanden auch recht schnell fuhren, ist davon auszugehen, dass sie eher selten in die Längsverführung eingreifen mussten und der Anteil der Eingriffe in die Querverführung den größeren Teil der Regelung ausmachte.

Als Empfehlungen für zukünftig zu gestaltende Assistenzsysteme mit Aktivitätserkennung lassen sich zusammenfassen:

1. Das Kriterium für Inaktivität sollte erst bei länger dauernder Inaktivität erreicht werden.
2. Sollten weitere Untersuchungen dafür sprechen, ist das Aktivitätskriterium an den jeweiligen Fahrer und dessen spezifische Aktivität beim Auto fahren zu adaptieren.
3. Das Aktivitätskriterium und die Auswirkungen auf die Assistenz sollten den Fahrern verständlich gemacht werden. Beides muss erläutert werden, da es einfach durch Ausprobieren nicht erkannt wird. Dieses Verstehen des Systems ist notwendig, da die Fahrer ein unverstandenes und damit unvorhersehbares System nicht akzeptieren.

5.3.3 Grenzwerte für die Warnungen

Die beiden Assistenten mit zwei Warnstufen verbesserten zwar die Querverführungsleistung der Probanden, schnitten aber in den anderen Kriteriumsvariablen deutlich schlechter ab. Insgesamt wurde die erste Warnstufe als zu früh erlebt und die beiden Assistenten, die diese erste Warnstufe aufwiesen, als relativ beanspruchend im Vergleich zum 1-stufigen System oder der Fahrt ohne Assistenz. Auch die Akzeptanzbewertungen unterschieden sich. In dem eher dem System zugeordneten Bereich der Gestaltung wurden sie, wahrscheinlich aufgrund der frühen Warnungen, schlechter bewertet. Auch in dem eher affektiven Bereich der Einstellung schnitten sie schlechter, sogar schlecht ab.

Obwohl die Warnungen auslösenden Grenzwerte einer empirischen Untersuchung des Querverführungsverhaltens entstammten, sind sie nicht akzeptabel für die Fahrer. Reichardt (2001) nennt in seinem normativen Modell der Fahrzeugführung für ein sicheres

Fahren auf geraden Strecken einen Mindestabstand zur Spurmarkierung von 25 cm. In der untersuchten Auslegung der Warngrenzen lag der Mindestabstand von der Spurmarkierung (bei einer Fahrstreifenbreite von 3.75 m) auf der linken Seite bei 41.5 cm und auf der rechten Seite bei 45.5 cm. Die Grenzen, die die Warnungen auslösen, könnten also entsprechend der Wünsche der Fahrer noch erweitert werden, ohne die Sicherheit zu gefährden. Da die Warngrenze des 1-stufigen Assistenten als genau richtig beurteilt wurde, bietet es sich an, ein System mit dieser und einer weiter außen liegenden Warngrenze auf die Kriterien Güte der Spurhaltung, Beanspruchung der Fahrer und Akzeptanz durch die Fahrer hin zu überprüfen.

Die verschiedenen Assistenzsysteme wirkten sich unterschiedlich auf das Querführungsverhalten der verschiedenen Probanden aus. Fahrer, die ohne Assistenz schlechter die Spur hielten erfuhren durch den 1-stufigen Assistenten eine starke Verbesserung der Spurhaltung. Durch den 2-stufigen Assistenten hingegen erfuhren alle Fahrer eine geringere Verbesserung der Spurhaltung (vgl. Kapitel 5.1.4). Daraus könnte geschlossen werden, dass es sinnvoll wäre, die Grenzen der Querablage für die Warnungen an das individuelle Querführungsverhalten anzupassen. Da es jedoch nicht Ziel der Spurverlassenswarnungen ist, die Spurhaltung aller Fahrer zu verbessern, sondern „nur“ kritische Situationen durch unbeabsichtigtes Verlassen der Spur zu vermeiden, erscheint eine solche erziehende Assistenz unnötig und unangebracht.

Eine weitere Möglichkeit wäre es, statt statischer Grenzwerte die TTLC als Kriterium für Warnungen zu verwenden. Das konnte in dieser Untersuchung nicht geschehen, weil die technische Umsetzung der Berechnung der TTLC in Echtzeit als noch nicht ausgereift beurteilt wurde (U. Noyer, persönliche Mitteilung, 20.01.2007). Eine dynamische Warngrenze auch in Bezug auf die Güte der Spurhaltung birgt aber auch, wenigstens am Anfang der Nutzung, die Gefahr, von den Fahrern als nicht vorhersagbar empfunden zu werden.

6 Resümee und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde ein warnendes Assistenzsystem im Realverkehr untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich während der eineinhalb Stunden dauernden Fahrten ein den Assistenten angepasstes Verhalten stabilisiert. Es zeigte sich, wie solche warnenden Querführungssysteme auf die Fahrer wirken. Sie führen dazu, dass die Fahrer gezwungen werden, ihr Verhalten anzupassen. Das wird von den Fahrern prinzipiell auch als Idee gut bewertet. Die Fahrer sind aber andererseits auch durch die Systeme beansprucht, was sich negativ auf die Beurteilung der Systeme auswirkt. Das führt im Extrem dazu, dass die Systemauslegung bevorzugt wird, die den Fahrer möglichst wenig beeinflusst.

Ein solch wenig beeinflussendes System zu gestalten war eigentlich auch die Idee der adaptiven Assistenz. Leider hat hier die gewählte Umsetzung die Fahrer nicht überzeugt. Drei verschiedene mögliche Ursachen wurden identifiziert: Zum einen fanden sich große Unterschiede zwischen den Probanden, die eventuell personenadaptive Systeme notwendig machen. Zum zweiten scheint das Aktivitätskriterium nicht nachvollziehbar für die die Testfahrer. Als drittes scheinen die Grenzen der Inaktivitätsbestimmung zu früh gewählt worden zu sein, so dass die Adaptivität für die Testfahrer nicht deutlich, und vielleicht auch deshalb nicht verstanden, wurde. Um das Dilemma der Entscheidung zwischen den Optimierungszielen „hohe Leistung“, „geringe Beanspruchung“ und „hohe Akzeptanz durch den Nutzer“ zu umgehen scheint die untersuchte Art der Fahrerassistenz unangebracht.

Insofern hat die vorliegende Arbeit zum Verständnis der Wirkung von warnender Assistenz beim Fahren beigetragen. Der Gesamtwert der Untersuchung ist auch als Überblick darüber zu verstehen, was an der Aktivitätserkennung und der adaptiven Gestaltung des Spurverlassenswarners nicht wie gewünscht wirkt.

Für weitere Aussagen über die Wirkungen der Bestandteile Adaptivität und Aktivität dieser Art von Assistenz braucht es detaillierte Untersuchungen dieser beiden Faktoren. Diese sollte in Bezug auf die Probandenzahl und die Dauer der Testfahrten ausgeweitet werden, um auf der größeren Datenbasis validere Aussagen über die Unterschiede zwischen Fahrern machen zu können.

7 Literaturverzeichnis

- AFIL - Alarm bei Fahrbahnabweichung per Infrarot-Linienerkennung.[PDF]. Verfügbar unter: www.citroen.ch/german/passions/fichiers/pdf/afil.pdf [22.08. 2007].
- Bartsch, H. (1994). *Menschliche Zuverlässigkeit in Arbeitssystemen*. Unveröffentlichtes Manuskript, Cottbus.
- Beier, G. (1999). Kontrollüberzeugungen im Umgang mit Technik. *Report Psychologie*, 24, S. 684-693.
- Bernotat, R. (1970). Operation Functions in Vehicle Control, Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13, S. 353-377.
- Bingham, C. R., Stemmler, M., Petersen, A. C. & Graber, J. A. (1998). Imputing Missing Data Values in Repeated Measurement Within-Subjects Design. *Methods of Psychological Research Online*, 3 (2), S. 131-155.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (3. überarbeitete und aktualisierte Auflage). Berlin: Springer.
- Boucsein, W. (2006). Psychophysiologische Methoden in der Ingenieurpsychologie. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 317-358). Göttingen: Hogrefe.
- Brookhuis, K. A., de Waard, D. & Janssen, W. H. (2001). Behavioural impacts of Advanced Driver Assistance Systems - an overview. *EJTIR*, 1, S. 245-253.
- Buld, S., Tietze, H. & Krüger, H.-P. (2005). Auswirkungen von Teilautomation auf das Fahren. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (S. 161-187). Berlin: Springer.
- Busch, S. (2005). *Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Prognose des Sicherheitsgewinns ausgewählter Fahrerassistenzsysteme* (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 No. 588). Düsseldorf: VDI.
- Cheng, T. C. E., Lam, D. Y. C. & Yeung, A. C. L. (2006). Adoption of internet banking: An empirical study in Hong Kong. *Decision Support Systems*, 42, S. 1558-1572.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13, S. 319-340.
- Deml, B., Blaschke, C. & Färber, B. (2006). *Prädiktoren des Fahrstils zur adaptiven Auslegung von Assistenzsystemen* (DGLR-Bericht No. 2006-02/10): Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- DIN EN ISO 150005 (2002). Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen. Grundsätze und Prüfverfahren des Dialogmanagements. Berlin: Beuth.

- Donath, D. & Schulte, A. (2006). *Weiterentwicklung kognitiver und kooperativer Operateurassistentz: Ein Konzeptansatz für modellbasierte adaptive Automation* (No. 2006-02/08): Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Dongens, E. (1999). A conceptual framework for active safety in road traffic. *Vehicle system dynamics*, 32, S. 113-128.
- Dzida, W. & Wandke, H. (2006). Software-Ergonomie: Gestalten und Bewerten interaktiver Systeme. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 461-494). Göttingen: Hogrefe.
- Ehmanns, D., Wallentowitz, H., Gelau, C. & Nicklisch, F. (2000). *Zukünftige Entwicklungen von Fahrerassistenzsystemen und Methoden zu deren Bewertung*. [Internet]. Verfügbar unter: http://www.pelops.de/pdf/ACKolloquium2000_3.pdf [20.08. 2007].
- Ehrenpfordt, I. & Rataj, J. (2005). Fahrmotive und Fahrsituationen als Basis einer Fahrertypisierung zur individualisierten Routengenerierung. *DGLR-Bericht 2005-05/05*, S. 55-61.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, S. 32-64.
- Gelau, C. (2004). Fahrerablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme im Fahrzeug: Auswirkungen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit. In B. Schlag (Hrsg.), *Verkehrspsychologie: Mobilität - Sicherheit - Fahrerassistenz* (S. 297-316). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Giesa, H.-G. & Timpe, K.-P. (2006). Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 603-632). Göttingen: Hogrefe.
- Grandt, M. (2004). *Zur Erfassung und Bewertung der mentalen Beanspruchung mittels psychophysiologischer Messverfahren*. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal.
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie* (2. Auflage). Bern: Verlag Hans Huber.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical And Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human Mental Workload* (S. 139-183). North-Holland: Elsevier Science Publishers B. V.
- Herczeg, M. (2003). Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme: Rahmenbedingungen für sicherheitsgerichtetes Handeln. In Deutsches Atomforum e.V.: *Berichtsheft der Jahrestagung Kerntechnik 2003* (S. 97-111). Berlin: INFORUM Verlags- und Verwaltungsgesellschaft.

- Hillburn, B., Jona, P. G., Byrne, E. A. & Parasuraman, R. (1997). The Effect of Adaptive Air Traffic Control (ATC) Decision Aiding on Controller Mental Workload. In M. Mouloua & J. Kooce (Hrsg.), *Human-Automation-Interaction: Research and Practice* (S. 84-91). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Johannsen, G. (2006). Fahrzeugführung und Assistenzsysteme. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 737-776). Göttingen: Hogrefe.
- Johansson, E., Engström, J., Cherri, C., Nodari, E., Toffetti, A., Schindhelm, R. & Gellau, C. (2004). *AIDE - Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment*. [PDF]. Verfügbar unter: http://www.aide-eu.org/pdf/sp2_deliv/aide_d2-2-1.pdf [20.08 2007].
- Johnson, R. A. & Wichern, D. W. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall.
- Kaber, D. B. & Riley, J. M. (1999). Adaptive Automation of a dynamic Control Task Based on Secondary Task Workload Measurement. *International Journal of cognitive ergonomics*, 3 (3), S. 169-187.
- Kaber, D. B., Riley, J. M., Tan, K.-W. & Endsley, M. R. (2001). On the Design of Adaptive Automation for Complex Systems. *International Journal of cognitive ergonomics*, 5 (1), S. 37-57.
- Kannheiser, W. (2006). Methoden für die Planung, Gestaltung und Evaluation von Mensch-Maschine-Systemen. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 283-316). Göttingen: Hogrefe.
- Kassner, A. & Vollrath, M. (2006). Akzeptanzmessung als Baustein für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. In VDI-Gesellschaft (Hrsg.), *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Berichte 1960* (S. 97 - 112): VDI Verlag GmbH.
- Klostermann, A. & Huss, J. (2006). Vermittlung und Erhebung von mentalen Kausalmodellen komplexer dynamischer Systeme. *MMI-Interaktiv*. 22.08.2007. (Bd. 10, S. 48-59).
- Kluwe, R. (2006). Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 35-71). Göttingen: Hogrefe.
- Kopf, M. (1993). *Ein Beitrag zur modelbasierten, adaptiven Fahrerunterstützung für das Fahren auf deutschen Autobahnen* (Bd. 203). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Kopf, M., Farid, M. N. & Doisl, C. (2004). *Methoden zur Erhöhung der Akzeptanz und Effizienz eines Systems der aktiven Sicherheit* (Fortschritt-Bericht VDI No. 1864). Wolfsburg: VDI-Gesellschaft für Fahrzeug- und Verkehrstechnik.

- Lee, K. C., Kang, I. & Kim, J. S. (2007). Exploring the user interface of negotiation support systems from the user acceptance perspective. *Computers in Human Behaviour*, 23, S. 220-239.
- Michon, J. A. (1985). A critical review of driver behaviour models: What do we know, what should we do? In R. Schwing & L. A. Evans (Hrsg.), *Human behaviour and traffic safety* (S. 487-525). New York: Plenum Press.
- Miller, C. A. & Parasuraman, R. (2007). Designing for Flexible Interaction Between Humans and Automation: Delegation Interfaces for Supervisory Control. *Human Factors*, 49, S. 57-75.
- Nachreiner, F. & Schultetus, W. (2002). Normung im Bereich der psychischen Belastung - die Normen der Reihe DIN EN ISO 10075. *DIN-Mitteilungen*, 81.2002 (8), S. 519-533.
- Onken, R. & Feraric, J. P. (1997). Adaptation to the driver as part of a driver monitoring and warning system. *Accident Analysis & Prevention Fatigue and Transport*, 29, S. 507-513.
- Parasuraman, R. (2000). Designing automation for human use: empirical studies and quantitative models. *Ergonomics*, 43, S. 931-951.
- Rasmussen, J. (1986). Information Processing and Human-Machine Interaction. An Approach to Cognitive Engineering.
- Reichart, G. (2001). *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen*. Dissertation, Technische Universität, München.
- Richter, P. & Hacker, W. (1998). *Belastung und Beanspruchung: Streß, Ermüdung und Burn-out im Arbeitsleben*. Heidelberg: Asanger.
- Rührmann, H. (1993). Schnittstellen in Mensch-Maschine-Systemen. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (3. neubearb. und erw. Aufl., S. 420-447). München: Hanser.
- Schießl, C. (2006). *VW Querführung III* (Endbericht). Braunschweig: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung.
- Schlag, B. & Heger, R. (2004). Ansätze einer psychologisch fundierten Straßengestaltung. In B. Schalg (Hrsg.), *Verkehrspsychologie: Mobilität - Sicherheit - Fahrerassistenz* (S. 297-316). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Schmidt, M. (2006). *Die Normalverteilungsannahme in varianzanalytischen Verfahren*. [PDF]. Verfügbar unter:
wwpsy.unimuenster.de/inst3/AEMortensen/Lehre/EvaFoMeStatistica/WS0506/handzettel/NVAnnahme.pdf [20.08. 2007].

- Schmidtke, H. & Bubb, H. (1993). Das Belastungs- Beanspruchungs-Konzept. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (3. neubearb. und erw. Aufl., S. 116-120). München: Hanser.
- Timpe, K.-P. & Kolrep, H. (2002). Das Mensch-Maschine-System als interdisziplinärer Gegenstand. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation* (2. Auflage, S. 9-40). Düsseldorf: Symposion.
- van Driehl, C. J. G. & van Arem, B. (2006). *Impacts of a Congestion Assistant on driving Behaviour, workload and acceptance: Results form a driving simulator study*. University of Twente.
- Vollrath, M. (2005). Aktives und sicheres Fahren als Basis für Fahrerassistenz im Rahmen von SPARC. In L. Urbas & C. Steffens. *6. Berliner Werkstatt MMS. Zustandserkennung und Systemgestaltung, Mensch-Maschine-Systeme*. 22 (Bd. S. 41-46) Berlin: VDI Verlag.
- Vollrath, M., Mosebach, H. & Flemisch, F. (2006). *SPARC Second Review*. Unveröffentlichtes Manuskript, Brussels.
- Vollrath, M. & Schießl, C. (2004). Belastung und Beanspruchung im Fahrzeug - Anforderungen an Fahrerassistenz. In V. W. I. GmbH (Hrsg.), *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (Bd. 1864): VDI Verlag GmbH.
- Vollrath, M., Schießl, C., Knake-Langhorst, S., Benmimoun, A., Totzke, I. & Buld, S. (2006). Anpassung von Fahrerassistenz an Verkehrszustände - Was braucht der Fahrer wann? In *AAET 2006 Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel* (S. 88-101): GZVB.
- Wandke, H. & Rötting, M. (1998). Akzeptanz und Validierung. In H.-P. Willumeit & H. Kolrep. *Wohin führen Unterstützungssysteme? Entscheidungshilfe und Assistenz in Mensch- Maschine- Systemen*. 2. Berliner Werkstatt für Mensch- Maschine- Systeme. 7.-9. Oktober 1997. ZMMS Spektrum (Bd. 5, S. 339-348) Berlin: Pro Universitate Verlag.
- Wandke, H., Wetzenstein, E. & Polkehn, K. (2005). Handlungsbezogene Elementarbausteine für Fahrerassistenzsysteme. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert* (Bd. 1919, S. 41-62). Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik.
- Werneke, J. (2006). *Adaptive Fahrerassistenz - Eine Akzeptanz- und Bedarfsanalyse*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Leuphana Universität, Lüneburg.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y. & Becker, S. E. G. (2004). *An introduction to human factors engineering* (2nd Ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Ziems, D. (2004). *Zur psychologischen Akzeptanz von Sicherheits- und Fahrerassistenz-Systemen* (Fortschritt-Bericht VDI No. 1864). Wolfsburg: VDI-Gesellschaft für Fahrzeug- und Verkehrstechnik.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Struktur des Fahrer-Fahrzeug-Umweltsystems nach Johannsen (2006).....	4
Abbildung 2-2	Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (Donges, 1999).....	5
Abbildung 2-3	Drei Ebenen der Fahraufgabe und die Zuordnung zu den Handlungsebenen (nach Vollrath & Schießl, 2004).....	6
Abbildung 2-4	„Assistenzwürfel“ von Wandke, Wetzenstein und Polhkehn (2005).....	8
Abbildung 2-5	Schema zur Erläuterung der Querablage.....	11
Abbildung 2-6	Illustration der Warn-Bereiche der Querführungsassistenten innerhalb der Fahrspur.....	11
Abbildung 2-7	Technology Acceptance Model von Davis (1989, Abbildung nach Werneke 2006)	17
Abbildung 2-8	Das der Untersuchung zugrunde liegende Akzeptanzmodell	18
Abbildung 2-9	Das der Untersuchung zugrunde liegendes Bedingungsmodell.	21
Abbildung 3-1	Versuchstrecke.....	25
Abbildung 3-2	Messfahrzeug ViewCar® des DLR.....	26
Abbildung 3-3	Das HealthLab.....	30
Abbildung 3-4	Schematische Darstellung eines EKG mit Interbeat-Intervall.....	31
Abbildung 3-5	Beispiele für die Skalierung der geschlossenen Fragen im Beanspruchungsfragebogen.....	32
Abbildung 3-6	Beispiele für die Skalierung der geschlossenen Fragen im Akzeptanzfragebogen	34
Abbildung 3-7	Skalierung der geschlossenen Fragen im Fragebogen zum Vergleich der Assistenten.	35
Abbildung 3-8	Übersicht des Versuchsablaufs einer Testfahrt.....	39
Abbildung 4-1	Mittelwerte und Standardabweichungen der Häufigkeiten der Warnungen nach Bedingung und Fahrtabschnitt sortiert.....	45
Abbildung 4-2	Häufigkeiten der Warnungen für die einzelnen Probanden.....	46
Abbildung 4-3	Mittelwerte und Standardabweichungen der Anteile inaktiver Phasen nach Bedingung und Fahrtabschnitt sortiert	47
Abbildung 4-4	Anteil inaktiver Phasen für die einzelnen Probanden.....	48
Abbildung 4-5	Mittelwerte und Standardabweichungen der Geschwindigkeiten nach Fahrtabschnitt sortiert	49
Abbildung 4-6	Mittelwerte und Standardabweichungen der Standardabweichung der Geschwindigkeit nach Bedingungen sortiert.....	49
Abbildung 4-7	Mittelwerte und Standardabweichungen der Standardabweichung der Querablage nach Bedingungen und Fahrtabschnitt sortiert	51

Abbildung 4-8	Mittelwerte und Standardabweichungen der Standardabweichung der Querablage nach Fahrtabschnitt und Bedingungen sortiert	51
Abbildung 4-9	Mittelwerte der Standardabweichung der Querablage nach Bedingung, Fahrtabschnitt und Proband sortiert	52
Abbildung 4-10	Mittelwerte und Standardabweichung der Inter-Beat-Intervalle nach Bedingung und Fahrtabschnitt sortiert	54
Abbildung 4-11	Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiven Beanspruchung der Probanden	55
Abbildung 4-12	Mittelwerte und Standardabweichungen der subjektiven Beanspruchung der Probanden durch die Assistenten nach der Fahrt.....	56
Abbildung 4-13	Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertung der Frage: Wie finden Sie die hinter dieser Funktionalität stehende Idee?	58
Abbildung 4-14	Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertung der Frage: Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?	59
Abbildung 4-15	Mittelwerte und Standardabweichungen der Frage: Wie häufig haben Sie den Assistenten für Ihre Spurhaltung genutzt?.....	59
Abbildung 4-16	Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Gestaltung.....	60
Abbildung 4-17	Mittelwerte und Standardabweichungen der Frage: Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen? ...	61
Abbildung 4-18	Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Benutzerfreundlichkeit	62
Abbildung 4-19	Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Nützlichkeit.....	63
Abbildung 4-20	Mittelwerte und Standardabweichungen der Skala Einstellung	64
Abbildung 4-21	Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Funktion	65
Abbildung 4-22	Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Gestaltung	65
Abbildung 4-23	Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Benutzerfreundlichkeit.	66
Abbildung 4-24	Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung der Nützlichkeit	67
Abbildung 4-25	Häufigkeiten der vergebenen Plätze für die jeweiligen Assistenten in Bezug auf die Bewertung insgesamt	67
Abbildung 4-26	Häufigkeiten der Nennung der Assistenzsysteme als Antwort auf die Frage: „Welches der Assistenzsysteme würden Sie für einen Kauf	

	in Erwägung ziehen, wenn alle drei den gleichen Preis im Markt hätten?	68
Abbildung 4-27	Boxplots der Antworten auf die Frage: „Welchen Preis wären Sie bereit, für ein solches Assistenzsystem auszugeben?“	69
Abbildung 4-28	Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertung des Befindens	71
Abbildung 4-29	Mittelwerte und Standardabweichungen der Anteile richtiger Merkmalsnennungen für die drei Assistenten	73
Abbildung 5-1	Korrelation der Präzision der Spurhaltung (Standardabweichung der prozentualen Querabweichung) zwischen der Kontrollbedingung und den drei Assistenzvarianten	80

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Klassifikation von Fahrerassistenzsystemen nach Fahraufgabe und Fahrerunterstützungsgrad (Ehmanns et al., 2000)	7
Tabelle 2-2	Übersicht über die auszugebenden Warnungen der drei Spurhalteassistenten	12
Tabelle 3-1	Übersicht der realisierten Reihenfolgen mit Zuordnung zu den Probanden	28
Tabelle 3-2	Beispiel-Items aus den Fragebögen für die einzelnen Assistenten....	33
Tabelle 4-1	Kennwerte der Friedman-Tests auf Unterschiede in den Häufigkeiten der Warnungen zwischen den Bedingungen	45
Tabelle 4-2	Statistiken für den Vergleich der Querführungsleistung zwischen adaptivem und 1-stufigem Assistenten	53
Tabelle 4-3	Kennwerte der Friedman-Tests auf Unterschiede in den vergebenen Plätzen	64
Tabelle 4-4	Kennwerte der einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben für die Hypothesenprüfung in Bezug auf die Akzeptanz des adaptiven Assistenten im Vergleich zum 2-stufigen Assistenten	70
Tabelle 4-5	Kennwerte der Wilcoxon-Rangsummen-Tests für abhängige Stichproben für die Hypothesenprüfung in Bezug auf die Akzeptanz der Assistenzsysteme	70
Tabelle 4-6	Richtig genannte Merkmale der Assistenten.....	72
Tabelle 4-7	Übersicht über die Wirkungen der Assistenzsysteme	75

A Untersuchungsmaterial

A.1 Instruktionen

A.1.1 Instruktion vor der ersten Testfahrt

**Sehr geehrte Testfahrerin,
sehr geehrter Testfahrer,**

Ich freue mich, Sie zu unserer Untersuchung zu begrüßen und möchte mich für Ihre Teilnahme herzlich bedanken.

Unfallstudien zeigen, dass ein Teil der schweren Unfälle dadurch entsteht, dass Fahrer unbeabsichtigt die Spur verlassen, weil sie z.B. un aufmerksam sind. Jetzt gibt es technische Systeme, die die Spur erkennen können und den Fahrer warnen, wenn er zu nahe an den Spurrand kommt. Man hofft, damit diese Unfälle zu vermeiden. Bisher ist allerdings unklar, wie Fahrer mit diesen Systemen zurechtkommen, ob sie angenehm sind und das Fahren sicherer machen. Deswegen führe ich eine Untersuchung mit verschiedenen Systemen durch, die die Spurhaltung unterstützen sollen.

Im ViewCar sind drei unterschiedliche Systeme zur Unterstützung der Spurhaltung implementiert. Sie sind nur zu Forschungszwecken gedacht und stellen keine Systeme in Serienreife dar.

In meiner Diplomarbeit möchte ich diese verschiedenen Assistenzsysteme zur Spurhaltung vergleichen. Dazu werden Sie bei den folgenden Testfahrten die drei Assistenzsysteme kennen lernen, die Sie jeweils akustisch warnen, wenn Sie die Spur zu verlassen drohen. Eine der Testfahrten wird ohne Assistenzsystem stattfinden, um Daten über Ihr normales Fahren aufzunehmen.

Selbstverständlich werden Ihre in der Untersuchung erfassten persönlichen Daten anonym und vertraulich behandelt.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte jederzeit an Ihren Versuchsleiter.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme und Viel Spaß!

A.1.2 Instruktion für die Testfahrten mit Assistenzsystem

**Sehr geehrte Testfahlerin,
sehr geehrter Testfahrer,**

Ich freue mich, Sie zu unserer heutigen Testfahrt zu begrüßen und möchte mich für Ihre Teilnahme noch einmal herzlich bedanken.

Sie werden jetzt ca. 2 Stunden auf der Autobahn fahren. Dabei werden Sie nach ca. einer viertel Stunde eine kurze Pause machen, in der eine Befragung stattfindet. Auch am Ende der Fahrt werden wir Sie zur Fahrt befragen.

Bei dieser Fahrt wird Sie ein Assistenzsystem bei der Spurhaltung unterstützen. In der ersten viertel Stunde sollen Sie das Assistenzsystem kennen lernen d.h. Sie können die Assistenz ausgiebig testen und ausprobieren. In der Pause nach dieser Phase werden wir Sie zur Assistenz befragen. Danach fahren Sie bitte ganz normal weiter. In der Befragung am Ende der Fahrt möchte ich Sie bitten, mir Ihre persönliche Meinung und Einstellung zum Assistenzsystem in einem Fragebogen mitzuteilen und zu bewerten, wie anstrengend Sie die Fahrt fanden.

Bitte stellen Sie nun den Fahrersitz so ein, dass Sie bequem sitzen und die Pedale gut erreichen können. Bitte stellen Sie auch die Spiegel ein, so dass Sie gut sehen können.

Sorgen Sie bitte für eine sichere Fahrt. Halten Sie sich an Verkehrsregeln und Geschwindigkeitsbegrenzungen. Bitte denken Sie daran, bei jedem Spurwechsel zu blinken. Bitte sprechen Sie nicht während der Fahrt.

Wir bitten Sie, während der gesamten Untersuchung keinen Tee oder Kaffee zu sich zu nehmen, um den Versuchsverlauf und die Erhebung physiologischer Daten nicht durch äußere Einflüsse zu stören.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte jederzeit an Ihren Versuchsleiter.

Eine angenehme Fahrt und viel Vergnügen!

A.1.3 Instruktion für die Fahrten ohne Assistenz

**Sehr geehrte Testfahlerin,
sehr geehrter Testfahrer,**

Ich freue mich, Sie zu unserer heutigen Testfahrt zu begrüßen und möchte mich für Ihre Teilnahme noch einmal herzlich bedanken.

Sie werden jetzt ca. 2 Stunden auf der Autobahn fahren. Dabei werden Sie nach ca. einer viertel Stunde eine kurze Pause machen, in der eine Befragung stattfindet. Am Ende der Fahrt werden wir Sie ebenfalls zur Fahrt befragen.

Bei dieser Fahrt wird Sie kein Assistenzsystem bei der Spurhaltung unterstützen. Fahren Sie bitte ganz normal. In der Befragung am Ende der Fahrt möchte ich Sie bitten, zu bewerten, wie anstrengend Sie die Fahrt fanden.

Bitte stellen Sie nun den Fahrersitz so ein, dass Sie bequem sitzen und die Pedale gut erreichen können. Bitte stellen Sie auch die Spiegel ein, so dass Sie gut sehen können.

Sorgen Sie bitte für eine sichere Fahrt. Halten Sie sich an Verkehrsregeln und Geschwindigkeitsbegrenzungen. Bitte denken Sie daran, bei jedem Spurwechsel zu blinken. Bitte sprechen Sie nicht während der Fahrt.

Wir bitten Sie, während der gesamten Untersuchung keinen Tee oder Kaffee zu sich zu nehmen, um den Versuchsverlauf und die Erhebung physiologischer Daten nicht durch äußere Einflüsse zu stören.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte jederzeit an Ihren Versuchsleiter.

Eine angenehme Fahrt und viel Vergnügen!

A.2 Fragebögen

A.2.1 Akzeptanzfragebögen

A.2.1.1 Fragebogen zur Beurteilung des adaptiven Assistenten

Beim Fahren ist es unter anderem Ihre Aufgabe, die Spur zu halten. Dabei sollte Sie bei der eben gemachten Fahrt der Assistent unterstützen. Mit den folgenden Fragen bitte ich Sie um eine Bewertung des Assistenten.

Der Fragebogen ist zunächst in die Bewertung der vier Teilbereiche „Funktionalität“, „Gestaltung“, „Benutzerfreundlichkeit“ und „Nützlichkeit“ gegliedert. Am Ende, im fünften Abschnitt, möchte ich gern Ihre persönliche Meinung zum Assistenten insgesamt erfahren.

Die abgebildeten Skalen sind in zwei Stufen zu verstehen. **Wählen Sie bitte bei jeder Frage zunächst eine der Hauptkategorien und kreuzen Sie dann eine der drei dazugehörigen Zahlen an, die am ehesten beschreibt, wie Sie die Assistenz fanden.**

Für unsere Auswertung ist es sehr wichtig, dass Sie ehrlich antworten und keine Frage auslassen.

A Bewertung der Funktionalität

Im ersten Teil des Fragebogens geht es um die Idee, **wie Sie beim Fahren in der Spurhaltung unterstützt werden können.**

Der Assistent, der Sie eben unterstützt hat, funktioniert nach folgendem Prinzip:

Er warnt Sie immer, wenn Sie sehr weit von der Fahrspurmitte abweichen. Dabei erhalten Sie jeweils auf der Seite, auf der Sie die Spur verlassen, eine akustische Warnung. Der Warn-Ton klingt hoch und wird in schneller Abfolge wiederholt. Ergänzend dazu ermittelt der Assistent, wie aktiv Sie in die Fahrzeugführung eingreifen. Sind Sie eine längere Zeit nicht aktiv, warnt Sie der Assistent zusätzlich bei einer geringeren Abweichung von der Fahrspurmitte. Der hierbei gegebene Warn-Ton ist tiefer und hat längere Pausen. **Wir möchten gern wissen, wie Sie diese Funktionalität finden.**

Bitte beantworten Sie die Fragen in diesem Bereich **unabhängig von der gestalterischen Umsetzung** der Assistenz. Dazu werden später Fragen gestellt.

1. Wie finden Sie die hinter dieser Funktionalität stehende Idee?

sehr schlecht			schlecht			Mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Konkreter:

2. Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?

sehr schlecht			schlecht			Mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie finden Sie die Idee, abhängig von Ihrer Aktivität beim Fahren unterschiedlich früh gewarnt zu werden?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie häufig haben Sie die Funktionen des Assistenten für Ihre Spurhaltung genutzt?

sehr selten			selten			mittel			oft			sehr oft		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

B Bewertung der Gestaltung

Dieser Bereich betrifft das Design des Assistenten. Bitte bewerten Sie also, wie Sie die gestalterische Umsetzung der oben beschriebenen Idee des Assistenten finden.

1. Wie finden Sie es, dass die Warnungen akustisch dargeboten werden?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Bitte bewerten Sie die akustische Gestaltung des Assistenten.

a Wie gefällt Ihnen die Art der Töne?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

b Wie gefällt Ihnen die Lautstärke der Töne?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Der Assistent ermittelt, wie aktiv Sie in die Fahrzeugführung eingreifen. Bitte bewerten Sie diese Ermittlung Ihrer Aktivität.

a Wie gut erkennt der Assistent Ihre Aktivität?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Kann ich nicht beurteilen

b Der Assistent hält sie ...

viel zu früh			zu früh			genau richtig			zu spät			viel zu spät		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

... für inaktiv.

Kann ich nicht beurteilen

4. Beim Autofahren strömt ständig eine große Menge Informationen auf Sie ein. Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?

viel zu wenig			zu wenig			genau richtig			zu viel			viel zu viel		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie gefallen Ihnen die Zeitpunkte, zu denen der Assistent aktiv wird?

a Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent anfängt zu warnen (tiefer Ton)?

viel zu früh			zu früh			genau richtig			zu spät			viel zu spät		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

b Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent in die zweite Warnstufe wechselt (hoher Ton)?

viel zu früh			zu früh			genau richtig			zu spät			viel zu spät		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Die Warnung hatte zwei Ausprägungen, hoher und niedriger Ton. Wenn Sie die Wahl hätten, wie viele Ausprägungen der Warnung würden Sie sich wünschen?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

Keine Warnung

Abschließend:

7. Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

8. Was ist an der Gestaltung verbesserungsbedürftig? Wie könnte man es besser machen?

C Bewertung der Benutzerfreundlichkeit

Hier interessiert mich, wie gut Sie mit dem Assistenzsystem umgehen können.

1. Bitte bewerten Sie, wie schnell Sie mit diesem Assistenten klargekommen sind.

Den Umgang mit dem Assistenten zu erlernen ist ...

sehr leicht			leicht			mittel			schwer			sehr schwer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?

sehr leicht			leicht			mittel			schwer			sehr schwer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie klar und verständlich ist das, was der Assistent tut?

sehr schlecht verständlich			schlecht verständlich			mittel			gut verständlich			sehr gut verständlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Bitte bewerten Sie, wie gut Sie die Warnungen unterscheiden konnten.

a Die Unterscheidung zwischen den Warnstufen (tiefer Ton, lange Pausen oder hoher Ton, kurze Pausen) war ...

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

b Die Unterscheidung zwischen den Richtungen (rechts oder links) war ...

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie verständlich ist, was Sie bei einer Warnung tun müssen?

sehr schlecht verständlich			schlecht verständlich			mittel			gut verständlich			sehr gut verständlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Wie schwierig finden Sie es, auf den Assistenten zu reagieren?

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

7. Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit insgesamt?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

D Bewertung der Nützlichkeit

In diesem Bereich geht es darum, wie nützlich der Assistent mit seiner Idee und der konkreten Umsetzung, die Sie gerade erlebt haben, für Sie und Ihr Fahren ist.

1. Eine wesentliche Leistung beim Fahren besteht darin, die Spur zu halten. Wie hat sich diese Leistung durch den Assistenten verändert?

stark verschlechtert			verschlechtert			gleich geblieben			verbessert			stark verbessert		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Eine gute Leistung zu erbringen kann anstrengend sein. Ist die Spurhaltung durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden?

viel schwieriger			schwieriger			gleich geblieben			einfacher			viel einfacher		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie sehr hat Sie der Assistent bei der Fahrt abgelenkt?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie hat der Assistent Ihr Sicherheitsgefühl beim Fahren verändert? Sie fühlen sich ...

viel unsicherer			unsicherer			genauso sicher			sicherer			viel sicherer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

... als beim Fahren ohne den Assistenten.

5. Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert? Sie hatten...

viel weniger			etwas weniger			genau so viel			etwas mehr			viel mehr		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

...Kontrolle über das Fahren als ohne Assistenten.

6. Wie sehr hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie sonst fahren?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

7. Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

8. Wie nützlich ist der Assistent insgesamt, um gut zu fahren?

sehr wenig			wenig nützlich			mittel			nützlich			sehr nützlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

E Persönliche Meinung zum Assistenzsystem

In diesem Bereich geht es um Ihre persönliche Meinung gegenüber dem Assistenzsystem insgesamt.

1. Wie angenehm finden Sie es, mit dem Assistenten zu fahren?

sehr unangenehm			unangenehm			neutral			angenehm			sehr angenehm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie gerne möchten Sie ein Auto mit dem Assistenten fahren?

gar nicht	sehr ungern			ungern			mittel			gerne			sehr gerne		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie viel Spaß macht es Ihnen, mit dem Assistenten zu fahren?

sehr wenig			wenig			mittel			viel			sehr viel		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

4. Wie finden Sie insgesamt die Idee, einen solchen Assistenten zu benutzen?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

A.2.1.2 Fragebogen zur Beurteilung des 2-stufigen Assistenten

Beim Fahren ist es unter anderem Ihre Aufgabe, die Spur zu halten. Dabei sollte Sie bei der eben gemachten Fahrt der Assistent unterstützen. Mit den folgenden Fragen bitte ich Sie um eine Bewertung des Assistenten.

Der Fragebogen ist zunächst in die Bewertung der vier Teilbereiche „Funktionalität“, „Gestaltung“, „Benutzerfreundlichkeit“ und „Nützlichkeit“ gegliedert. Am Ende, im fünften Abschnitt, möchte ich gern Ihre persönliche Meinung zum Assistenten insgesamt erfahren.

Die abgebildeten Skalen sind in zwei Stufen zu verstehen. **Wählen Sie bitte bei jeder Frage zunächst eine der Hauptkategorien und kreuzen Sie dann eine der drei dazugehörigen Zahlen an, die am ehesten beschreibt, wie Sie die Assistenz fanden.**

Für unsere Auswertung ist es sehr wichtig, dass Sie ehrlich antworten und keine Frage auslassen.

A Bewertung der Funktionalität

Im ersten Teil des Fragebogens geht es um die Idee, **wie Sie beim Fahren in der Spurhaltung unterstützt werden können.**

Der Assistent, der Sie eben unterstützt hat, funktioniert nach folgendem Prinzip: Er warnt Sie immer, wenn Sie sehr weit von der Fahrspurmitte abweichen. Dabei erhalten Sie jeweils auf der Seite, auf der Sie die Spur zu verlassen drohen eine akustische Warnung. Der Warn-Ton klingt hoch und wird in schneller Abfolge wiederholt. Zusätzlich warnt Sie der Assistent schon bei einer geringeren Abweichung von der Fahrspurmitte. Der hierbei gegebene Warn-Ton ist tiefer und hat längere Pausen. **Wir möchten gern wissen, wie Sie diese Funktionalität finden.**

Bitte beantworten Sie die Fragen in diesem Bereich **unabhängig von der gestalterischen Umsetzung** der Assistenz. Dazu werden später Fragen gestellt.

2. Wie finden Sie die hinter dieser Funktionalität stehende Idee?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Konkreter:

2. Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie häufig haben Sie die Funktionen des Assistenten für Ihre Spurhaltung genutzt?

sehr selten			selten			mittel			oft			sehr oft		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

B Bewertung der Gestaltung

Dieser Bereich betrifft das Design des Assistenten. Bitte bewerten Sie also, wie Sie die gestalterische Umsetzung der oben beschriebenen Idee des Assistenten finden.

1. Wie finden Sie es, dass die Warnungen akustisch dargeboten werden?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Bitte bewerten Sie die akustische Gestaltung des Assistenten.

- a Wie gefällt Ihnen die Art der Töne?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

b Wie gefällt Ihnen die Lautstärke der Töne?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Beim Autofahren strömt ständig eine große Menge Informationen auf Sie ein. Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?

viel zu wenig			zu wenig			genau richtig			zu viel			viel zu viel		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie gefallen Ihnen die Zeitpunkte, zu denen der Assistent aktiv wird?

a Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent anfängt zu warnen (tiefer Ton)?

viel zu früh			zu früh			genau richtig			zu spät			viel zu spät		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

b Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent in die zweite Warnstufe wechselt (hoher Ton)?

viel zu früh			zu früh			genau richtig			zu spät			viel zu spät		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Die Warnung hatte zwei Ausprägungen, hoher und niedriger Ton. Wenn Sie die Wahl hätten, wie viele Ausprägungen der Warnung würden Sie sich wünschen?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

Keine Warnung

Abschließend:

7. Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

8. Was ist an der Gestaltung verbesserungsbedürftig? Wie könnte man es besser machen?

C Bewertung der Benutzerfreundlichkeit

Hier interessiert mich, wie gut Sie mit dem Assistenzsystem umgehen können.

1. Bitte bewerten Sie, wie schnell Sie mit diesem Assistenten klargekommen sind.

Den Umgang mit dem Assistenten zu erlernen ist ...

sehr leicht			leicht			mittel			schwer			sehr schwer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?

sehr leicht			leicht			mittel			schwer			sehr schwer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie klar und verständlich ist das, was der Assistent tut?

sehr schlecht verständlich			schlecht verständlich			mittel			gut verständlich			sehr gut verständlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Bitte bewerten Sie, wie gut Sie die Warnungen unterscheiden konnten.

a Die Unterscheidung zwischen den Warnstufen (tiefer Ton, lange Pausen oder hoher Ton, kurze Pausen) war ...

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

b Die Unterscheidung zwischen den Richtungen (rechts oder links) war ...

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie verständlich ist, was Sie bei einer Warnung tun müssen?

sehr schlecht verständlich			schlecht verständlich			mittel			gut verständlich			sehr gut verständlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Wie schwierig finden Sie es, auf den Assistenten zu reagieren?

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

7. Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit insgesamt?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

D Bewertung der Nützlichkeit

In diesem Bereich geht es darum, wie nützlich der Assistent mit seiner Idee und der konkreten Umsetzung, die Sie gerade erlebt haben, für Sie und Ihr Fahren ist.

1. Eine wesentliche Leistung beim Fahren besteht darin, die Spur zu halten. Wie hat sich diese Leistung durch den Assistenten verändert?

stark verschlechtert			verschlechtert			gleich geblieben			verbessert			stark verbessert		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Eine gute Leistung zu erbringen kann anstrengend sein. Ist die Spurhaltung durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden?

viel schwieriger			schwieriger			gleich geblieben			einfacher			viel einfacher		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie sehr hat Sie der Assistent bei der Fahrt abgelenkt?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie hat der Assistent Ihr Sicherheitsgefühl beim Fahren verändert? Sie fühlten sich ...

viel unsicherer			unsicherer			genauso sicher			sicherer			viel sicherer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

... als beim Fahren ohne den Assistenten.

5. Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert? Sie hatten...

viel weniger			etwas weniger			genau so viel			etwas mehr			viel mehr		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

...Kontrolle über das Fahren als ohne Assistenten.

6. Wie sehr hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie sonst fahren?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

7. Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

8. Wie nützlich ist der Assistent insgesamt, um gut zu fahren?

sehr wenig			wenig nützlich			mittel			nützlich			sehr nützlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

E Persönliche Meinung zum Assistenzsystem

In diesem Bereich geht es um Ihre persönliche Meinung gegenüber dem Assistenzsystem insgesamt.

1. Wie angenehm finden Sie es, mit dem Assistenten zu fahren?

sehr unangenehm			unangenehm			neutral			angenehm			sehr angenehm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie gerne möchten Sie ein Auto mit dem Assistenten fahren?

gar nicht	sehr ungern			ungern			mittel			gerne			sehr gerne		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie viel Spaß macht es Ihnen, mit dem Assistenten zu fahren?

sehr wenig			wenig			mittel			viel			sehr viel		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

4. Wie finden Sie insgesamt die Idee, einen solchen Assistenten zu benutzen?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

A.2.1.3 Fragebogen zur Beurteilung des 1-stufigen Assistenten

Beim Fahren ist es unter anderem Ihre Aufgabe, die Spur zu halten. Dabei sollte Sie bei der eben gemachten Fahrt der Assistent unterstützen. Mit den folgenden Fragen bitte ich Sie um eine Bewertung des Assistenten.

Der Fragebogen ist zunächst in die Bewertung der vier Teilbereiche „Funktionalität“, „Gestaltung“, „Benutzerfreundlichkeit“ und „Nützlichkeit“ gegliedert. Am Ende, im fünften Abschnitt, möchte ich gern Ihre persönliche Meinung zum Assistenten insgesamt erfahren.

Die abgebildeten Skalen sind in zwei Stufen zu verstehen. **Wählen Sie bitte bei jeder Frage zunächst eine der Hauptkategorien und kreuzen Sie dann eine der drei dazugehörigen Zahlen an, die am ehesten beschreibt, wie Sie die Assistenz fanden.**

Für unsere Auswertung ist es sehr wichtig, dass Sie ehrlich antworten und keine Frage auslassen.

A Bewertung der Funktionalität

Im ersten Teil des Fragebogens geht es um die Idee, **wie Sie beim Fahren in der Spurhaltung unterstützt werden können.**

Der Assistent, der Sie eben unterstützt hat, funktioniert nach folgendem Prinzip: Er warnt Sie immer, wenn Sie sehr weit von der Fahrspurmitte abweichen. Dabei erhalten Sie jeweils auf der Seite, auf der Sie die Spur zu verlassen drohen eine akustische Warnung. Der Warn-Ton klingt hoch und wird in schneller Abfolge wiederholt. **Wir möchten gern wissen, wie Sie diese Funktionalität finden.**

Bitte beantworten Sie die Fragen in diesem Bereich **unabhängig von der gestalterischen Umsetzung** der Assistenz. Dazu werden später Fragen gestellt.

3. Wie finden Sie die hinter dieser Funktionalität stehende Idee?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Konkreter:

2. Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie häufig haben Sie die Funktionen des Assistenten für Ihre Spurhaltung genutzt?

sehr selten			selten			mittel			oft			sehr oft		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

B Bewertung der Gestaltung

Dieser Bereich betrifft das Design des Assistenten. Bitte bewerten Sie also, wie Sie die gestalterische Umsetzung der oben beschriebenen Idee des Assistenten finden.

1. Wie finden Sie es, dass die Warnungen akustisch dargeboten werden?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Bitte bewerten Sie die akustische Gestaltung des Assistenten.

- a Wie gefällt Ihnen die Art des Tones?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

- b Wie gefällt Ihnen die Lautstärke des Tones?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Beim Autofahren strömt ständig eine große Menge Informationen auf Sie ein. Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?

viel zu wenig			zu wenig			genau richtig			zu viel			viel zu viel		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie gefallen Ihnen die Zeitpunkte, zu denen der Assistent aktiv wird?
- b Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent anfängt zu warnen (hoher Ton)?

viel zu früh			zu früh			genau richtig			zu spät			viel zu spät		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Die Warnung hatte eine Ausprägung, den hohen Ton. Wie viele Ausprägungen hätten Sie gerne?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

Keine Warnung

Abschließend:

7. Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

8. Was ist an der Gestaltung verbesserungsbedürftig? Wie könnte man es besser machen?

C Bewertung der Benutzerfreundlichkeit

Hier interessiert mich, wie gut Sie mit dem Assistenzsystem umgehen können.

1. Bitte bewerten Sie, wie schnell Sie mit diesem Assistenten klargekommen sind.

Den Umgang mit dem Assistenten zu erlernen ist ...

sehr leicht			leicht			mittel			schwer			sehr schwer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie schwierig finden Sie es, den Assistenten zu benutzen?

sehr leicht			leicht			mittel			schwer			sehr schwer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie klar und verständlich ist das, was der Assistent tut?

sehr schlecht verständlich			schlecht verständlich			mittel			gut verständlich			sehr gut verständlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Bitte bewerten Sie, wie gut Sie die Warnungen unterscheiden konnten.

b Die Unterscheidung zwischen den Richtungen (rechts oder links) war

...

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie verständlich ist, was Sie bei einer Warnung tun müssen?

sehr schlecht verständlich			schlecht verständlich			mittel			gut verständlich			sehr gut verständlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Wie schwierig finden Sie es, auf den Assistenten zu reagieren?

sehr schwierig			schwierig			mittel			einfach			sehr einfach		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

7. Wie bewerten Sie die Benutzerfreundlichkeit insgesamt?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

D Bewertung der Nützlichkeit

In diesem Bereich geht es darum, wie nützlich der Assistent mit seiner Idee und der konkreten Umsetzung, die Sie gerade erlebt haben, für Sie und Ihr Fahren ist.

1. Eine wesentliche Leistung beim Fahren besteht darin, die Spur zu halten. Wie hat sich diese Leistung durch den Assistenten verändert?

stark verschlechtert			verschlechtert			gleich geblieben			verbessert			stark verbessert		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Eine gute Leistung zu erbringen kann anstrengend sein. Ist die Spurhaltung durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden?

viel schwieriger			schwieriger			gleich geblieben			einfacher			viel einfacher		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie sehr hat Sie der Assistent bei der Fahrt abgelenkt?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie hat der Assistent Ihr Sicherheitsgefühl beim Fahren verändert? Sie fühlten sich ...

viel unsicherer			unsicherer			genauso sicher			sicherer			viel sicherer		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

... als beim Fahren ohne den Assistenten.

5. Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert? Sie hatten...

viel weniger			etwas weniger			genau so viel			etwas mehr			viel mehr		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

...Kontrolle über das Fahren als ohne Assistenten.

6. Wie sehr hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie sonst fahren?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

7. Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

8. Wie nützlich ist der Assistent insgesamt, um gut zu fahren?

sehr wenig			wenig nützlich			mittel			nützlich			sehr nützlich		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

E Persönliche Meinung zum Assistenzsystem

In diesem Bereich geht es um Ihre persönliche Meinung gegenüber dem Assistenzsystem insgesamt.

1. Wie angenehm finden Sie es, mit dem Assistenten zu fahren?

sehr unangenehm			unangenehm			neutral			angenehm			sehr angenehm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie gerne möchten Sie ein Auto mit dem Assistenten fahren?

gar nicht	sehr ungern			ungern			mittel			gerne			sehr gerne		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie viel Spaß macht es Ihnen, mit dem Assistenten zu fahren?

sehr wenig			wenig			mittel			viel			sehr viel		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Abschließend:

4. Wie finden Sie insgesamt die Idee, einen solchen Assistenten zu benutzen?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

A.2.2 Fragebogen zum Vergleich der Assistenten

In den letzten Tagen sind Sie hier bei uns drei Assistenten zur Spurhaltung gefahren.

Zum einen war dies ein „Adaptiver Assistent“, welcher Sie immer mit einem hohen, schnell wiederholten Warn-Ton gewarnt hat, wenn Sie sehr weit von der Fahrspurmitte abgewichen sind. Ergänzend dazu hat der Assistent ermittelt, wie aktiv Sie in die Fahrzeugführung eingreifen. Waren Sie eine längere Zeit nicht aktiv, hat Sie der Assistent zusätzlich bei einer geringeren Abweichung von der Fahrspurmitte mit einem tieferen Warn-Ton mit längeren Pausen gewarnt.

Weiterhin gab es einen Assistenten „2-stufiger Assistent“, der Sie ebenfalls immer mit einem hohen, schnell wiederholten Warn-Ton gewarnt hat, wenn Sie sehr weit von der Fahrspurmitte abgewichen sind. Zusätzlich hat Sie dieser Assistent bei einer geringeren Abweichung von der Fahrspurmitte mit einem tieferen Warn-Ton mit längeren Pausen gewarnt.

Als Drittes haben Sie den Assistenten „1-stufiger Assistent“ kennen gelernt. Dieser hat Sie immer mit einem hohen, schnell wiederholten Warn-Ton gewarnt, wenn Sie sehr weit von der Fahrspurmitte abgewichen sind.

Bitte vergleichen Sie in den folgenden Fragen die drei von Ihnen gefahrenen Assistenten.

Für die Beantwortung der Fragen geben Sie bitte den einzelnen Assistenzsystemen **die Plätze von 1 bis 3, wobei Platz 1 die beste und Platz 3 die schlechteste Bewertung darstellt. Jeder Platz darf nur ein Mal vergeben werden.**

Für unsere Auswertung ist es sehr wichtig, dass Sie ehrlich antworten und keine Frage auslassen.

1. Welches der drei Assistenzsysteme bietet die besten **Funktionen**, um die Spur zu halten?

Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

2. Bei welchem Assistenzsystem hat Ihnen die **Gestaltung** am besten gefallen?

Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

3. Welches der drei Assistenzsysteme hat die beste **Benutzerfreundlichkeit**?

Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

4. Welches der drei Assistenzsysteme war für Sie für die Spurhaltung am **nützlichsten**?

Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

5. Welches der drei Assistenzsysteme hat Ihnen **insgesamt** am besten gefallen?

Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

6. Welches der drei Assistenzsysteme würden Sie für einen Kauf in Erwägung ziehen, wenn alle drei den gleichen Preis im Markt hätten? **Bitte kreuzen Sie das von Ihnen gewählte Assistenzsystem an.**

Keines davon	Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

7. Welchen Preis wären Sie bereit, für ein solches Assistenzsystem auszugeben? Bitte schreiben Sie die **Euro-Angabe** unter jedes Assistenzsystem.

Adaptiver Assistent	2-stufiger Assistent	1-stufiger Assistent

A.3 Fragebögen zur Beanspruchung

A.3.1 Fragebogen zur Beanspruchung bei Fahrten mit Assistenz

Im folgenden Fragebogen finden Sie Fragen, die sich auf unterschiedliche Aspekte Ihrer Beanspruchung während der Fahrt beziehen. Bitte schätzen Sie zuerst ein, wie sehr Sie durch die **Fahrt insgesamt** beansprucht waren. Danach beurteilen Sie bitte den Einfluss des Assistenzsystems auf Ihre Beanspruchung.

Die abgebildeten Skalen sind in zwei Stufen zu verstehen. **Wählen Sie bitte bei jeder Frage zunächst eine der Hauptkategorien und kreuzen Sie dann eine der drei dazugehörigen Zahlen an, die am ehesten beschreibt, wie Sie die Fahrt fanden.**

Für unsere Auswertung ist es sehr wichtig, dass Sie ehrlich antworten und keine Frage auslassen.

A Beanspruchung insgesamt

1. Wie anstrengend war die Fahrt insgesamt?

sehr wenig			wenig			mittel			anstrengend			sehr anstrengend		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie hoch waren die geistigen Anforderungen insgesamt?

sehr niedrig			niedrig			mittel			hoch			sehr hoch		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen insgesamt?

sehr niedrig			niedrig			mittel			hoch			sehr hoch		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie verunsichert, entmutigt, gereizt oder verärgert waren Sie insgesamt?

sehr wenig			wenig			mittel			Stark			sehr stark		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie hoch war das Tempo, mit dem Sie die Bedienung des Fahrzeugs ausführen mussten?

sehr niedrig			niedrig			mittel			hoch			sehr hoch		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Wie erfolgreich haben Sie die Aufgabe „Auto Fahren“ Ihrer Ansicht nach durchgeführt?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

7. Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um diese Leistung zu erreichen?

sehr wenig			wenig			mittel			Stark			sehr stark		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

8. Was war anstrengend bei der Fahrt?

B Beanspruchung durch den Assistenten

4. War die Fahrt wegen des Assistenten mehr oder weniger anstrengend?

viel weniger anstrengend			weniger anstrengend			gleich			anstrengender			viel anstrengender		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Mussten Sie wegen des Assistenten mehr oder weniger aufpassen?

viel weniger			Weniger			gleich viel			Mehr			Viel mehr		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie verunsichert, entmutigt, gereizt oder verärgert waren Sie durch den Assistenten?

sehr wenig			wenig			mittel			stark			sehr stark		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

A.3.2 Fragebogen zur Beanspruchung bei Fahrten ohne Assistenz

Im folgenden Fragebogen finden Sie Fragen, die sich auf unterschiedliche Aspekte Ihrer Beanspruchung während der Fahrt beziehen.

Die abgebildeten Skalen sind in zwei Stufen zu verstehen. **Wählen Sie bitte bei jeder Frage zunächst eine der Hauptkategorien und kreuzen Sie dann eine der drei dazugehörigen Zahlen an, die am ehesten beschreibt, wie Sie die Fahrt fanden.**

Für unsere Auswertung ist es sehr wichtig, dass Sie ehrlich antworten und keine Frage auslassen.

Beanspruchung während der Fahrt

1. Wie anstrengend war die Fahrt insgesamt?

sehr wenig			wenig			mittel			anstrengend			sehr anstrengend		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

2. Wie hoch waren die geistigen Anforderungen während der Fahrt?

sehr niedrig			niedrig			mittel			hoch			sehr hoch		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

3. Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen während der Fahrt?

sehr niedrig			niedrig			mittel			hoch			sehr hoch		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4. Wie verunsichert, entmutigt, gereizt oder verärgert waren Sie während der Fahrt?

sehr wenig			wenig			mittel			Stark			sehr stark		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

5. Wie hoch war das Tempo, mit dem Sie die Bedienung des Fahrzeugs ausführen mussten?

sehr niedrig			niedrig			mittel			hoch			sehr hoch		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

6. Wie erfolgreich haben Sie die Aufgabe „Auto Fahren“ Ihrer Ansicht nach durchgeführt?

sehr schlecht			schlecht			mittel			gut			sehr gut		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

7. Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um diese Leistung zu erreichen?

sehr wenig			wenig			mittel			Stark			sehr stark		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

8. Was war anstrengend bei der Fahrt?

A.3.3 Fragebogen zum Befinden

Bei den folgenden Fragen geht es darum, zu beschreiben, wie es Ihnen momentan geht. Diese Befindlichkeit umfasst ganz verschiedene Aspekte, die in den folgenden Fragen abgedeckt werden sollen. Bei jeder Frage ist eine Reihe von Beispielen angegeben, die deutlich macht, was jeweils gemeint ist. **Wählen Sie bitte bei jeder Frage eine der Kategorien und kreuzen Sie dann die Zahl an, die am ehesten beschreibt, wie es Ihnen geht.** Beantworten Sie die Fragen nacheinander, ohne eine Frage auszulassen oder zu überspringen.

1.	Wie stark ist im Moment Ihre Anspannung, wie sind Sie z.B. angespannt, nervös, unsicher, gereizt, erregt, empfindlich, usw.?	gar nicht 0	sehr wenig 1 2 3	wenig 4 5 6	mittel 7 8 9	stark 10 11 12	sehr stark 13 14 15
2.	Wie stark sind Sie im Moment aktiv, wie sind Sie z.B. unternehmungslustig, energisch, tatkräftig, frisch, wach, usw.?	gar nicht 0	sehr wenig 1 2 3	wenig 4 5 6	mittel 7 8 9	stark 10 11 12	sehr stark 13 14 15
3.	Wie stark ist im Moment ihre positive Stimmung, wie sind Sie z.B. gut drauf, heiter, fröhlich, gut gelaunt, lustig, unbeschwert usw.?	gar nicht 0	sehr wenig 1 2 3	wenig 4 5 6	mittel 7 8 9	stark 10 11 12	sehr stark 13 14 15
4.	Wie groß ist im Moment Ihre Leistungsfähigkeit, wie sind Sie z.B. konzentriert, effektiv, kraftvoll, aufmerksam, eifrig usw.?	gar nicht 0	sehr wenig 1 2 3	wenig 4 5 6	mittel 7 8 9	stark 10 11 12	sehr stark 13 14 15
4.	Wie stark sind Sie im Moment nach außen gerichtet, wie sind Sie z.B. gesprächig, gesellig, kontaktfreudig, offen für andere, selbstsicher, wollen auf andere zugehen usw.?	gar nicht 0	sehr wenig 1 2 3	wenig 4 5 6	mittel 7 8 9	stark 10 11 12	sehr stark 13 14 15

A.3.4 Fragebogen zum mentale Modell

Heute soll Sie bei der Spurhaltung ein Assistenzsystem unterstützen. Dieses Assistenzsystem konnten Sie eben schon einmal testen und ausprobieren. Um Assistenzsysteme auf den Markt einzuführen, ist es wichtig, dass diese dem Fahrer verständlich sind und Funktionen gut erklärt werden können. Sie können uns heute helfen, für unsere Forschung herauszufinden, wie gut sich das eben getestete System erklären lässt.

Stellen Sie sich dazu vor, jemandem, der das Assistenzsystem nicht kennt, zu erklären, was der Assistent macht. Zu Ihrer Hilfe finden Sie hier ein paar Fragen, die man sich stellen kann, um zu verstehen, wie ein solcher Assistent funktioniert.

Was genau macht der Assistent?

Wie tut er das?

Wann macht er das?

Ist die Aktivität des Assistenten außerdem noch von irgendetwas abhängig?

Wenn ja, von was?

Bitte notieren Sie stichwortartig, wie Sie den Assistenten einer anderen Person erklären würden. Sie können z.B. auch gern eine Zeichnung anfertigen.

B Statistische Analysen

B.1 Deskriptive Statistiken und Prüfung der Normalverteilungsvoraussetzung

B.1.1 Fragebogendaten

B.1.1.1 Akzeptanzfragebögen

1. Einzelne Items

A Funktionalität der Assistenzsysteme									
Code		Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
A1_A1	Adaptiver Assistent	Wie finden Sie die hinter dieser Funktionalität stehende Idee?	[1...15]	8	7	12	9.875	1.642	0.979
A2_A1	2-stufiger Assistent		8	8	14	10.125	2.100	0.998	
A3_A1	1-stufiger Assistent		8	10	12	11.000	0.926	1.000	
A1_A2	Adaptiver Assistent	Was halten Sie von der Art der Unterstützung, also davon, dass der Assistent Sie warnt (und nicht z.B. informiert oder eingreift)?	[1...15]	8	6	13	10.625	2.066	0.996
A2_A2	2-stufiger Assistent		8	8	13	10.250	1.753	0.992	
A3_A2	1-stufiger Assistent		8	10	13	11.875	1.126	0.997	
A1_A3	Adaptiver Assistent	Wie finden Sie die Idee, abhängig von Ihrer Aktivität beim Fahren unterschiedlich früh gewarnt zu werden?	[1...15]	8	4	13	8.625	3.503	0.954
A1_A4	Adaptiver Assistent	Wie häufig haben Sie den Assistenten für Ihre Spurhaltung genutzt?	[1...15]	8	5	12	8.125	2.232	0.995
A2_A4	2-stufiger Assistent		8	5	12	8.125	2.357	0.992	
A3_A4	1-stufiger Assistent		8	3	11	5.625	2.875	0.945	

B Gestaltung der Assistenzsysteme									
Code		Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
A1_B1	Adaptiver Assistent	Wie finden Sie es, dass die Warnungen akustisch dargeboten werden?	[1...15]	8	5	15	10.125	3.091	0.983
A2_B1	2-stufiger Assistent		8	5	12	9.875	2.295	0.874	
A3_B1	1-stufiger Assistent		8	7	14	10.750	2.121	0.957	
A1_B2a	Adaptiver Assistent	Wie gefällt Ihnen die Art der Töne?	[1...15]	8	5	13	9.500	2.619	0.965
A2_B2a	2-stufiger Assistent		8	8	14	9.875	1.959	0.924	
A3_B2a	1-stufiger Assistent		8	6	12	10.000	1.773	0.860	
A1_B2b	Adaptiver Assistent	Wie gefällt Ihnen die Lautstärke der Töne?	[1...15]	8	6	12	9.625	1.996	0.955
A2_B2b	2-stufiger Assistent		8	7	11	9.500	1.690	0.917	
A3_B2b	1-stufiger Assistent		8	8	12	10.125	1.246	0.975	
A1_B3a	Adaptiver Assistent	Wie gut erkennt der Assistent Ihre Aktivität?	[1...15]	8	4	11	9.500	2.619	0.912
A1_B3b	Adaptiver Assistent	Der Assistent hält Sie ... für inaktiv	[1...15]	8	3	7	5.000	1.195	0.996
A1_B4	Adaptiver Assistent	Wie finden Sie die Menge der durch den Assistenten gegebenen Informationen?	[1...15]	8	8	11	9.500	1.069	0.999
A2_B4	2-stufiger Assistent		8	9	13	10.625	1.408	0.997	
A3_B4	1-stufiger Assistent		genau richtig = 8	8	8	11	8.875	1.126	0.989
A1_B5a	Adaptiver Assistent	Wie finden Sie den Zeitpunkt, zu dem der Assistent anfängt zu warnen (tiefer Ton)?	[1...15]	7	3	7	5.000	1.291	0.999
A2_B5a	2-stufiger Assistent		8	3	8	5.125	1.642	0.979	
A1_B5b	Adaptiver Assistent	Wie finden Sie den Zeitpunkt, an dem der Assistent in die zweite Stufe wechselt (hoher Ton)?	[1...15]	8	5	8	6.750	1.035	0.999
A2_B5b	2-stufiger Assistent		8	6	9	7.500	0.926	1.000	
A3_B5b	1-stufiger Assistent		genau richtig = 8	8	4	9	7.625	1.598	0.996
A1_B6	Adaptiver Assistent	Wie viele Ausprägungen der Warnung würden Sie sich wünschen?	[0...15]	8	1	2	1.625	0.518	1.000
A2_B6	2-stufiger Assistent		8	0	2	1.250	0.707	1.000	
A3_B6	1-stufiger Assistent		8	1	3	1.375	0.744	0.990	
A1_B7	Adaptiver Assistent	Wie gut ist die Gestaltung insgesamt gelungen?	[1...15]	8	4	12	8.750	2.816	0.969
A2_B7	2-stufiger Assistent		8	4	14	8.625	2.973	0.973	
A3_B7	1-stufiger Assistent		8	10	13	11.125	1.126	0.948	

C Benutzerfreundlichkeit der Assistenzsysteme									
Code		Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
A1_C1	Adaptiver Assistent	Den Umgang mit dem	[1...15]	8	7	14	11.125	2.416	0.939
A2_C1	2-stufiger Assistent	Assistenten zu <u>erlernen</u> ist		8	10	14	11.750	1.165	0.931
A3_C1	1-stufiger Assistent	...		8	12	15	13.500	1.069	0.931
A1_C2	Adaptiver Assistent	Wie schwierig finden Sie	[1...15]	8	8	15	11.750	2.121	0.980
A2_C2	2-stufiger Assistent	es, den Assistenten zu		8	9	15	11.500	2.070	0.961
A3_C2	1-stufiger Assistent	benutzen?		8	12	15	13.125	0.991	0.931
A1_C3	Adaptiver Assistent	Wie klar und verständlich	[1...15]	8	5	14	10.125	3.271	0.917
A2_C3	2-stufiger Assistent	ist das, was der Assistent		8	2	14	10.250	3.808	0.910
A3_C3	1-stufiger Assistent	tut?		8	10	14	12.750	1.488	0.896
A1_C4a	Adaptiver Assistent	Die Unterscheidung zwi-	[1...15]	8	11	14	12.625	1.408	0.984
A2_C4a	2-stufiger Assistent	schen den Warnstufen		8	10	15	12.625	1.685	0.994
		war...							
A1_C4b	Adaptiver Assistent	Die Unterscheidung zwi-	[1...15]	8	3	15	11.750	3.808	0.974
A2_C4b	2-stufiger Assistent	schen den Richtungen		8	5	14	11.000	3.546	0.865
A3_C4b	1-stufiger Assistent	war...							
A1_C5	Adaptiver Assistent	Wie verständlich ist, was	[1...15]	8	6	14	11.125	2.696	0.914
A2_C5	2-stufiger Assistent	Sie bei einer Warnung tun		8	5	14	11.000	3.024	0.950
A3_C5	1-stufiger Assistent	müssen?		8	11	14	12.500	1.195	0.952
A1_C6	Adaptiver Assistent	Wie schwierig finden Sie	[1...15]	8	7	14	11.500	2.507	0.961
A2_C6	2-stufiger Assistent	es, auf den Assistenten zu		8	7	14	10.625	2.200	0.949
A3_C6	1-stufiger Assistent	reagieren?		8	11	14	12.625	1.061	0.982
A1_C7	Adaptiver Assistent	Wie bewerten Sie die	[1...15]	8	5	13	9.250	2.375	0.870
A2_C7	2-stufiger Assistent	Benutzerfreundlichkeit		8	4	12	9.500	2.673	0.978
A3_C7	1-stufiger Assistent	insgesamt?		8	11	13	12.125	0.835	0.927

D Nützlichkeit der Assistenten									
Code		Frage	Skalene	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
A1_D1	Adaptiver Assistent	Eine wesentliche Leistung beim Fahren besteht darin, die Spur zu halten. Wie hat sich diese Leistung durch den Assistenten verändert?	[1...15]	8	8	11	9.125	1.246	0.928
A2_D1	2-stufiger Assistent			8	8	11	9.375	1.188	0.893
A3_D1	1-stufiger Assistent			8	8	10	9.125	0.835	0.948
A1_D2	Adaptiver Assistent	Ist die Spurhaltung durch den Assistenten einfacher oder schwieriger geworden?	[1...15]	8	5	10	8.125	1.808	0.928
A2_D2	2-stufiger Assistent			8	5	11	7.750	2.252	0.947
A3_D2	1-stufiger Assistent			8	6	11	8.625	1.598	0.947
A1_D3	Adaptiver Assistent	Wie sehr hat Sie der Assistent bei der Fahrt abgelenkt?	[0...15]	8	2	12	8.375	3.204	0.980
A2_D3	2-stufiger Assistent			8	6	12	8.125	2.357	0.948
A3_D3	1-stufiger Assistent			8	7	14	11.250	3.151	0.941
A1_D4	Adaptiver Assistent	Wie hat der Assistent Ihr Sicherheitsgefühl beim Fahren verändert?	[1...15]	8	8	9	8.375	0.518	0.901
A2_D4	2-stufiger Assistent			8	6	9	7.750	0.886	0.818
A3_D4	1-stufiger Assistent			8	6	10	8.375	1.302	0.893
A1_D5	Adaptiver Assistent	Wie hat der Assistent Ihre Kontrolle über das Fahren verändert?	[1...15]	8	6	10	8.125	1.126	0.933
A2_D5	2-stufiger Assistent			8	6	11	7.875	1.553	0.899
A3_D5	1-stufiger Assistent			8	6	10	8.500	1.309	0.878
A1_D6	Adaptiver Assistent	Wie sehr hindert Sie der Assistent daran, so zu fahren, wie Sie sonst fahren?	[0...15]	8	5	16	11.000	4.140	0.946
A2_D6	2-stufiger Assistent			8	3	11	8.000	3.071	0.963
A3_D6	1-stufiger Assistent			8	6	16	11.375	2.925	0.955
A1_D7	Adaptiver Assistent	Wie sehr vertrauen Sie dem Assistenten?	[0...15]	8	5	11	8.750	2.188	0.957
A2_D7	2-stufiger Assistent			8	6	14	8.500	2.619	0.936
A3_D7	1-stufiger Assistent			8	4	11	8.250	2.435	0.928
A1_D8	Adaptiver Assistent	Wie nützlich ist der Assistent insgesamt, um gut zu fahren?	[1...15]	8	4	11	7.750	2.188	0.956
A2_D8	2-stufiger Assistent			8	3	11	8.500	2.673	0.951
A3_D8	1-stufiger Assistent			8	9	11	10.250	0.707	0.927

E Einstellung									
Code		Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
A1_E1	Adaptiver Assistent	Wie angenehm finden Sie	[1...15]	8	2	10	6.625	2.615	0.979
A2_E1	2-stufiger Assistent	es, mit dem Assistenten zu		8	4	8	6.250	1.165	0.931
A3_E1	1-stufiger Assistent	fahren?		8	6	11	8.500	1.773	0.978
A1_E2	Adaptiver Assistent	Wie gerne möchten Sie ein	[0...15]	8	2	9	5.625	2.387	0.991
A2_E2	2-stufiger Assistent	Auto mit dem Assistenten		8	0	8	5.250	2.435	0.915
A3_E2	1-stufiger Assistent	fahren?		8	0	10	6.625	2.973	0.885
A1_E3	Adaptiver Assistent	Wie viel Spaß macht es	[1...15]	8	2	8	5.750	2.252	0.952
A2_E3	2-stufiger Assistent	Ihnen, mit dem Assistenten		8	4	11	6.750	2.121	0.957
A3_E3	1-stufiger Assistent	zu fahren?		8	5	9	7.625	1.302	0.933
A1_E4	Adaptiver Assistent	Wie finden Sie insgesamt	[1...15]	8	4	11	7.750	2.435	0.981
A2_E4	2-stufiger Assistent	die Idee, einen solchen		8	5	11	8.750	2.053	0.969
A3_E4	1-stufiger Assistent	Assistenten zu benutzen?		8	9	12	10.750	0.886	0.893

2. Skalen Akzeptanz

Code	Inhalt Items	Reliabilität Cronbach's α	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
A1_B	Gestaltung	0.788	8	6	12	9.500	2.179	0.976
A2_B	B1; B2a; B2b; B7;		8	7	12	9.469	1.661	0.989
A3_B			8	8	13	10.500	1.282	0.954
A1_C	Benutzerfreundlichkeit	0.799	8	8	13	10.813	1.785	0.934
A2_C	C1; C2; C3; C5; C6; C7;		8	8	14	10.771	1.647	0.995
A3_C			8	12	14	12.771	0.563	0.921
A1_D	Nützlichkeit	0.674	8	7	11	8.703	1.056	0.978
A2_D	D1; D2; D3; D4; D5; D&; D7; D8;		8	7	10	8.234	1.286	0.961
A3_D			8	8	11	9.469	1.189	0.920
A1_E	Einstellung	0.843	8	3	10	6.438	2.356	0.964
A2_E	E1; E2; E3; E4;		8	4	9	6.750	1.309	0.993
A3_E			8	7	10	8.375	1.203	0.961

B.1.1.2 Beanspruchungsfragebögen

1. Einzelne Items

A Beanspruchung durch die Fahrt

Code	Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Beanspruchung Pause							
B1P_A1		[1...15]	8	3	7	4.875	1.246
B2P_A1	Wie anstrengend war die Fahrt insgesamt?	sehr wenig ...sehr anstrengend	8	2	8	5.000	1.773
B3P_A1			8	2	9	4.750	2.435
B4P_A1			8	2	6	4.000	1.512
B1P_A2		[1...15]	8	5	8	6.000	1.195
B2P_A2	Wie hoch waren die geistigen Anforderungen insgesamt?	sehr wenig ...sehr hoch	8	2	8	5.875	2.031
B3P_A2			8	3	7	4.750	1.282
B4P_A2			8	2	8	4.875	2.031
B1P_A3		[1...15]	8	4	7	5.000	0.926
B2P_A3	Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen insgesamt?	sehr wenig ...sehr hoch	8	3	8	5.125	1.553
B3P_A3			8	3	7	4.375	1.188
B4P_A3			8	3	6	4.500	1.195
B1P_A4		[1...15]	8	1	8	5.125	2.532
B2P_A4	Wie verunsichert, entmutigt, gereizt oder verärgert waren Sie insgesamt?	sehr wenig ...sehr stark	8	1	10	5.250	2.712
B3P_A4			8	1	5	3.375	1.408
B4P_A4			8	1	5	3.250	1.488
B1P_A5		[1...15]	8	4	11	6.875	2.696
B2P_A5	Wie hoch war das Tempo, mit dem Sie die Bedienung des Fahrzeugs ausführen mussten?	sehr wenig ...sehr hoch	8	4	10	7.125	2.696
B3P_A5			8	4	11	7.500	2.619
B4P_A5			8	4	11	6.875	2.475
B1P_A6		[1...15]	8	8	12	10.625	1.188
B2P_A6	Wie erfolgreich haben Sie die Aufgabe "Auto fahren" Ihrer Ansicht nach durchgeführt?	sehr wenig ...sehr gut	8	9	12	10.750	1.165
B3P_A6			8	10	13	11.500	0.926
B4P_A6			8	11	13	11.500	0.756
B1P_A7		[1...15]	8	2	8	5.500	1.927
B2P_A7	Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um diese Leistung zu erreichen?	sehr wenig ...sehr stark	8	4	8	6.000	1.512
B3P_A7			8	3	9	5.375	2.134
B4P_A7			8	4	9	5.875	1.808

Code	Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Beanspruchung Ende							
B1E_A1		[1...15]	8	4	10	7.500	2.070
B2E_A1	Wie anstrengend war die Fahrt insgesamt?	sehr wenig ...sehr anstrengend	8	5	10	7.375	1.847
B3E_A1			8	4	10	6.625	2.264
B4E_A1			8	4	9	6.375	1.685
B1E_A2		[1...15]	8	5	10	7.375	1.847
B2E_A2	Wie hoch waren die geistigen Anforderungen insgesamt?	sehr wenig ...sehr hoch	8	4	10	7.250	2.053
B3E_A2			8	4	11	6.750	2.659
B4E_A2			8	4	9	6.250	1.753
B1E_A3		[1...15]	8	5	10	6.750	1.832
B2E_A3	Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen insgesamt?	sehr wenig ...sehr hoch	8	4	10	7.125	2.357
B3E_A3			8	3	10	5.625	2.615
B4E_A3			8	4	8	5.875	1.642
B1E_A4		[1...15]	8	3	11	6.000	2.390
B2E_A4	Wie verunsichert, entmutigt, gereizt oder verärgert waren Sie insgesamt?	sehr wenig ...sehr stark	8	5	8	6.875	1.126
B3E_A4			8	1	5	3.500	1.414
B4E_A4			8	2	6	4.500	1.195
B1E_A5		[1...15]	8	6	11	8.000	2.000
B2E_A5	Wie hoch war das Tempo, mit dem Sie die Bedienung des Fahrzeugs ausführen mussten?	sehr wenig ...sehr hoch	8	4	11	7.875	2.532
B3E_A5			8	5	11	7.625	2.326
B4E_A5			8	4	11	7.250	2.252
B1E_A6		[1...15]	8	10	11	10.625	0.518
B2E_A6	Wie erfolgreich haben Sie die Aufgabe "Auto fahren" Ihrer Ansicht nach durchgeführt?	sehr wenig ...sehr gut	8	9	12	10.500	0.926
B3E_A6			8	10	12	11.125	0.835
B4E_A6			8	10	13	11.125	0.991
B1E_A7		[1...15]	8	3	12	7.375	3.068
B2E_A7	Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um diese Leistung zu erreichen?	sehr wenig ...sehr stark	8	4	10	6.750	1.982
B3E_A7			8	3	10	6.375	2.669
B4E_A7			8	4	9	6.500	1.604

B Beanspruchung durch den Assistenten

Code	Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
Beanspruchung Pause								
B1P_B1	War die Fahrt wegen des Assistenten mehr oder weniger anstrengend?	[1...15]	8	7.000	10.000	8.750	1.282	0.992
B2P_B1		viel weniger anstrengend ...	8	5.000	11.000	9.500	1.927	0.996
B3P_B1		viel anstrengender	8	6.000	8.000	7.375	0.916	0.996
B1P_B2	Mussten Sie wegen des Assistenten mehr oder weniger aufpassen?	[1...15]	8	6.000	11.000	8.500	2.000	0.994
B2P_B2		viel weniger ... viel mehr	8	7.000	11.000	8.875	1.553	0.996
B3P_B2		aufpassen?	8	6.000	8.000	7.500	0.756	1.000
B1P_B3	Wie verunsichert, entmutigt, gereizt oder verärgert waren Sie durch den Assistenten?	[1...15]	8	3.000	10.000	6.625	2.560	0.981
B2P_B3		sehr wenig ...sehr stark	8	2.000	10.000	6.500	2.563	0.996
B3P_B3			8	1.000	7.000	3.250	1.909	0.967

Code	Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
Beanspruchung Ende								
B1E_B1	War die Fahrt wegen des Assistenten mehr oder weniger anstrengend?	[1...15]	8	7.000	11.000	8.880	1.546	0.974
B2E_B1		viel weniger anstrengend ...	8	7.000	11.000	9.625	1.188	0.995
B3E_B1		viel anstrengender	8	4.333	8.667	6.369	1.305	1.000
B1E_B2	Mussten Sie wegen des Assistenten mehr oder weniger aufpassen?	[1...15]	8	7.000	11.000	9.000	1.309	0.999
B2E_B2		viel weniger ... viel mehr	8	7.000	10.000	8.625	1.188	1.000
B3E_B2		aufpassen?	8	6.000	8.000	7.250	0.886	0.998
B1E_B3	Wie verunsichert, entmutigt, gereizt oder verärgert waren Sie durch den Assistenten?	[1...15]	8	4.000	13.000	7.625	3.021	0.974
B2E_B3		sehr wenig ...sehr stark	8	5.000	9.000	7.000	1.773	0.985
B3E_B3			8	1.000	8.000	4.000	2.204	0.987

2. Skalen Beanspruchung

Beanspruchung durch die Fahrt

Code	Inhalt	Reliabilität Cronbach's α	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q r
Beanspruchung Pause								
B1P_A	Beanspruchung Insgesamt	0.761	8	5.143	6.857	6.250	0.629	0.877
B2P_A			8	3.857	7.571	6.232	1.316	0.974
B3P_A			8	4.857	7.000	5.696	0.810	0.983
B4P_A	Mittelwert der Items A1 bis A7		8	4.143	6.571	5.446	0.869	0.976

Code	Inhalt	Reliabilität	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q
Beanspruchung Ende		Cronbach's α						r
B1E_A	Beanspruchung Insgesamt	0.795	8	6.143	8.000	7.089	0.808	0.936
B2E_A			8	5.429	9.000	7.321	1.368	0.971
B3E_A			8	5.143	8.000	6.375	1.058	0.979
B4E_A	Mittelwert der Items A1 bis A7		8	5.143	7.286	6.375	0.732	0.984

B Beanspruchung durch den Assistenten

Code	Inhalt	Reliabilität	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q
Beanspruchung Pause		Cronbach's α						r
B1P_B	Mittelwert der Items B1 bis B3	0.764	8	6.000	10.333	7.958	1.578	0.996
B2P_B	Mittelwert der Items B1 bis B3		8	4.667	9.667	8.292	1.704	0.936
B3P_B	Mittelwert der Items B1 bis B3		8	5.000	7.667	6.042	0.881	0.988

Code	Inhalt	Reliabilität	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q
Beanspruchung Ende		Cronbach's α						r
B1E_B	Mittelwert der Items B1 bis B3	0.777	8	6.667	10.667	8.583	1.581	0.996
B2E_B	Mittelwert der Items B1 bis B3		8	6.667	10.000	8.417	1.123	0.990
B3E_B	Mittelwert der Items B1 bis B3		8	4.333	8.667	6.369	1.305	0.980

B.1.1.3 Fragebögen zum Befinden

1. Einzelne Items

Code	Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Befinden vor der Fahrt							
Be1_V1	Wie stark ist im Moment Ihre Anspannung, wie	[0...15]	8	1	6	3.250	1.909
Be2_V1	sind Sie z.B. angespannt, nervös, unsicher,	gar nicht ... sehr stark	8	0	9	3.000	2.928
Be3_V1	gereizt, erregt, empfindlich, usw.?		8	0	7	3.250	2.121
Be4_V1			8	1	7	3.250	1.982
Be1_V2	Wie stark sind Sie im Moment aktiv, wie sind Sie	[0...15]	8	6	12	9.250	2.188
Be2_V2	z.B. unternehmungslustig, energisch, tatkräftig,	gar nicht ... sehr stark	8	7	11	9.375	1.408
Be3_V2	frisch, wach, usw.?		8	8	11	9.500	1.309
Be4_V2			8	4	11	8.875	2.295
Be1_V3	Wie stark ist im Moment ihre positive Stimmung,	[0...15]	8	9	13	10.250	1.282
Be2_V3	wie sind Sie z.B. gut drauf, heiter, fröhlich, gut	gar nicht ... sehr stark	8	9	13	10.375	1.506
Be3_V3	gelaunt, lustig, unbeschwert usw.?		8	8	11	9.500	1.195
Be4_V3			8	7	11	9.750	1.282
Be1_V4	Wie groß ist im Moment Ihre Leistungsfähigkeit,	[0...15]	8	7	12	9.625	1.847
Be2_V4	wie sind Sie z.B. konzentriert, effektiv, kraftvoll,	gar nicht ... sehr stark	8	8	13	10.125	1.727
Be3_V4	aufmerksam, eifrig usw.?		8	6	11	9.500	1.604
Be4_V4			8	8	11	9.500	0.926
Be1_V5	Wie stark sind Sie im Moment nach außen	[0...15]	8	7	13	9.875	2.031
Be2_V5	gerichtet, wie sind Sie z.B. gesprächig, gesellig,	gar nicht ... sehr stark	8	9	13	10.125	1.246
Be3_V5	kontaktfreudig, offen für andere, selbstsicher,		8	9	12	10.250	1.035
Be4_V5	wollen auf andere zugehen usw.?		8	7	11	9.500	1.195

Code	Frage	Skalenwerte	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Befinden nach der Fahrt							
Be1_N1	Wie stark ist im Moment Ihre Anspannung, wie sind Sie z.B. angespannt, nervös, unsicher, gereizt, erregt, empfindlich, usw.?	[0...15]	8	0	11	5.000	3.780
Be2_N1		gar nicht ... sehr stark	8	1	9	4.500	3.338
Be3_N1			8	0	5	3.375	1.768
Be4_N1			8	2	6	3.500	1.414
Be1_N2	Wie stark sind Sie im Moment aktiv, wie sind Sie z.B. unternehmungslustig, energisch, tatkräftig, frisch, wach, usw.?	[0...15]	8	2	11	6.875	3.482
Be2_N2		gar nicht ... sehr stark	8	5	12	8.625	2.326
Be3_N2			8	1	11	8.625	3.204
Be4_N2			8	5	10	8.500	1.852
Be1_N3	Wie stark ist im Moment ihre positive Stimmung, wie sind Sie z.B. gut drauf, heiter, fröhlich, gut gelaunt, lustig, unbeschwert usw.?	[0...15]	8	2	11	8.375	2.875
Be2_N3		gar nicht ... sehr stark	8	6	12	9.375	1.685
Be3_N3			8	8	11	9.875	0.991
Be4_N3			8	8	11	9.625	0.916
Be1_N4	Wie groß ist im Moment Ihre Leistungsfähigkeit, wie sind Sie z.B. konzentriert, effektiv, kraftvoll, aufmerksam, eifrig usw.?	[0...15]	8	0	11	7.500	3.854
Be2_N4		gar nicht ... sehr stark	8	5	12	9.250	2.712
Be3_N4			8	5	11	8.625	1.996
Be4_N4			8	0	11	7.875	3.603
Be1_N5	Wie stark sind Sie im Moment nach außen gerichtet, wie sind Sie z.B. gesprächig, gesellig, kontaktfreudig, offen für andere, selbstsicher, wollen auf andere zugehen usw.?	[0...15]	8	4	11	8.125	2.232
Be2_N5		gar nicht ... sehr stark	8	7	11	9.250	1.282
Be3_N5			8	3	11	8.875	2.588
Be4_N5			8	7	11	9.375	1.302

2. Skala Befinden

Code	Inhalt	Reliabilität	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q
		Cronbach's α						r
BEV1	Befinden Insgesamt	0.858	8	8.000	13.000	10.350	1.596	0.955
BEV2			8	8.400	13.200	10.600	1.493	0.984
BEV3	Be1_u; Be2; Be3; Be4; Be5		8	8.000	11.600	10.300	1.238	0.937
BEV4			8	8.000	11.000	10.075	1.058	0.921

Code	Inhalt	Reliabilität	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Korrelation q-q
Befinden nach der Fahrt		Cronbach's α						r
BEN1	Befinden Insgesamt	0.882	8	2.800	11.600	8.600	2.968	0.922
BEN2			8	7.600	12.000	9.475	1.356	0.975
BEN3	Be1_u; Be2; Be3; Be4; Be5		8	5.000	11.000	9.575	2.021	0.874
BEN4			8	7.800	10.400	9.625	0.982	0.852

B.1.2 Fahrdaten

B.1.2.1 Warnungen pro Minute

Variable	Abschnitt	Assistenz	Deskriptive Statistik					Korrelation q-q r
			N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
W_1.1WarnZusammen	1	adaptiv	8	1.309	10.278	4.954	3.420	0.97
W_1.2WarnZusammen	1	2-stufig	8	2.637	12.400	7.748	3.623	0.95
W_1.3WarnZusammen	1	1-stufig	8	0.313	3.287	1.269	1.178	0.95
W_1.4WarnZusammen	1	ohne	8	0.000	0.000	0.000	0.000	
W_2.1WarnZusammen	2	adaptiv	8	1.767	10.844	4.472	3.355	0.96
W_2.2WarnZusammen	2	2-stufig	8	1.878	14.993	7.736	4.512	0.97
W_2.3WarnZusammen	2	1-stufig	8	0.000	3.346	1.110	1.195	0.98
W_2.4WarnZusammen	2	ohne	8	0.000	0.000	0.000	0.000	
W_3.1WarnZusammen	3	adaptiv	8	1.161	10.871	4.302	3.231	0.95
W_3.2WarnZusammen	3	2-stufig	8	2.003	11.267	6.214	3.366	0.98
W_3.3WarnZusammen	3	1-stufig	8	0.000	3.444	1.031	1.188	0.98
W_3.4WarnZusammen	3	ohne	8	0.000	0.000	0.000	0.000	
W_4.1WarnZusammen	4	adaptiv	8	0.294	12.392	4.469	4.209	0.95
W_4.2WarnZusammen	4	2-stufig	8	1.784	13.953	7.090	3.966	0.99
W_4.3WarnZusammen	4	1-stufig	8	0.000	2.974	1.038	1.070	0.98
W_4.4WarnZusammen	4	ohne	8	0.000	0.000	0.000	0.000	

B.1.2.2 Anteil inaktiver Phasen

Variable	Abschnitt	Assistenz	Deskriptive Statistik					Korrelation q-q r.
			N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	
K_1.1InA	1	adaptiv	8	0.092	0.500	0.278	0.130	0.97
K_1.2InA	1	2-stufig	8	0.074	0.466	0.230	0.127	0.95
K_1.3InA	1	1-stufig	8	0.069	0.491	0.225	0.142	0.98
K_1.4InA	1	ohne	8	0.082	0.417	0.216	0.104	0.97
K_2.1InA	2	adaptiv	8	0.107	0.535	0.310	0.127	0.93
K_2.2InA	2	2-stufig	8	0.088	0.497	0.286	0.124	0.97
K_2.3InA	2	1-stufig	8	0.076	0.547	0.265	0.155	0.98
K_2.4InA	2	ohne	8	0.125	0.458	0.288	0.099	0.98
K_3.1InA	3	adaptiv	8	0.093	0.528	0.298	0.139	0.96
K_3.2InA	3	2-stufig	8	0.095	0.489	0.263	0.133	0.99
K_3.3InA	3	1-stufig	8	0.099	0.531	0.272	0.153	0.98
K_3.4InA	3	ohne	8	0.175	0.593	0.336	0.142	0.98
K_4.1InA	4	adaptiv	8	0.104	0.423	0.228	0.110	0.98
K_4.2InA	4	2-stufig	8	0.065	0.365	0.184	0.093	0.96
K_4.3InA	4	1-stufig	8	0.056	0.417	0.203	0.123	0.99
K_4.4InA	4	ohne	8	0.122	0.482	0.236	0.115	0.94

B.1.2.3 Mittlere Geschwindigkeit

Variable	Abschnitt	Assistenz	Deskriptive Statistik				Korrelation q-q r.	
			N	Minimum	Maximum	Mittelwert		Standardabweichung
K_1.1MGes	1	adaptiv	8	122.035	139.661	129.070	6.642	0.97
K_1.2MGes	1	2-stufig	8	120.700	143.596	132.985	8.953	0.90
K_1.3MGes	1	1-stufig	8	120.668	140.033	129.411	7.465	0.96
K_1.4MGes	1	ohne	8	114.684	153.835	132.115	13.994	0.97
K_2.1MGes	2	adaptiv	8	126.843	152.734	136.514	7.656	0.92
K_2.2MGes	2	2-stufig	8	115.851	145.266	136.920	9.433	0.94
K_2.3MGes	2	1-stufig	8	119.868	148.687	135.190	9.620	0.98
K_2.4MGes	2	ohne	8	112.413	146.893	129.077	11.784	0.99
K_3.1MGes	3	adaptiv	8	118.211	149.520	129.367	10.388	0.97
K_3.2MGes	3	2-stufig	8	112.606	152.128	129.225	13.860	0.98
K_3.3MGes	3	1-stufig	8	116.653	146.617	130.287	10.263	0.96
K_3.4MGes	3	ohne	8	102.694	138.332	124.832	12.779	0.93
K_4.1MGes	4	adaptiv	8	118.585	143.923	129.841	10.200	0.97
K_4.2MGes	4	2-stufig	8	109.801	139.424	127.964	10.121	0.94
K_4.3MGes	4	1-stufig	8	118.453	150.346	130.620	10.905	0.97
K_4.4MGes	4	ohne	8	112.644	153.502	132.824	15.822	0.95

B.1.2.4 Standardabweichung der Geschwindigkeit

Variable	Abschnitt	Assistenz	Deskriptive Statistik				Korrelation q-q r.	
			N	Minimum	Maximum	Mittelwert		Standardabweichung
K_1.1SDGes	1	adaptiv	8	6.620	17.584	10.339	3.362	0.93
K_1.2SDGes	1	2-stufig	8	7.641	19.459	12.683	4.737	0.94
K_1.3SDGes	1	1-stufig	8	5.227	14.825	11.010	2.913	0.94
K_1.4SDGes	1	ohne	8	7.084	15.406	11.117	3.209	0.93
K_2.1SDGes	2	adaptiv	8	6.336	16.929	10.543	3.321	0.96
K_2.2SDGes	2	2-stufig	8	7.493	18.734	13.933	4.880	0.82
K_2.3SDGes	2	1-stufig	8	6.608	24.439	12.999	5.558	0.95
K_2.4SDGes	2	ohne	8	7.030	26.268	13.651	6.252	0.93
K_3.1SDGes	3	adaptiv	8	6.037	11.530	9.149	2.126	0.90
K_3.2SDGes	3	2-stufig	8	5.564	21.702	12.366	5.675	0.96
K_3.3SDGes	3	1-stufig	8	5.664	28.705	12.420	8.037	0.98
K_3.4SDGes	3	ohne	8	5.416	19.134	11.000	4.214	0.94
K_4.1SDGes	4	adaptiv	8	5.471	18.230	11.137	4.182	0.99
K_4.2SDGes	4	2-stufig	8	6.548	29.119	15.568	8.081	0.99
K_4.3SDGes	4	1-stufig	8	5.158	31.439	15.248	8.152	0.95
K_4.4SDGes	4	ohne	8	5.834	15.529	10.674	3.254	0.98

B.1.2.5 Inter-Beat-Intervalle

Variable	Abschnitt	Assistenz	Deskriptive Statistik				Korrelation q-q r.	
			N	Minimum	Maximum	Mittelwert		Standardabweichung
K_1.1MRRT	1	adaptiv	6	669.366	879.348	804.576	80.793	0.95
K_1.2MRRT	1	2-stufig	8	661.468	859.051	760.852	66.248	0.97
K_1.3MRRT	1	1-stufig	7	664.648	956.410	755.727	96.086	0.97
K_1.4MRRT	1	ohne	7	633.900	933.800	744.724	100.997	0.96
K_2.1MRRT	2	adaptiv	7	700.584	889.006	807.366	63.667	0.98
K_2.2MRRT	2	2-stufig	8	709.637	871.487	799.319	63.263	0.97
K_2.3MRRT	2	1-stufig	7	676.310	1004.050	796.069	103.658	0.98
K_2.4MRRT	2	ohne	7	675.539	948.529	767.379	95.419	0.96
K_3.1MRRT	3	adaptiv	7	693.275	889.124	804.630	68.763	0.98
K_3.2MRRT	3	2-stufig	8	722.498	878.199	797.404	53.997	0.93
K_3.3MRRT	3	1-stufig	7	716.730	987.934	810.373	87.432	0.99
K_3.4MRRT	3	ohne	7	675.658	987.897	788.874	103.721	0.97
K_4.1MRRT	4	adaptiv	7	682.691	914.358	819.796	75.759	0.97
K_4.2MRRT	4	2-stufig	8	723.224	897.794	812.408	57.139	0.96
K_4.3MRRT	4	1-stufig	7	716.328	989.159	824.170	88.343	1.00
K_4.4MRRT	4	ohne	7	701.720	945.562	797.493	81.094	0.99

B.1.2.6 Standardabweichung der Querablage

Variable	Abschnitt	Assistenz	Deskriptive Statistik				Korrelation q-q r.	
			N	Minimum	Maximum	Mittelwert		Standardabweichung
K_1.1SDQuer	1	adaptiv	8	6.935	21.659	12.194	4.889	0.96
K_1.2SDQuer	1	2-stufig	8	6.963	14.776	10.561	2.528	0.99
K_1.3SDQuer	1	1-stufig	8	7.247	17.286	11.605	2.905	0.98
K_1.4SDQuer	1	ohne	8	8.013	17.128	11.426	3.189	0.87
K_2.1SDQuer	2	adaptiv	8	7.652	20.142	11.302	4.135	0.91
K_2.2SDQuer	2	2-stufig	8	6.465	13.220	9.593	2.538	0.93
K_2.3SDQuer	2	1-stufig	8	5.730	14.998	10.332	2.987	0.96
K_2.4SDQuer	2	ohne	8	8.961	14.499	11.643	2.215	0.95
K_3.1SDQuer	3	adaptiv	8	6.820	23.737	11.808	5.429	0.94
K_3.2SDQuer	3	2-stufig	8	5.975	12.613	9.388	2.387	0.94
K_3.3SDQuer	3	1-stufig	8	5.556	16.392	10.380	3.250	0.96
K_3.4SDQuer	3	ohne	8	8.227	17.989	12.597	3.211	0.98
K_4.1SDQuer	4	adaptiv	8	6.480	16.653	11.478	3.426	0.95
K_4.2SDQuer	4	2-stufig	8	5.927	14.049	9.588	2.776	0.93
K_4.3SDQuer	4	1-stufig	8	6.345	15.299	10.656	2.718	1.00
K_4.4SDQuer	4	ohne	8	9.116	18.096	13.055	3.401	0.97

B.2 Statistische Tests

B.2.1 Varianzanalysen mit Messwiederholung für die einzelnen Items der Akzeptanzfragebögen

Innersubjekteffekt	Mauchly-Test auf Sphärität			Test der Innersubjekteffekte			
	Assistenz	Mauchly-W	df	Signifikanz	F	df	Fehler df
Akzeptanz_A1	0.933	2	0.813	1.979	2	14	0.175
Akzeptanz_A2	0.537	2	0.154	3.971	1.367	13.123	0.067
Akzeptanz_A4	0.750	2	0.421	3.571	2	14	0.056
Akzeptanz_B1	0.913	2	0.762	0.341	2	14	0.717
Akzeptanz_B2a	0.976	2	0.930	0.205	2	14	0.817
Akzeptanz_B2b	0.184	2	0.006	0.315	1.101	7.708	0.612
Akzeptanz_B4	0.932	2	0.809	5.057	2	14	0.022
Akzeptanz_B5b	0.338	2	0.039	1.270	1.204	8.426	0.303
Akzeptanz_B6	0.800	2	0.511	1.000	2	14	0.393
Akzeptanz_B7	0.825	2	0.562	3.289	2	14	0.067
Akzeptanz_C1	0.558	2	0.174	5.030	1.387	9.711	0.041
Akzeptanz_C2	0.970	2	0.913	3.943	2	14	0.044
Akzeptanz_C3	0.703	2	0.348	1.657	2	14	0.226
Akzeptanz_C4b	0.704	2	0.349	0.924	2	14	0.420
Akzeptanz_C5	0.894	2	0.714	1.379	2	14	0.284
Akzeptanz_C6	0.840	2	0.593	3.386	2	14	0.063
Akzeptanz_C7	0.968	2	0.907	8.021	2	14	0.005
Akzeptanz_D1	0.930	2	0.805	0.304	2	14	0.729
Akzeptanz_D2	0.485	2	0.114	0.585	1.869	9.243	0.570
Akzeptanz_D3	0.897	2	0.722	2.836	2	14	0.092
Akzeptanz_D4	0.960	2	0.885	1.224	2	14	0.324
Akzeptanz_D5	0.723	2	0.378	0.769	2	14	0.482
Akzeptanz_D6	0.587	2	0.202	3.665	2	14	0.052
Akzeptanz_D7	0.864	2	0.644	0.165	2	14	0.849
Akzeptanz_D8	0.838	2	0.589	4.647	2	14	0.028
Akzeptanz_E1	0.777	2	0.468	4.595	2	14	0.029
Akzeptanz_E2	0.145	2	0.003	1.232	1.078	7.549	0.306
Akzeptanz_E3	0.844	2	0.601	4.639	2	14	0.028
Akzeptanz_E4	0.783	2	0.481	9.561	2	14	0.002