



Evaluation einer vorausschauenden Anzeige zur Teleoperation von Straßenfahrzeugen

Semesterarbeit



Verfasser: Maximilian Storp
Matrikelnummer: 03608676
Ausgabedatum: 18.10.2013
Abgabedatum: 17.04.2014
Betreuer: Frederic Chucholowski

<Aufgabenstellung>

<Hier in der Endversion der Arbeit die Aufgabenstellung (unterschrieben vom Betreuer und von Prof. Lienkamp) einfügen.>

<GHV>

<Hier in der Endversion der Arbeit die unterschriebene Geheimhaltungsvereinbarung einfügen.>

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Garching, 17. April 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation.....	3
1.2	Ziel der Arbeit	4
1.3	Aufbau der Arbeit	5
2	Stand der Technik & bisherige Versuchsergebnisse	6
2.1	Erfolge	6
2.2	Einschränkungen.....	6
3	Statistische Grundlagen	8
3.1	Wissenschaftliche Verfahren zur Datenerhebung	8
3.1.1	Beobachtung	8
3.1.2	Fragebogen	8
3.1.3	Experiment	10
3.2	Gütekriterien des Messens	10
3.2.1	Validität.....	11
3.2.2	Reliabilität.....	11
3.2.3	Objektivität.....	11
3.3	Experimente anhand von Hypothesen	11
3.3.1	Formulierung von statistischen Hypothesen	13
3.3.2	Fehler bei statistischen Testverfahren	13
3.4	Bestimmung der Probandenanzahl	14
3.5	Auswertungsmethodik der Studie	16
3.5.1	Verfahren für Intervalldaten	16
3.5.2	Verfahren für Ordinaldaten	18
3.5.3	Verfahren für Nominaldaten.....	18
3.5.4	Vorgehen bei der Auswahl des statistischen Tests	19
4	Untersuchungsziel und Hypothesen	20
4.1	Erkenntnisse für die Probandenstudie	20
4.2	Übergeordnete Hypothesen	21
5	Konzeptionierung & Durchführung der Probandenstudie	23
5.1	Aufbau des Fahrsimulators	23
5.2	Szenarien	25
5.2.1	Hütchenparcour	25
5.2.2	Fahrbahnverjüngung.....	26

5.2.3	Kreuzung	28
5.2.4	Kreuzung abbiegen.....	30
5.2.5	Kreuzung 30	32
5.2.6	Überholvorgag	33
5.2.7	Nah Auffahren	34
5.2.8	Gegenverkehr.....	35
5.3	Messgrößen	37
5.3.1	Objektive Messgrößen.....	37
5.3.2	Subjektive Messgrößen	39
5.4	Detaillierung der Hypothesen	40
5.5	Versuchsablauf	44
5.6	Probandenkollektiv.....	46
6	Ergebnisse	47
6.1	Objektive Messungen	47
6.2	Subjektive Messungen	54
6.2.1	Fragebogen nach dem Fahrversuch	54
6.2.2	NASA Task Load Index	56
6.3	Überprüfung der Hypothesen	58
6.4	Auswertung der Ergebnisse	64
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	71
	Abbildungsverzeichnis.....	i
	Tabellenverzeichnis.....	iii
	Abkürzungsverzeichnis.....	iv
	Verwendete Formelzeichen	vi
	Literaturverzeichnis.....	vii
	Anhang	x

1 Einleitung

Im August 1888 startete Bertha Benz zu der berühmten ersten automobilen Fernfahrt von Mannheim nach Pforzheim. Mit diesem Versuch ebnete die Frau von Carl Benz den Weg für den weltweiten Erfolg des Automobils. [Dai13]

In den vergangenen 125 Jahren hat sich die Technik des Automobils enorm weiterentwickelt. Im Zuge der Globalisierung und der wachsenden Weltbevölkerung sind Mobilität und Mobilisierung der Menschen oder der Güter zu einer zentralen Frage geworden. Die Mobilitätsbedürfnisse der Menschen sind dabei je nach Wohn- und Arbeitssituation stark unterschiedlich. Mobilität muss jedoch für jeden zugänglich sein und ist somit auch ein Gerechtigkeitsaspekt. Nach Meinung von Experten wird die Mobilität in den kommenden Jahren weiter zunehmen und die Mobilitätsräume werden sich ausweiten. [Rei12]

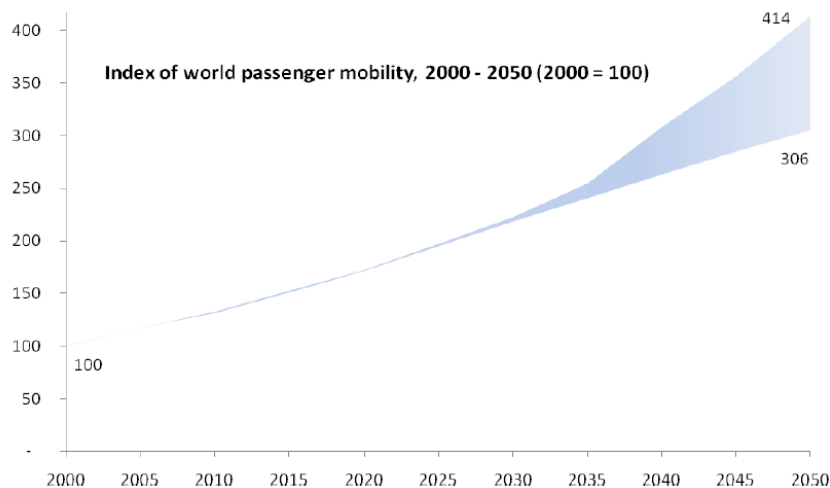


Abbildung 1.1: Weltweites Mobilitätsaufkommen 2000-2050 [Int11]

Um das steigende Mobilitätsbedürfnis befriedigen zu können, sehen Ingenieure und Wissenschaftler das „Autonome Fahren“ als Vision der Zukunft. In der Idealvorstellung kann sich der Mensch hinter dem Steuer zurücklehnen und arbeiten, schlafen oder Entertainment erleben. Per „Car-to-X Kommunikation“ sind die Fahrzeuge und Verkehrsleitsysteme miteinander vernetzt damit der Verkehr intelligent und vorrausschauend gesteuert werden kann. [Sto12]

Bereits seit den 80er Jahren wird vermehrt am Thema der autonomen Fahrzeuge geforscht. Vor allem die Wettbewerbe des US-Verteidigungsministeriums (Darpa Challenges) haben die öffentliche Wahrnehmung geprägt. Ein erster Meilenstein war das von Daimler-Benz im Jahr 1986 initiierte Forschungsprojekt EUREKA-PROMETHEUS („PROgramme for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety“). Im Jahr 1994 fuhren die Testfahrzeuge rund 1.000 Kilometer weitgehend autonom auf einer mehrspurigen Autobahn im Ballungsraum Paris. 1995 wurde die Strecke von München nach Kopenhagen zurückgelegt. Damit lieferte Mercedes-Benz bereits vor knapp 20 Jahren den Beweis, dass automatisiertes Fahren auf Autobahnen möglich ist. Die damaligen Technikbausteine waren für Serienanwendungen jedoch viel zu groß und zu teuer und letztlich auch nicht leistungsfähig und zuverlässig genug. [Dai13]

2013 erlebte das „Autonome Fahren“ erneut einen Boom. Deutsche Autohersteller wetteifern im vollautomatisierten Fahren und sehen darin den Trend für die Zukunft. Als weiterer Meilenstein für die Entwicklung hin zum autonomen Fahren wird die Internationale Automobil-Ausstellung (IAA) im September 2013 gesehen, auf der sich Mercedes-Chef Dieter Zetsche von einer S-Klasse ohne Fahrer auf die Bühne chauffieren ließ. Der Prototyp gilt als einer der Highlights im Autojahr 2013 und symbolisiert den Techniktrend „Autonomes Fahren“. [Han13; Vie13]

Laut Dieter Zetsche, Vorstandsvorsitzender der Daimler AG, sind autonome Fahrzeuge ein wichtiger Schritt auf dem Weg zum unfallfreien Fahren, denn die „Fahrzeuge reagieren auch dann, wenn der Fahrer unaufmerksam ist oder etwas übersieht und nehmen ihm unangenehme oder schwierige Fahraufgaben ab. [Dai13]“

Ein Arbeitskreis des VDA hat zusammen mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) drei Stufen des autonomen Fahrens definiert: teil-, hoch- und vollautomatisiert. Teilautomatisiertes Fahren ist bereits heute in einigen Oberklassemodellen möglich. Die beiden anderen Stufen werden noch in dieser Dekade möglich sein. Bis das Ziel des hoch- und vollautomatisierten Fahrens erreicht ist, müssen jedoch nicht nur technische Entwicklungshürden genommen werden. Vieles, was heute schon technisch machbar wäre, ist rechtlich noch nicht erlaubt. So wird von der internationalen UN/ECE-Regelung R 79 (Lenkanlagen) beispielsweise kein automatisches Lenken bei Geschwindigkeiten über 10 km/h gestattet. Die für das EU-Recht zuständige Wiener Straßenverkehrskonvention schreibt vor, dass der Fahrer sein Fahrzeug dauerhaft kontrollieren muss und jederzeit eingreifen kann. Um voll- und hochautomatisiertes Fahren zu ermöglichen ist zunächst eine Präzisierung der Gesetze erforderlich. Im US Bundesstaat Nevada wurden Anfang 2012 jedoch immerhin erstmalig autonome Fahrzeuge zu Forschungszwecken auf öffentlichen Straßen zugelassen, dies allerdings noch unter hohen Auflagen und strengen Kontrollen. [Dai13; Sch12b]

Auch die gesellschaftliche Akzeptanz muss sich zunächst noch entwickeln: Im Auftrag von AutoScout24 hat die Gesellschaft für Konsumforschung Interviews zu Autopilotensystemen geführt mit dem Ergebnis, dass Deutsche (noch) keine selbstfahrenden Autos wollen. [Ran11b]

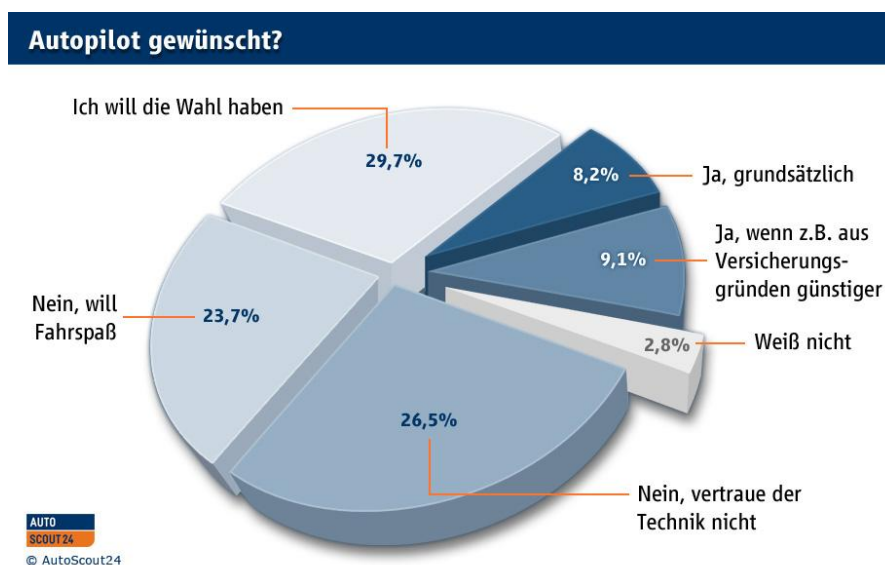


Abbildung 1.2: Umfrage zur Akzeptanz von Autopilotensystemen [Aut11; Ran11a]

Doch auch im technischen Bereich sind noch viele Weiterentwicklungen nötig. Die autonome S-Klasse musste die Strecke zwischen Mannheim und Pforzheim auf zahlreichen Probefahrten zunächst „erlernen“. So wurde beispielsweise eine dreidimensionale digitale Karte der Strecke erstellt, in der neben Straßenverlauf, Anzahl und Richtung der Fahrspuren auch Verkehrsschilder und die Positionen von Ampeln erfasst sind. Die Ergebnisse der jeweiligen Testfahrten wurden vom Entwicklungsteam ausgewertet und der Manöverkatalog entsprechend erweitert. Um ohne vorimplementierte Informationen wie die digitale Karte einen reibungsfreien Ablauf der Steuersysteme zu erreichen ist die Echtzeitkommunikation dieser von großer Bedeutung. Bei komplexen Verkehrssituationen stößt das System dabei jedoch an seine Grenzen. [Dai13]

1.1 Motivation

Da die bisherigen Forschungsergebnisse mit autonomen Fahrzeugen die bereits erwähnten Schwierigkeiten aufzeigen und die Erprobung durch Gesetzesvorgaben eingeschränkt ist, wird an der Technischen Universität München an einem Konzept geforscht, Fahrzeuge semi-autonom oder teleoperiert zu steuern. Mithilfe von Video-Live-Streams aus dem Fahrzeug behält der Fahrer weiterhin die Kontrolle, obwohl er nicht mehr selber im Fahrzeug sitzt. Der Operator ist dabei mittels kabelloser Datenübertragung mit dem Fahrzeug verbunden. Das Konzept könnte helfen, die Verbreitung von Elektroautos in Stadtgebieten zu beschleunigen. So könnten Car Sharing Elektrofahrzeuge direkt vor die Haustür gefahren und auch wieder abgeholt werden. Auch ein Parkservice in Innenstädten wäre möglich. [Gna13, S. 2]



Abbildung 1.3: Operatorarbeitsplatz der Technischen Universität München [Hed13]

Die zentralen Fragestellungen, die es zur Umsetzung des Konzepts zu beherrschen gilt, sind nach Diermeyer [Die11, S. 6]:

1. Datenübertragung

Wie kann der Zeitverzug beherrscht werden, der durch die Übertragung der Videodaten und Steuersignale entsteht?

2. Informationsbereitstellung

Welche Informationen benötigt der Fahrer um einen reibungslosen Steuerungsablauf zu gewährleisten?

3. Sicherheitskonzept

Wie verhält sich das Fahrzeug, sollte die Datenverbindung abbrechen?

Diese Arbeit befasst sich mit der ersten Fragestellung und dem Problem des Zeitverzugs bei der Datenübertragung. Bereits in einer vorausgegangenen Studie wurde ein sogenanntes Predictive Display konstruiert und implementiert. Mit Hilfe von Augmented Reality wird dem Teleoperator in einem Videobild der zukünftige Zustand des Systems auf Basis verschiedener Input-Daten wie Geschwindigkeit, Beschleunigung und Lenkradwinkel eingeblendet. [Sau12]

1.2 Ziel der Arbeit

In dieser Studie soll das bereits bestehende Predictive Display auf seinen Mehrwert für den Teleoperator im Rahmen einer Probandenstudie erprobt werden. Die Prädiktion kommt dabei sowohl am eigenen Fahrzeug, sowie bei allen weiteren Verkehrsteilnehmern zum Einsatz. Grundlage für die Versuche sollen am Operatorarbeitsplatz in DYNA4 implementierte Szenarien kritischer und komplexer Verkehrssituationen sein, die von den Probanden zu meistern sind.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der konsequenten Berücksichtigung statistischer Methoden. So soll zunächst die für eine derartige Studie benötigte Theorie erarbeitet werden. Die statistischen Grundlagen sollen bei der Entwicklung der Versuche helfen, um ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen. Im Nachgang ist eine umfangreiche Aufbereitung und Diskussion der Ergebnisse vorgesehen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 zeigt die Ergebnisse und Handlungsvorschläge der vorherigen Arbeit von Michael Sauer [Sau12, S. 49–52]. Dabei werden die bisherigen Ergebnisse kurz dargelegt und die Handlungsempfehlungen aufgegriffen.

In **Kapitel 3** werden die für eine korrekte Planung, Durchführung und Auswertung einer Probandenstudie notwendigen statistischen Grundlagen hergeleitet. Hierbei werden zunächst die verschiedenen wissenschaftlichen Verfahren zur Datenerhebung vorgestellt und ausgewählt sowie die Gütekriterien des Messens aufgelistet. Des Weiteren wird auf die Hypothesentestung, die Bestimmung der optimalen Stichprobengröße und eine Methodik zur statistisch korrekten Anwendung der diversen Auswertungstests eingegangen.

In **Kapitel 4** werden die Erkenntnisse aus den Kapiteln 2 und 3 mit den in der Aufgabenstellung formulierten Zielen kombiniert und daraus zu überprüfende Hypothesen konstruiert.

Kapitel 5 beschreibt die Konzeptionierung und Durchführung der Probandenstudie. Anhand der in Kapitel 3 aufgestellten Hypothesen werden in DYNA4 diverse Szenarien konstruiert sowie die Auswahl der zu messenden Variablen definiert. Diese Hypothesen werden nach erfolgtem Aufbau der Szenarien weiter konkretisiert. Weiterhin werden die angewendeten Fragebögen vorgestellt und der Gesamttablauf der Probandenstudie aufgezeigt. Im letzten Unterkapitel wird das Probandenkollektiv erläutert.

Kapitel 6 zeigt die Ergebnisse des Fahrversuchs auf. Die gewonnenen Rohdaten werden zunächst aufbereitet um anschließend die in Kapitel 4 erarbeiteten Hypothesen zu überprüfen. Im Anschluss erfolgt eine Diskussion der Ergebnisse.

Kapitel 7 beinhaltet eine Zusammenfassung der Arbeit und gibt einen Ausblick auf zukünftige Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Predictive Display.

2 Stand der Technik & bisherige Versuchsergebnisse

Wie in Unterkapitel 1.1 bereits erwähnt, wurde in einer vorherigen Arbeit das Predictive Display für das teleoperierte Fahren entwickelt und implementiert. Um eine Einschätzung über die Tauglichkeit und die Akzeptanz der auf Augmented Reality basierenden Technologie zu bekommen wurde eine Probandenstudie durchgeführt, die bereits erste Testergebnisse liefert. Die im Folgenden aufgeführten Erfolge und Einschränkungen sind dieser Arbeit entnommen und sollen einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung geben. Besonders die bisher bemängelten Einschränkungen und die Handlungsempfehlungen werden später in der Konzeptionierung der Probandenstudie in Unterkapitel 4.1 berücksichtigt. [Sau12]

2.1 Erfolge

Sauer [Sau12, S. 49–52] resümiert in seiner Arbeit die folgenden Erfolge:

- Die Probanden gaben an, grundsätzlich einen guten Überblick über das Fahrzeug zu haben und auf dessen aktuelle Position schließen zu können.
- Bedingt durch die verzögerte Reaktion des Videobildes in der normalen Anzeige, hatten die Probanden bei Fahrten mit Predictive Display eher das Gefühl ein reales Auto zu steuern
- Auch die subjektive Einschätzung der Beherrschbarkeit des Fahrzeugs war mit Prädiktion höher.
- Das Predictive Display wirkt sich positiv auf das Geschwindigkeitsgefühl aus.
- Die Fahrzeugführung mit Prädiktion führte zu einer subjektiv eingeschätzten Entlastung der Fahrer im Unterschied zur normalen Anzeige.
- Bezüglich der erreichten Fahrleistung, konnte ein signifikanter Vorteil des Predictive Display gezeigt werden.

Zusammenfassend wurde die allgemeine Tauglichkeit des Predictive Display nachgewiesen.

2.2 Einschränkungen

Neben den Erfolgen gibt Sauer [Sau12, S. 51–52] anhand seiner Erkenntnisse auch einige Empfehlungen für das weitere Vorgehen:

- Da die reine Fahrzeit der Probanden relativ kurz war, wurden keine Lerneffekte oder Ermüdungserscheinungen nachgewiesen. Aus diesem Grund sind Langzeittests notwendig
- Die Verkehrsteilnehmer der Studie waren lediglich als statische Objekte implementiert. Für die Verwendung des teleoperierten Fahrens auf öffentlichen Straßen müssen diese anderen Verkehrsteilnehmer ebenso im Videobild prädiziert werden.
- Für die Anwendung des Predictive Display in der Realität müssen zuverlässige Algorithmen geschrieben und mit umfassenden Untersuchungen verifiziert werden.

Für diese Studie sind dabei vor allem die beiden ersten Punkte relevant. In Unterkapitel 4.1 werden sie wieder aufgegriffen und bei der Konzeptionierung der Versuche berücksichtigt.

3 Statistische Grundlagen

Statistische Tests spielen in vielen Bereichen eine wichtige Rolle. Sie werden nahezu stets eingesetzt wenn Daten anfallen, sowohl in der Praxis als auch in empirischen Forschungsvorhaben. Für die Analyse eines Datenkollektivs ist es wichtig, statistische Kennwerte richtig zu verstehen und zu interpretieren. „Bei empirischen Studien werden Daten gesammelt, zusammengefasst, ausgewertet und interpretiert“ [Det08, S. 5]. Dabei stellt sich die Frage, wie die gesammelten Daten am besten beschrieben werden. Die deskriptive Statistik sieht daher verschiedene Verfahren vor, wie beispielsweise tabellarische Auflistungen, graphische Darstellungen oder auch Beschreibungen durch statistische Parameter. Im Allgemeinen wird aus einer Grundgesamtheit nur eine kleine Anzahl an Individuen untersucht. Im Falle der Probandenstudie zum Predictive Display wird versucht, ausgehend von einer Stichprobe an Probanden, Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit zu ziehen. [Fah11, S. 11–13]

3.1 Wissenschaftliche Verfahren zur Datenerhebung

Um den Einfluss des Predictive Display auf einen Teleoperator testen zu können, müssen Fragestellungen formuliert werden, die sich statistisch überprüfen lassen. „Dazu gehört vor allem eine präzise Formulierung der Ziele und eine detaillierte Definition des Untersuchungsgegenstandes mit zeitlicher, sachlicher und evtl. räumlicher Abgrenzung“ [Sch09, S. 11]. Weiterhin müssen die wissenschaftlichen Untersuchungen nachvollziehbar sein, weshalb die Methode der Überprüfung genau anzugeben ist. „In der Wissenschaft geht es darum, Daten zu gewinnen und die Aussagen, die mit diesen Daten gewonnen wurden, zu überprüfen“ [Hau09, S. 21]. Dabei kann in zwei Methodentypen unterschieden werden: Methoden der Datengewinnung (Abschnitt 3.1.1 bis 3.1.3) sowie Methoden der Überprüfung von Hypothesen (Unterkapitel 3.3). Während die Erfassung der Fahrleistungen vom Operatorcomputer ausgeführt wird, gibt es für die Erhebung subjektiver Daten diverse Möglichkeiten. Es liegt die Überlegung zugrunde, dass die Versuchsperson selbst Experte für ihr Erleben und ihre Empfindungen ist. Der Proband kann demnach am detailliertesten Auskunft über die erlebte Beanspruchung geben. Für die Datenerhebung während der Durchführung der Probandenstudie eignet sich daher die Auswahl der drei Methoden „Beobachtung“, „Fragebogen“ und „Experiment“. [Sch09, S. 11]; [Ber02, S. 5]; [Hau09, S. 5]

3.1.1 Beobachtung

Bei der Beobachtung kann zwischen der freien Beobachtung und dem systematischen Beobachtungsverfahren unterschieden werden. Die freie Beobachtung eignet sich zur Exploration relevanter Verhaltensaspekte aber weniger zu einer exakten Quantifizierung derselben, weshalb für den vorliegenden Fall das systematische Beobachtungsverfahren herangezogen wird, das besonders für wissenschaftliche Untersuchungen geeignet ist. Die Beobachtung an sich kann, je nach gewünschten Daten, entweder von der betreuenden Person oder durch Datenerhebung vom Operatorcomputer ausgeführt werden. [Hau09, S. 21–23]

3.1.2 Fragebogen

Fragebögen ermöglichen eine relativ schnelle und ökonomische Befragung vieler Personen und erfassen Subjektivurteile der Versuchspersonen. Auch spüren solche Selbstauskünfte in

Form eines Fragebogens mögliche Ablenkungsauswirkungen auf, die nicht stark genug sind, um sich in Verhaltensdaten niederzuschlagen oder keine von außen erkennbaren Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen haben. [Ber02, S. 5]

Die Statistik unterscheidet nach Hauser und Humpert [Hau09, S. 25–26]

- offene Fragen (Fragen ohne vorgegebene Antworten)
- halboffene Fragen (Fragen, die nur eine richtige Antwort zulassen)
- geschlossene Fragen (Fragen mit vorgegebenen Antworten)

Für die Probandenstudie zum Predictive Display eignet sich ein speziell an den Fahrversuch angepasster Fragebogen, bestehend aus offenen und geschlossenen Fragen. In Abschnitt 5.3.2 wird dieser Fragebogen detailliert vorgestellt.

Da neben dem Einfluss des Predictive Displays auf das Fahrverhalten und die Fahrleistungen auch die psychische Auswirkung auf den Teleoperator von großer Relevanz ist, wird zusätzlich ein Fragebogen zur Bewertung von Belastung und Beanspruchung erarbeitet. Die Methode, die kognitive Arbeitsbeanspruchung über einen Fragebogen zu erfassen, erweist sich dabei als suffiziente Möglichkeit. Für die subjektive Erfassung der Belastung existieren mehrere validierte Fragebogenmethoden. [Eng13, S. 46] Die folgenden Unterabschnitte stellen zwei der geläufigsten Fragebögen vor.

3.1.2.1 System Usability Scale

Der System Usability Scale Fragebogen (SUS) dient für diverse Zwecke und eignet sich insbesondere für eine grobe Einschätzung des zu testenden Produkts hinsichtlich seiner Gebrauchstauglichkeit. In der Vergangenheit hat er sich als stabil und zuverlässig bewiesen, ist jedoch lediglich geeignet um Tendenzen abzubilden. Er besteht aus insgesamt zehn Fragen (fünf positiv formuliert, fünf negativ formuliert) mit je fünf Optionen. Der Proband beantwortet die Fragen mithilfe von Likert-Skalen, die von vollständiger Ablehnung bis hin zu vollständiger Zustimmung reichen. [Bro]

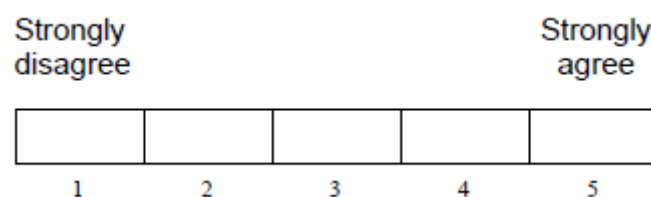


Abbildung 3.1: Likert-Skala mit fünf Optionen [Rau11]

Aus den Ergebnissen des Fragebogens errechnet sich der sogenannte SUS-Score, der eine Ausprägung zwischen 0 (schlechteste vorstellbare Anwendung) und 100 (beste vorstellbare Anwendung) annehmen kann. Zur Berechnung werden die gewonnenen Zahlen addiert und anschließend mit 2,5 multipliziert. Die englischsprachige Originalversion befindet sich im Anhang A.

3.1.2.2 NASA Task Load Index

Der NASA Task Load Index (NASA-TLX) misst die subjektiv erlebte Beanspruchung (workload) mittels eines multidimensionalen Konstrukts und gilt als Standardverfahren zur

Feststellung der mentalen Belastung einer Person. Das Ziel ist die Bewertung einer Aufgabe, eines Systems, der Wirkung eines Teams oder anderer Performanceaspekte. [Eng13, S. 46; Har88, S. 1–5; Kre10, S. 6]

Als Themengebiete werden die einwirkenden „Geistigen Anforderungen“, „Körperlichen Anforderungen“ und „Zeitlichen Anforderungen“ behandelt. Außerdem wird der Proband nach der „Anstrengung“, der Zufriedenheit mit der „Aufgabenerfüllung“ sowie der erlebten „Frustration“ gefragt. Die Bewertung reicht auf einer 20 Punkteskala von sehr niedrig/Erfolg bis sehr hoch/Misserfolg wobei sich die Einzelergebnisse zu einem Gesamtwert ergänzen. Die Beantwortung der Fragen erfolgt während oder unmittelbar nach der Ausführung des Tests. [Ber02, S. 6–7; Hei12, S. 22–23; Kre10, S. 6–7] Die Originalversion [Har] befindet sich in Anhang B.

Das NASA-TLX Verfahren hat sich in zahlreichen Studien, sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der angewandten Forschung innerhalb der Ergonomie und der Arbeitspsychologie vielfach bewährt [Eng13, S. 46; Har06] und wurde deshalb als Fragebogen für die Probandenstudie ausgewählt.

3.1.3 Experiment

Experimente dienen dazu, Hypothesen systematisch und methodisch kontrolliert auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Dazu wird das zu untersuchende Geschehen im Experiment absichtlich herbeigeführt um es beobachten zu können. Das Experiment als Form der Datenerhebung zeichnet sich durch die Absichtlichkeit seiner Durchführung, die Wiederholbarkeit und Variierbarkeit aus. [Hau09, S. 30–33] Die Grundlage für die in der Probandenstudie durchgeführten Experimente bilden die in Unterkapitel 4.2 vorgestellten Szenarien.

3.2 Gütekriterien des Messens

Die verschiedenen statistischen Auswertungsmethoden haben unterschiedliche Voraussetzungen für deren Einsatz. Die Anwendung einer Auswertungsmethode ist abhängig von der Erfüllung der jeweiligen Voraussetzung. Da viele dieser Auswertungsverfahren ein bestimmtes Datenniveau voraussetzen, sind bereits vor der Datenerhebung Gedanken über die Auswertung der Daten nötig. Um die Aussagekraft der in der Probandenstudie gewonnenen Ergebnisse maximieren und beurteilen zu können, bedarf es tauglicher Messinstrumente.

Die Forschung hat sich deshalb auf drei Gütekriterien festgelegt:

- Validität
- Reliabilität
- Objektivität

Diese sind Abhängig von der Operationalisierung der Merkmale, was eine möglichst genaue Bestimmung des zu messenden Merkmals bedeutet. Um für die Probandenstudie eine bestmögliche Messmethode zu verwenden, werden die drei Gütekriterien in der Entwicklung der Studie berücksichtigt. [Hau09, S. 35–40; Leo04, S. 18–20]

3.2.1 Validität

Die Validität gibt die Eignung eines Messverfahrens bezüglich der Zielsetzung an. [Hau09, S. 40] Für die Umsetzung in der Probandenstudie bedeutet dies, eine Anpassung der aufzeichnenden Daten an die für die Bewertung der Hypothesen notwendigen Kennzahlen.

3.2.2 Reliabilität

Die Reliabilität kennzeichnet den Grad der Schwankungsfreiheit, also die Zuverlässigkeit einer Messung. Durch wiederholte Messung der gleichen Untersuchungseinheiten kann diese Größe bestimmt werden. [Hau09, S. 41]

3.2.3 Objektivität

Die Objektivität von Messverfahren ist gegeben, wenn die Antworten bzw. Messwerte unabhängig vom Anwender das gleiche Ergebnis herbeiführen. [Hau09, S. 41–42] Um die Objektivität der Probandenstudie zu gewährleisten, werden Fragebögen und Szenarien in einer festgelegten Reihenfolge bearbeitet oder durchfahren. Einweisung und Betreuung der Probanden erfolgt stets durch die gleiche Person.

3.3 Experimente anhand von Hypothesen

„Am Beginn einer Studie sollte über eine Fragestellung eine durch Theorien geleitete wissenschaftliche Behauptung in Form einer Hypothese dargestellt werden [Leo04, S. 122]“. Die formulierten Hypothesen sollten hierbei immer die inhaltlichen Fragestellungen bestmöglich wiedergeben. Hierzu bedarf es zunächst einer Präzisierung der Fragestellung anhand des wissenschaftlichen Hintergrunds, damit die Menge der relevanten Variablen definiert werden kann. Die inferenzstatistische Hypothesenprüfung testet, ob die beobachteten Daten mit den theoriegeleiteten Erwartungen vereinbar sind.

Es werden stets gegensätzliche, einander ausschließende Hypothesen definiert. Sie lauten Nullhypothese und Alternativhypothese. Diese beiden gegensätzlichen Hypothesen werden auch als das Statistische Testproblem bezeichnet. [Fah11, S. 397]

- **Nullhypothese:**
Die Nullhypothese (H_0), auch „Negativhypothese“ genannt, behauptet immer, dass es keine Unterschiede gibt. Es wird davon ausgegangen, dass in Stichproben auftretende Unterschiede nur zufällig sind. Die Nullhypothese steht komplementär zur Alternativhypothese.
- **Alternativhypothese:**
Die Alternativhypothese (H_1) besagt, dass ein Unterschied oder Zusammenhang besteht.

Mit der Nullhypothese wird die Grundlage für die inferenzstatistische Hypothesenprüfung formuliert. So wird beispielsweise bei der Testung von Mittelwertsunterschieden die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass unter der Gültigkeit der Nullhypothese ein Unterschied zwischen zwei Stichprobenmittelwerten gefunden werden kann. Liegt die Wahrscheinlichkeit für den beobachteten oder einen noch größeren Unterschied bei gültiger H_0 unter einem festgelegten Grenzwert (α -Niveau), so wird die H_0 verworfen und die H_1 angenommen. Die Gültig-

keit der Alternativhypothese wird also nur angenommen, wenn die Nullhypothese sehr unwahrscheinlich ist. [Leo04, S. 122–123]

3.3.1 Formulierung von statistischen Hypothesen

Die Formulierung von statistischen Hypothesen bei Mittelwertsvergleichen zwischen zwei Stichproben erfolgt gewöhnlich in standardisierter Form:

Sei μ_1 der mittlere Performancewert ohne Prädiktion und μ_2 der mittlere Performancewert mit Prädiktion, dann gilt:

Tabelle 3.1: Definition der Standardformulierung von Hypothesen [Leo04, S. 124]

H_0	:	$\mu_1 = \mu_2$	(Nullhypothese)
und			
H_1	:	$\mu_1 \neq \mu_2$	(Ungerichtete Alternativhypothese)
oder			
H_1	:	$\mu_1 < \mu_2$	(Gerichtete Alternativhypothese)
		$\mu_1 > \mu_2$	(Entgegengesetzt gerichtete Alternativhypothese)

3.3.2 Fehler bei statistischen Testverfahren

Da die getroffenen Aussagen auf bedingter Wahrscheinlichkeitsberechnung beruhen, unterliegen sie einem Restrisiko. Aufgrund von Unsicherheiten bei der Probandenauswahl besteht die Gefahr eines falschen Schlusses auf die Gesamtheit. Das Signifikanzniveau α , auch α -Fehler-Niveau genannt, bestimmt die Grenze für die maximal tolerierbare Irrtumswahrscheinlichkeit P , einen Unterschied fälschlicherweise anzunehmen, welcher aus einer zufälligen Wahl der Stichprobe zustande gekommen ist. Dieser Grenzwert α wird meistens mit 5 Prozent festgelegt. [Det08, S. 21; Leo04, S. 128–129]

Nach Leonhart [Leo04, S. 128] gibt es zwei mögliche Fehler beim Testen von Hypothesen:

- **α -Fehler:** Ablehnung der „richtigen“ Nullhypothese bei gültiger Nullhypothese (Fehler erster Art)
- **β -Fehler:** Beibehaltung der „falschen“ Nullhypothese bei gültiger Alternativhypothese (Fehler zweiter Art)

Minimierung der Fehler

Das α -Niveau wird bereits mit Aufstellen der Hypothesen festgelegt und darf nachträglich nicht mehr verändert werden. Eine Einflussnahme ist nach Leonhart [Leo04, S. 128–136] daher nur auf den β -Fehler möglich. Hierbei gilt:

- Je größer die Stichprobe, desto kleiner wird der Standardfehler
- Je ähnlicher die Stichprobenteilnehmer, desto weniger streuen die Teilnehmer in der Stichprobe. Dies reduziert ebenfalls den Standardfehler und erhöht die Chance auf ein signifikantes Ergebnis.

3.4 Bestimmung der Probandenanzahl

Wie bereits in Abschnitt 3.3.2 erwähnt, hat der Stichprobenumfang einen entscheidenden Einfluss auf die beiden Fehlerarten. Zu kleine Stichproben erschweren die statistische Absicherung eines relevanten Effekts, während zu große Stichproben unbedeutende Effekte bedeutsam machen können [Mon09, S. 41–42]. Daher ist der Stichprobenumfang folgendermaßen definiert: „Ein optimaler Stichprobenumfang ist gegeben, wenn die Stichprobe gerade groß genug gewählt wird, um einen für die Praxis relevanten Effekt abzusichern. Dieser Stichprobenumfang kann a priori bestimmt werden, wenn zuvor der erwartende Effekt, der α - und der β -Fehler definiert worden ist“ [Leo04, S. 137].

Die Berechnung des optimalen Stichprobenumfangs kann mit einem Programm wie „SYSTAT“ oder „G*Power“ erfolgen, oder anhand veröffentlichter Tabellenwerke mit optimalen Stichprobenumfängen in Abhängigkeit von Effektstärke, α - und β -Fehler nachgeschlagen werden. [Coh88; Fau13]

Für die Studie zum Predictive Display wurde das frei erhältliche Programm „G*Power 3“ [Fau09; Pra] verwendet. Die Berechnung des Stichprobenumfangs erfordert das setzen einiger Randbedingungen sowie die Definition benötigter Variablen. Die für den Test erforderlichen Eingaben werden im Folgenden kurz erläutert und die für die Probandenstudie benutzten Werte zugewiesen.

- **Effektgröße**

Die Einteilung der Effektgröße d ist von Cohen [Coh88] in kleine Effekte ($d \geq 0,2$), mittlere Effekte ($d \geq 0,5$) und große Effekte ($d \geq 0,8$) vorgeschlagen. Bortz [Bor05, S. 139,143,145] unterteilt zusätzlich in Zehntelschritte. Da an dieser Stelle von einem mittleren bis ausgeprägten Mehrwert der Prädiktion ausgegangen wird, kann die Effektgröße für die Berechnung mit $d = 0,6$ angenommen werden.

- **α -Fehler**

Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 vorgestellt, besagt der Fehler 1. Art, dass H_0 verworfen wird, obwohl H_0 wahr ist. Diese Fehlerwahrscheinlichkeit wird, wie in der Statistik häufig üblich, mit $\alpha = 0,05$ angenommen.

- **Power**

Die Power eines Tests ist abhängig von der Größe eines beobachteten Effekts und berechnet sich mit $Power = 1 - \beta$. Je größer der vorhandene Effekt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, ihn aufzudecken. „Erscheint beispielsweise ein Artikel über eine Studie, die die Nullhypothese nicht verwerfen konnte, ist noch unklar, aus welchem Grund keine signifikanten Werte der Prüfstatistik zustande kamen. Der Stellenwert dieser Aussage hängt maßgeblich von der Power ab. Beträgt sie in etwa 20 Prozent, so könnte man annehmen, dass die Stichproben zu klein gewählt wurden oder aber die Streuung der Grundgesamtheit zu groß war. Bei einem Wert von 80 Prozent hingegen ist zu vermuten, dass die Entscheidung, die Nullhypothese beizubehalten, richtig ist“ [Det08, S. 23]. In Anlehnung an dieses Beispiel, wird für die Berechnung des optimalen Stichprobenumfangs eine gewünschte Power von 0,8 angenommen.

- **Hypothesentestung**

Die Hypothesentestung kann auf zwei Arten erfolgen: Die einseitige Testung (gerichtete Testung) und die zweiseitige Testung (ungerichtete Testung). Bei der einseitigen Testung wird davon ausgegangen, dass die Richtung des Mittelwertunterschieds aus einer Theorie oder einer Voruntersuchung ableitbar ist. Der Ablehnungsbereich kann somit auf eine Seite beschränkt werden. Bestätigt das Untersuchungsergebnis eine gerichtete Hypothese, hat der einseitige Test eine höhere Teststärke als der zweiseitige Test [Bor05, S. 123–124]. Für die Probandenstudie wird die einseitige Testung angenommen, da in der vorherigen Studie zum Predictive Display eine Verbesserung der Fahrleistung nachgewiesen werden konnte und in diesem Fall nicht mit einer Verschlechterung der Ergebnisse gegenüber dem Ausgangszustand gerechnet werden muss.

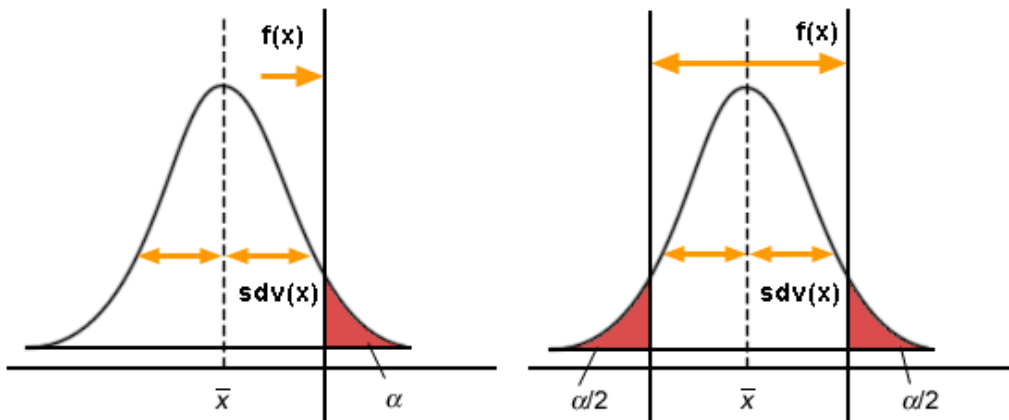


Abbildung 3.2: Einseitige Hypothesentestung (links) und zweiseitige Hypothesentestung (rechts) [Che]

- **Testfamilie**

Da es sich bei der Probandenstudie um einen Stichproben-Fall handelt, die Stichprobe sich stetig verhält und an dieser Stelle eine Normalverteilung der Ergebnisse angenommen werden kann, wird der t-Test für abhängige Stichproben ausgewählt [Hau09, S. 135–138; Leo04, S. 139-140, 147-149; Mar99, S. 110–111]. Der t-Test sowie die weiteren Testverfahren werden in Unterkapitel 3.5 detailliert erläutert.

- **Statistisches Verfahren**

Das statistische Verfahren wird durch das entsprechende Studiendesign bestimmt. Im Fall der Probandenstudie werden die Szenarien von allen Probanden jeweils mit Prädiktion sowie ohne Hilfsmittel durchfahren, womit der Test „abhängig“ ist. Per Definition handelt es sich um eine abhängige Stichprobe wenn die Zusammenstellung einer Stichprobe einen Einfluss auf die Zusammenstellung einer zweiten Stichprobe hat [Det08, S. 23; Fau13; Hau09, S. 142–143]. Somit ist in G*Power die Einstellung „Means: Difference between two dependent means (matched pairs)“ [Fau13] zu wählen.

Wie in Abbildung 3.3 ersichtlich, errechnet G*Power 3 mithilfe der vorgestellten Werte eine tatsächliche Testpower von 0,808 und einen benötigten Stichprobenumfang von 19 Teilnehmern. Dieser Wert lässt sich mit Bortz [Bor05, S. 145] verifizieren.

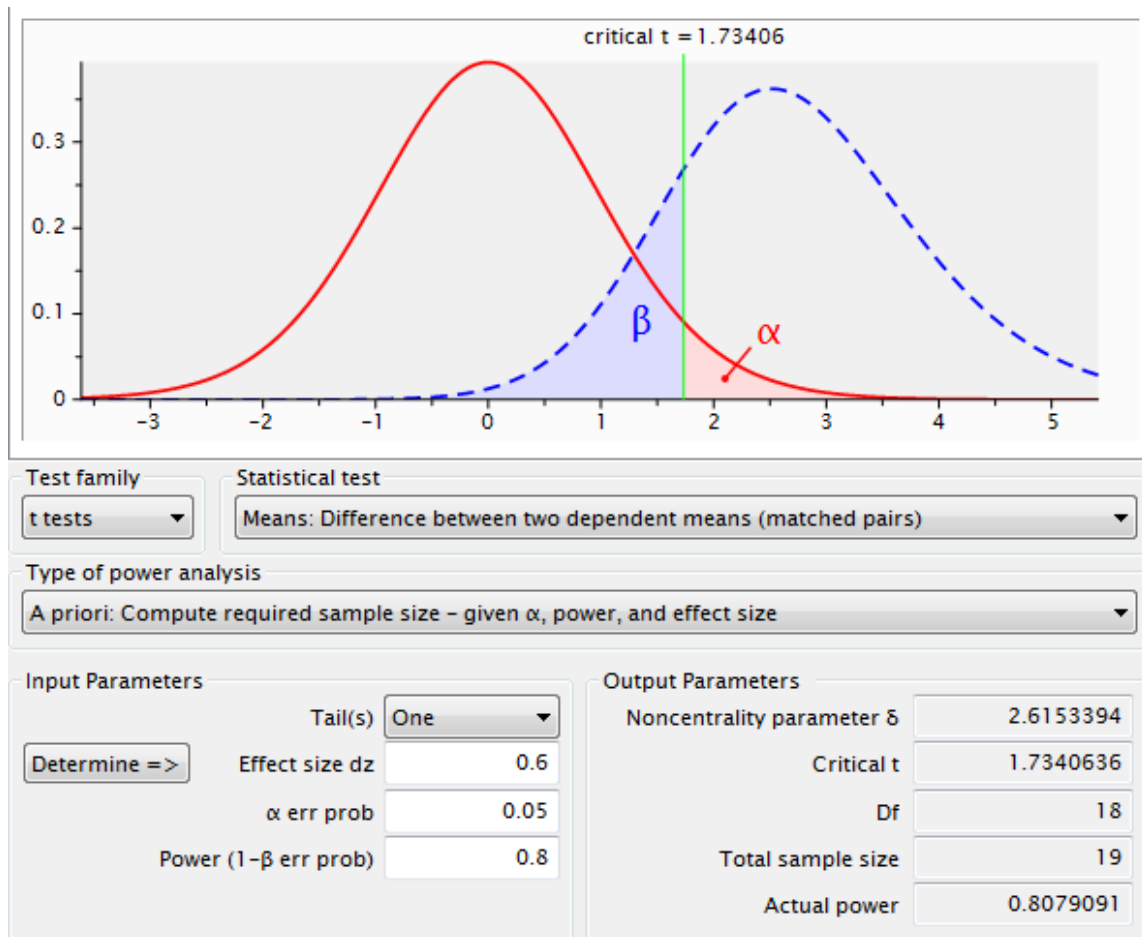


Abbildung 3.3: Berechnung des optimalen Stichprobenumfangs mit G*Power 3 [Fau13]

3.5 Auswertungsmethodik der Studie

In der Statistik gibt es zahlreiche Verfahren zur Überprüfung von Unterschiedshypothesen. Die Auswahl des passenden Verfahrens ist abhängig von vielen Faktoren und erfordert Voruntersuchungen. Bortz [Bor05, S. 135f] unterscheidet zunächst nach der Skalenart, die den erhobenen Daten zu Grunde liegt. Dazu werden die Verfahren nach den drei Datentypen Intervalldaten, Ordinaldaten und Nominaldaten unterschieden.

3.5.1 Verfahren für Intervalldaten

„Auf Intervalldaten-Niveau werden in der Regel Mittelwerte verglichen“ [Bor05, S. 136]. Verfahren für Intervallskalierte Daten werden auch parametrische Verfahren genannt. Diese sind deutlich teststärker als die in Abschnitt 3.5.2 und 3.5.3 vorgestellten nonparametrischen Verfahren auf Basis von Ordinal- oder Nominaldaten. Ist die Interpretierbarkeit von Mittelwert und Varianz einer Messwertreihe gegeben, können Hypothesen bezüglich der Unterschiedlichkeit zweier Mittelwerte oder Varianzen mit den im Folgenden vorgestellten Verfahren überprüft werden.

3.5.1.1 t-Test für unabhängige Stichproben

„Werden 2 voneinander unabhängige Stichproben des Umfangs n_1 und n_2 aus 2 Grundgesamtheiten gezogen, überprüft der t-Test für unabhängige Stichproben die Nullhypothese, dass die beiden Stichproben aus Populationen stammen, deren Parameter μ_1 und μ_2 identisch sind“ [Bor05, S. 140]. Der t-Test unterscheidet sich je nach der Homogenität der Varianzen in den zu vergleichenden Messreihen. Zur Überprüfung dieser Varianzhomogenität eignet sich der F-Test nach Fisher (Berechnung „von Hand“) oder der F-Test nach Levene (Berechnung mittels Statistik-Software). Der F-Test nach Levene ist anspruchsvoller, wird aber nicht so leicht signifikant. Sind die Varianzen in den zu vergleichenden Messreihen gleich, wird der t-Test für homogene Varianzen verwendet, andernfalls der t-Test für heterogene Varianzen (auch Welch-Test genannt).

Eine Voraussetzung für die Anwendung des Tests ist die Normalverteilung der Grundgesamtheiten. Bei großen Stichproben ist diese Bedingung nach dem zentralen Grenzwerttheorem erfüllt. Sind die untersuchten Stichproben allerdings klein ($n \leq 30$), sodass nicht mehr automatisch von einer Normalverteilung der Stichprobenmittelwerte ausgegangen werden kann, sind zunächst weitere Tests möglich. Zur Überprüfung dienen beispielsweise der Lilliefors-Test, der Shapiro-Wilk-Test, der Kolmogorov-Smirnow-Test oder der allgemeine eindimensionale χ^2 -Test. Ist der Nachweis einer Normalverteilung nicht möglich, wird ersatzweise der „U-Test von Mann-Whitney“ verwendet [Bor05; Leo04]. Auf diesen wird in Abschnitt 3.5.1 weiter eingegangen.

3.5.1.2 t-Test für abhängige Stichproben

Der im letzten Unterabschnitt vorgestellte Test geht davon aus, dass zwei Stichproben voneinander unabhängig erhoben werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Objekte der Grundgesamtheit der einen Stichprobe keinen Einfluss auf die Objekte der anderen Stichprobe ausüben.

Es gibt allerdings Fragestellungen bei denen es nötig ist, zwei Stichproben miteinander zu vergleichen, deren Objekte jeweils paarweise einander zugeordnet sind. Nach Bortz [Bor05, S. 143] wird dann von einer „abhängigen (verbundenen) Stichprobe“ gesprochen. Auch Messwiederholungen wie beispielsweise der Vergleich von Messungen, die sowohl morgens und abends erhoben wurden, gelten als abhängige Stichproben. Im Vergleich der beiden Tests gilt der t-Test für abhängige Stichproben als teststärker.

Die Bedingungen für den t-Test für abhängige Stichproben sind identisch mit dem t-Test für unabhängige Stichproben. Die Voraussetzung einer Normalverteilung muss erneut gegeben sein. Bei kleinen Stichprobenumfängen ($n \leq 30$) wird dazu wiederum der Lilliefors-Test, der Shapiro-Wilk-Test, der Kolmogorov-Smirnov-Test oder der allgemeine eindimensionale χ^2 -Test durchgeführt. Korrelieren die Messwertreihen nicht positiv, sondern negativ miteinander, verliert der t-Test für abhängige Stichproben an Teststärke, weshalb ersatzweise der „Wilcoxon-Test“ eingesetzt werden kann. [Bor05; Leo04] Dieser wird in Abschnitt 3.5.2 kurz erläutert.

3.5.1.3 t-Test für eine Stichprobe

Der t-Test für eine Stichprobe dient zum Vergleich des Mittelwertes einer Stichprobe mit einem bekannten Populationsmittelwert. Voraussetzung für den Test ist eine zufällige Zusammensetzung der Stichprobe, sowie Intervallskalierung des Merkmals. [Leo04, S. 144–146]

3.5.2 Verfahren für Ordinaldaten

Wenn die Annahme, dass die Daten Intervallskalencharakter haben, nicht aufrecht erhalten werden kann, ist eine Anwendung der unter Abschnitt 3.5.1 vorgestellten Verfahren nicht zulässig. Weiterhin muss auf die Verfahren verzichtet werden, wenn vor allem bei kleinen Stichprobenumfängen eine Normalverteilung nicht erfüllt ist. Für diesen Fall kommen in der Statistik spezielle, voraussetzungsärmere Verfahren zum Einsatz. Diese gliedern sich erneut nach unabhängigen und abhängigen Stichproben auf. Zwei häufig verwendete Verfahren sind nach Bortz [Bor05, S. 150]

- **U-Test von Mann-Whitney:** Der U-Test von Mann-Whitney ist ein Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz.
- **Wilcoxon-Test:** Der Wilcoxon-Test ist ein Vergleich zweier abhängiger Stichproben hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz.

Ob die Normalverteilung erfüllt ist, kann beispielsweise mit dem bereits in Abschnitt 3.5.1 erwähnten Kolmogorov-Smirnow-Test überprüft werden. Dieser prüft die Nullhypothese, dass die empirische Verteilung einer Normalverteilung entspricht. „Wird der Test signifikant, liegen signifikante Abweichungen von der Normalverteilung vor und das untersuchte Merkmal kann nicht mehr als normalverteilt gelten“ [Leo04, S. 180].

3.5.3 Verfahren für Nominaldaten

Nominaldatenverfahren werden für die Analyse von Häufigkeitsunterschieden im Auftreten bestimmter Merkmale und Merkmalskombinationen verwendet. Ein sehr häufig angewendeter Test ist der χ^2 -Test, der sich wiederum in diverse χ^2 -Verfahren aufteilt. „ χ^2 -Tests werden eingesetzt, um zu prüfen, ob Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu Versuchsergebnissen passen (Anpassungstest) oder von Versuchsbedingungen unabhängig sind (Unabhängigkeitstest)“ [Det10, S. 65]. Da bei der Auswertung der Probandenstudie keine normalskalierten Daten erwartet werden, wird auf die einzelnen Verfahren nicht näher eingegangen.

3.5.4 Vorgehen bei der Auswahl des statistischen Tests

Anhand der in den vorherigen Abschnitten aufgezeigten Testverfahren und den jeweiligen Voraussetzungen lässt sich das folgende Flussdiagramm erstellen. Dieses enthält für zwei zu vergleichende Stichproben alle zur Auswertung der Tests benötigten Verfahren und dient als Richtlinie für eine statistisch korrekte Auswertung der Hypothesen.

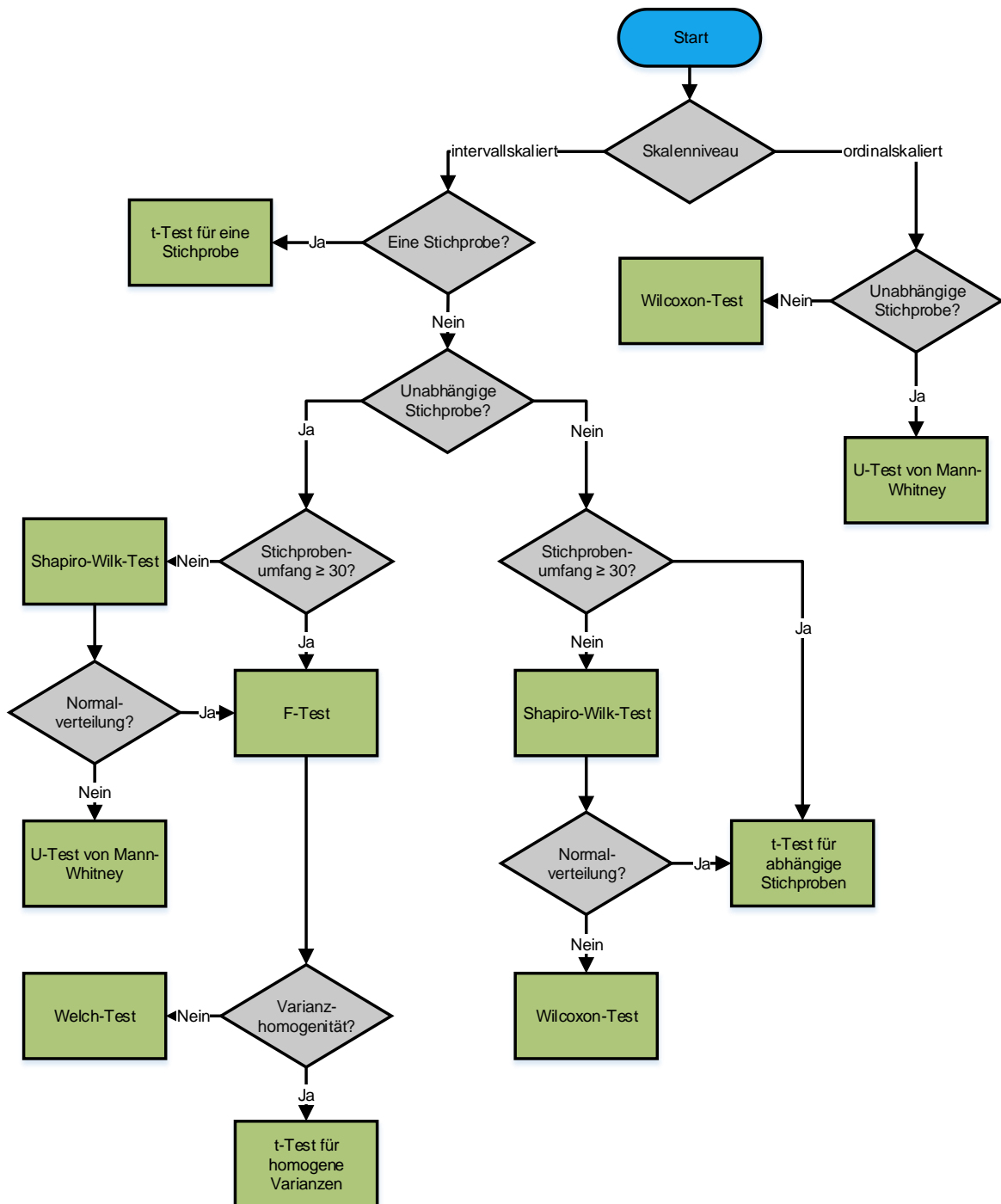


Abbildung 3.4: Vorgehen bei der Auswahl des statistischen Tests bei zwei Stichproben

4 Untersuchungsziel und Hypothesen

Nachdem die prinzipielle Tauglichkeit des Predictive Display bereits nachgewiesen wurde, geht es besonders darum, den Mehrwert des Displays unter möglichst realen Bedingungen zu bestimmen. Es sollen Situationen untersucht werden, wie sie im alltäglichen Verkehr stattfinden. Das bedeutet, dass neben dem eigenen Fahrzeug auch andere bewegte Objekte wie Fußgänger, Fahrradfahrer und weitere Fahrzeuge am Verkehrsgeschehen teilnehmen. Auch diese sind wiederum mit einer Prädiktion der tatsächlichen Position ausgestattet. Neben dem Mehrwert der eigenen Prädiktion soll somit auch der Nutzen einer Prädiktion an anderen Verkehrsteilnehmern überprüft werden.

Das übergeordnete Ziel ist die Untersuchung der allgemeinen Tauglichkeit der Prädiktion anderer Verkehrsteilnehmer. Dazu soll aufgezeigt werden, in welchen Situationen des Straßenverkehrs eine Prädiktion von besonderer Unterstützung ist.

4.1 Erkenntnisse für die Probandenstudie

Wie in Unterkapitel 2.2 aufgezeigt, sind in der vorherigen Studie zur Teleoperation mit Predictive Display Erkenntnisse gewonnen worden, die für die Entwicklung der Hypothesen und Szenarien berücksichtigt werden. So lautete ein Fazit Sauers [Sau12], dass aufgrund der geringen Fahrzeit keine Lerneffekte nachzuweisen waren. Um zu potentiellen Lernerfolgen oder Ermüdungserscheinungen zumindest eine Tendenz erkennbar zu machen, durchfahren die Probanden jedes Szenario mindestens vier Mal. Der genaue Ablauf der Studie ist in Unterkapitel 5.5 beschrieben. Statt statischer Objekte werden bewegte Fahrzeuge in die Simulation eingebaut, was die Realität des Verkehrsgeschehens deutlich erhöhen wird. Neben dem eigenen Fahrzeug sind auch die anderen Verkehrsteilnehmer mit dem Predictive Display ausgestattet. Sauer zeigte weiterhin auf, dass die Prädiktion zu einer subjektiv eingeschätzten Entlastung der Fahrer führt. Anhand des standardisierten Fragebogens NASA-TLX soll die Belastung während der Fahrt genauer untersucht werden.

Da in der vorherigen Studie ein Mehrwert der Prädiktion nachgewiesen wurde, können gerichtete Alternativhypothesen aufgestellt werden.

4.2 Übergeordnete Hypothesen

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 aufgezeigten Erfahrungen der vorausgegangenen Studie und den bisher unter Abschnitt 4 erläuterten Untersuchungszielen, werden im Folgenden allgemeine Hypothesen aufgestellt. Inhaltlich orientieren sich einige dieser Hypothesen an Sauer [Sau12] um entweder die bisher erlangten Ergebnisse verifizieren zu können oder aber die Auswirkungen auf die Bewertung bei zusätzlich implementierten Verkehrsteilnehmern ersichtlich zu machen. Die Darstellungsform ist an Schreiber [Sch12a, S. 72f] angelehnt. Die Hypothesen werden in Unterkapitel 5.4 nach der Konstruktion der Szenarien und Definition der Messgrößen weiter detailliert.

Intuitivität

Das Ziel des Predictive Display ist, die aktuelle Position des eigenen Fahrzeugs sowie der Verkehrsteilnehmer einfach verständlich abzubilden.

Hypothese IN: Die Darstellung des Predictive Display ist klar verständlich und zeigt dem Nutzer intuitiv die aktuellen Zustände aller Verkehrsteilnehmer.

Lerneffekt

Da sowohl das Fahren an einem Operatorarbeitsplatz, insbesondere aber die Darstellung des Predictive Display für viele Probanden unbekannt sein wird, soll beobachtet werden, ob sich mit der Zeit ein Lerneffekt einstellt.

Hypothese LE: Mit fortschreitender Fahrzeit stellt sich ein Lerneffekt ein.

Risikobereitschaft

Da die Steuerung des Fahrzeugs von einem Operatorarbeitsplatz aus durchgeführt wird, sitzt der Teleoperator nicht selbst im Auto. Wie bei einem Videospiel besteht bei einem Unfall keinerlei Gefährdung für den Operator. Dieser Aspekt darf nicht zu einer Erhöhung der Risikobereitschaft und Senkung der Aufmerksamkeit führen, da sonst schwerwiegende Folgen für andere Verkehrsteilnehmer entstehen können. Es ist also nachzuweisen, dass das Predictive Display die Risikobereitschaft gegenüber der normalen Anzeige, nicht erhöht. Die Hypothese lautet dementsprechend:

Hypothese RB: Die Nutzung des Predictive Display erhöht das von den Fahrern eingegangene Risiko nicht.

Geschwindigkeitsgefühl

Da der Operator nicht im Fahrzeug selbst, sondern in einem statischen Simulator sitzt, ist es für ihn schwierig, die tatsächliche Geschwindigkeit des Fahrzeugs abzuschätzen. Er erfährt weder Beschleunigungsgefühl noch Vibrationen und hört keine Motorengeräusche. Ein Ziel des Predictive Display ist, durch unterschiedliche Visualisierung zu einem besseren Geschwindigkeitsgefühl beizutragen. Daher lautet die Hypothese:

Hypothese GG: Das Predictive Display ermöglicht eine bessere Einschätzung der Geschwindigkeit.

Entlastung des Fahrers

Um die Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten, ist die Aufrechterhaltung der Konzentration des Teleoperators wichtig. Ein Ziel des Predictive Display ist es daher, den Fahrer bestmöglich zu entlasten. Im Vergleich zur normalen Anzeige soll das Fahren mit Prädiktion eine geringere Belastung zur Folge haben.

Hypothese EF: Die Fahrzeugführung mit Predictive Display führt zu einer geringeren Belastung des Fahrers.

Erfüllung Fahraufgabe

Ein übergeordnetes Ziel des Predictive Display ist die Verbesserung der Fahrleistung. Im Straßenverkehr ergeben sich, je nach Witterungsverhältnissen, Verkehr und Fahrbahnbedingungen teils sehr komplexe Situationen, die dem Teleoperator seine vollen Fähigkeiten abverlangen werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, einen Mehrwert des Predictive Display bei der Erfüllung der Fahraufgabe zu beweisen. Die These hierzu lautet:

Hypothese FA: Die Fahrzeugführung mit Predictive Display ist besser für die Erfüllung der Fahraufgabe geeignet als die normale Anzeige.

5 Konzeptionierung & Durchführung der Probandenstudie

5.1 Aufbau des Fahrsimulators

Für die Durchführung der Probandenstudie wird der bereits vorhandene Operatorarbeitsplatz genutzt. Der bestehende Aufbau wird mit Tisch, Stuhl, Monitor und Eingabegeräten lediglich erweitert um die Steuerung der Simulation durch den Versuchsleiter zu ermöglichen. Einen Überblick über die Anordnung bietet Abbildung 5.1:

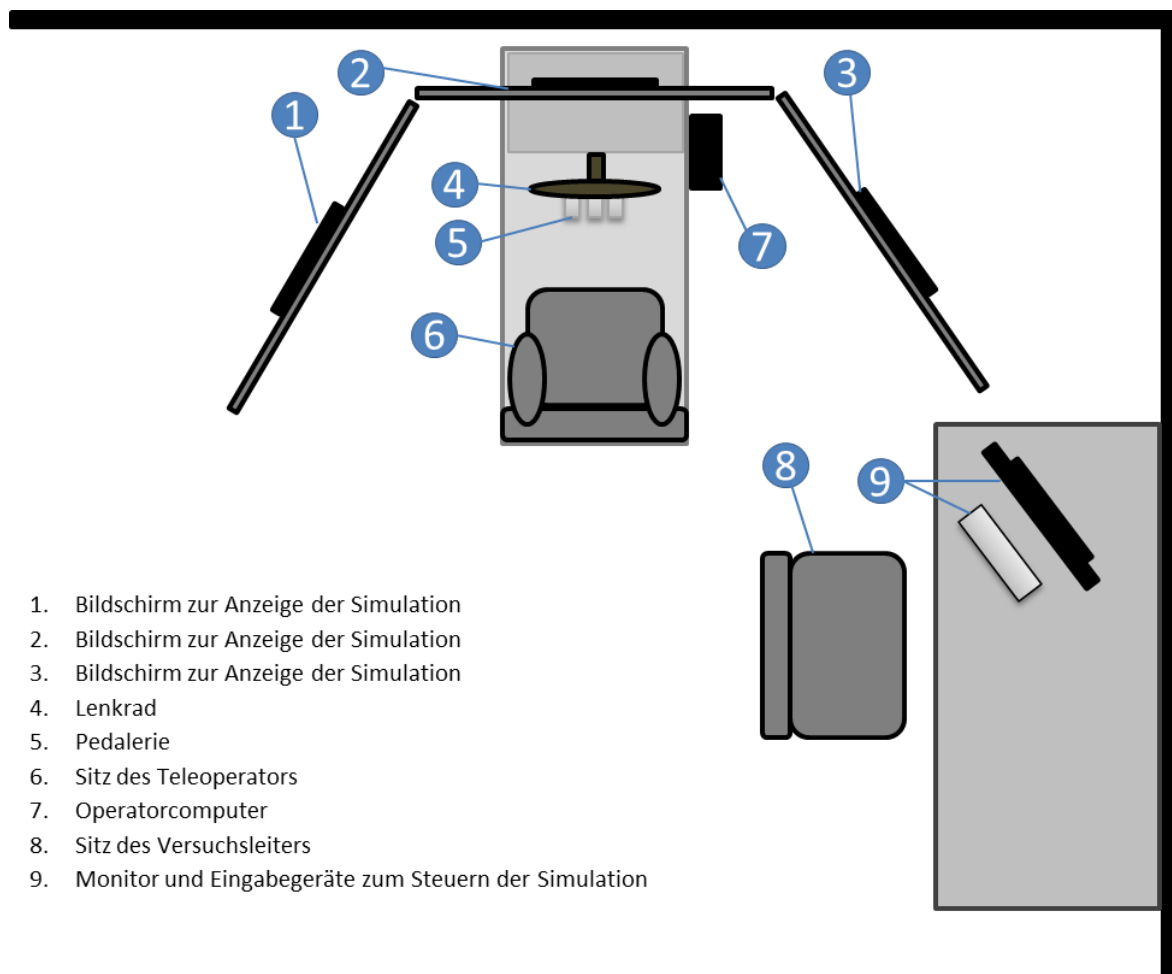


Abbildung 5.1: Aufbau des Fahrsimulators



Abbildung 5.2: Überblick über den Fahrsimulator

Abbildung 5.2 zeigt die Darstellung während der Simulationsfahrt. Die Kameraposition ist mittig im Fahrzeug angeordnet und ermöglicht einen Blickwinkel von etwa 180°. Seiten- oder ein Rückspiegel sind nicht vorhanden. Zusätzliche Informationen wie eine Geschwindigkeitsanzeige werden für die Versuche extra ausgeblendet, um von den Probanden eine Einschätzung bezüglich des Geschwindigkeitsgefühls abfragen zu können. Die vier auf die Straße projizierten weißen Flächen, entsprechen den berechneten, tatsächlichen Positionen der Räder. Die beiden in blau eingezeichneten Rechtecke symbolisieren die maximalen Außenmaße des Fahrzeugs.

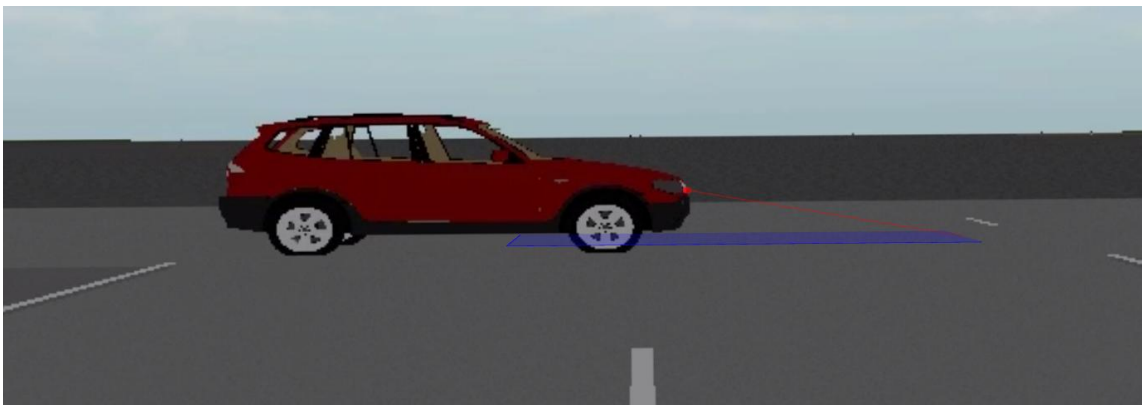


Abbildung 5.3: Darstellung der Prädiktion anderer Fahrzeuge aus der Seitenansicht

Abbildung 5.3 zeigt die Darstellung der Prädiktion der weiteren Verkehrsteilnehmer. Die blau dargestellte Fläche symbolisiert die Abmaße des Fahrzeugs in der Ebene an der Stelle der tatsächlichen Position. Um die Zuordnung der dargestellten Predictive Displays zu den dazugehörigen Fahrzeugen jederzeit zu gewährleisten, ist eine rote Verbindungslinie zwischen beiden Visualisierungen eingezeichnet.

5.2 Szenarien

Um den Nutzen des Predictive Display zu erproben werden besonders kritische Fahrsituationen nachgebildet. Diese sind an den aufgestellten übergeordneten Hypothesen orientiert. Die diversen Szenarien führen die Probanden in verschiedene, dem realen Verkehrsgeschehen nachempfundene Situationen. Die zu untersuchenden Merkmale sind dabei häufig unterschiedlich.

Als Fahrzeug wird in der Simulation ein BMW X3 verwendet, der sich aufgrund seiner Höhe gut als Versuchsfahrzeug eignet. Da die Kameras unter dem Dachhimmel angeordnet sind, wird ein weiter Überblick über das Verkehrsgeschehen ermöglicht. Auch die anderen Verkehrsteilnehmer, im Folgenden in Anlehnung an die Bezeichnung in DYNA4 auch „Traffic Vehicle“ genannt, sind vom Typ BMW X3. Dies erleichtert aufgrund der identischen Fahrzeuggeometrien im Anschluss die Auswertung der Fahrperformance. Versuchsfahrten mit dem realen Fahrzeug haben ergeben, dass die Verzögerung der Videobilder normalerweise weniger als 500 Millisekunden beträgt. Um den Schwankungseinfluss der Verzögerung zu eliminieren wird die Verzögerung in der Simulation auf 500 Millisekunden geglättet.

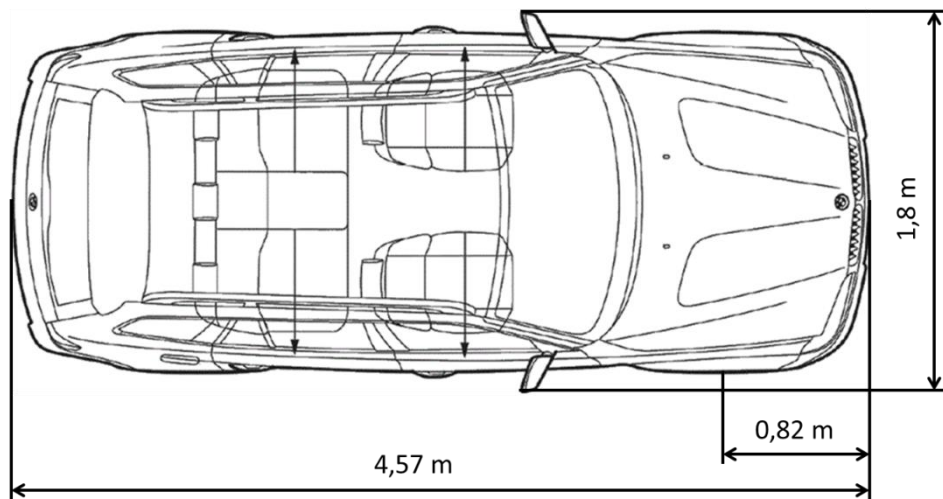


Abbildung 5.4: Außenmaße des BMW X3 [BMW13]

5.2.1 Hütchenparcour

Um den Einfluss des Predictive Display auf das Handling zu testen eignet sich besonders gut ein Hütchenparcour, bestehend aus in Reihe aufgestellten Pylonen.

Versuchsaufbau

Der Hütchenparcour beginnt, wie in Abbildung 5.5 dargestellt, mit einem leicht kurvigen Segment um dem Proband die Möglichkeit zu geben, sich erneut mit dem Handling vertraut zu machen. Nach einigen Sekunden Fahrzeit wird die Straße gerade und die eigentliche Slalomstrecke kommt in Sichtweite. Der Fahrer hat nun die Möglichkeit, das Fahrzeug auf die gewünschte Position auszurichten. Es ist vorgegeben, das Umfahren der ersten Pylone von rechts zu beginnen.

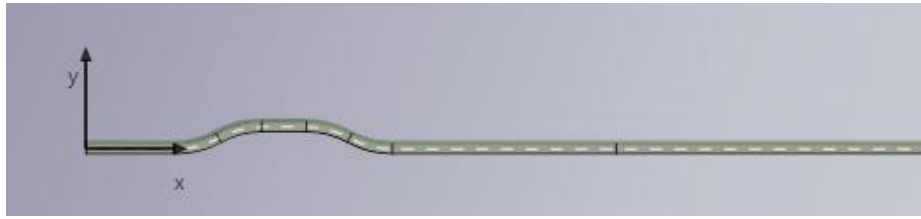


Abbildung 5.5: Streckengeometrie Szenario 1

Während der Fahrt ist die Geschwindigkeit zunächst mit 30 km/h fest voreingestellt, der Proband übernimmt lediglich die Lenkung des Fahrzeugs. Nach dem kurvigen Segment beschleunigt das Fahrzeug kurzzeitig auf 50 km/h, bremst vor den Pylonen jedoch wieder auf 30 km/h ab. Die Hütchen stehen in einem Abstand von 30 m zueinander. Es sind insgesamt 8 Stück. Die Simulation wird einige Meter nach der letzten Pylone automatisch beendet.

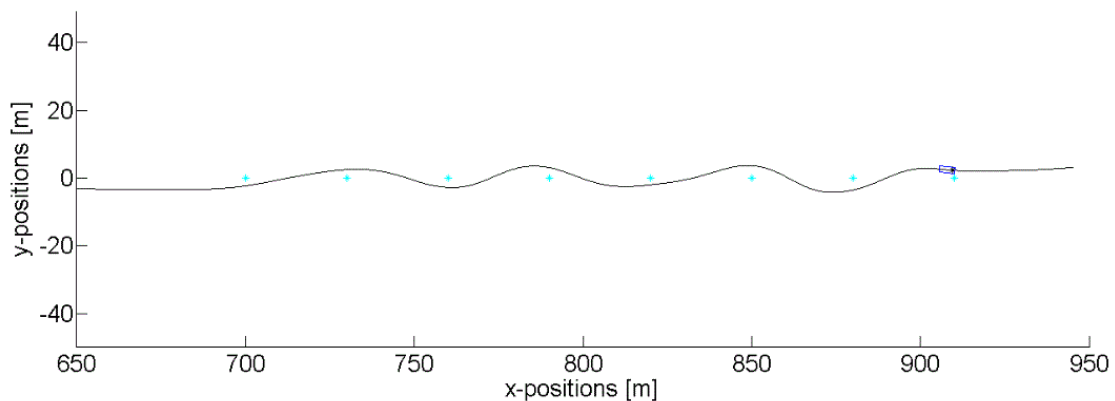


Abbildung 5.6: Fahrweg Hütchenparcour

Bewertungssystem

Beim *Hütchenparcour* wird gewertet, wie gut die Probanden im Slalom um die Pylonen fahren können. Dabei wird ausgewertet, ob ein Hütchen berührt wurde oder nicht und ob es auf der richtigen Seite umfahren wurde. Pro korrekt umfahrenem Hütchen werden dem Proband 0,125 Punkte gutgeschrieben.

5.2.2 Fahrbahnverjüngung

Das Szenario *Fahrbahnverjüngung* beinhaltet ein Überholmanöver und simuliert den Vorgang des Auffahrens auf eine Autobahn oder Schnellstraße bei der die Probanden sich mithilfe einer Beschleunigungsspur in den laufenden Verkehr einordnen müssen.

Versuchsaufbau

Die Strecke beginnt zunächst zweispurig mit je einer Spur pro Fahrtrichtung. Nach 200 m erweitert sich die rechte Fahrspur wodurch nach 250 m eine dreispurige Straße erreicht ist. Nach weiteren 200 m verringert sich die Straßenbreite erneut auf 2 Fahrbahnen. Dieser Vorgang ist bei insgesamt 500 m abgeschlossen. Zwei weitere Verkehrsteilnehmer, die im Abstand von 40 m angeordnet sind fahren mit konstanter Geschwindigkeit von 20 km/h geradeaus. Durch Verkehrszeichen an den Straßenrändern ist die maximal erlaubte Geschwindigkeit gekennzeichnet. Sie beträgt 30 km/h. Die Aufgabe des Probanden ist zunächst, die bei-

den Fahrzeuge einzuholen und auf die Beschleunigungsspur auszuscheren. Im weiteren Verlauf soll sich der Proband mittig zwischen den Fahrzeugen einordnen und den Abstand zum Vordermann möglichst konstant halten.

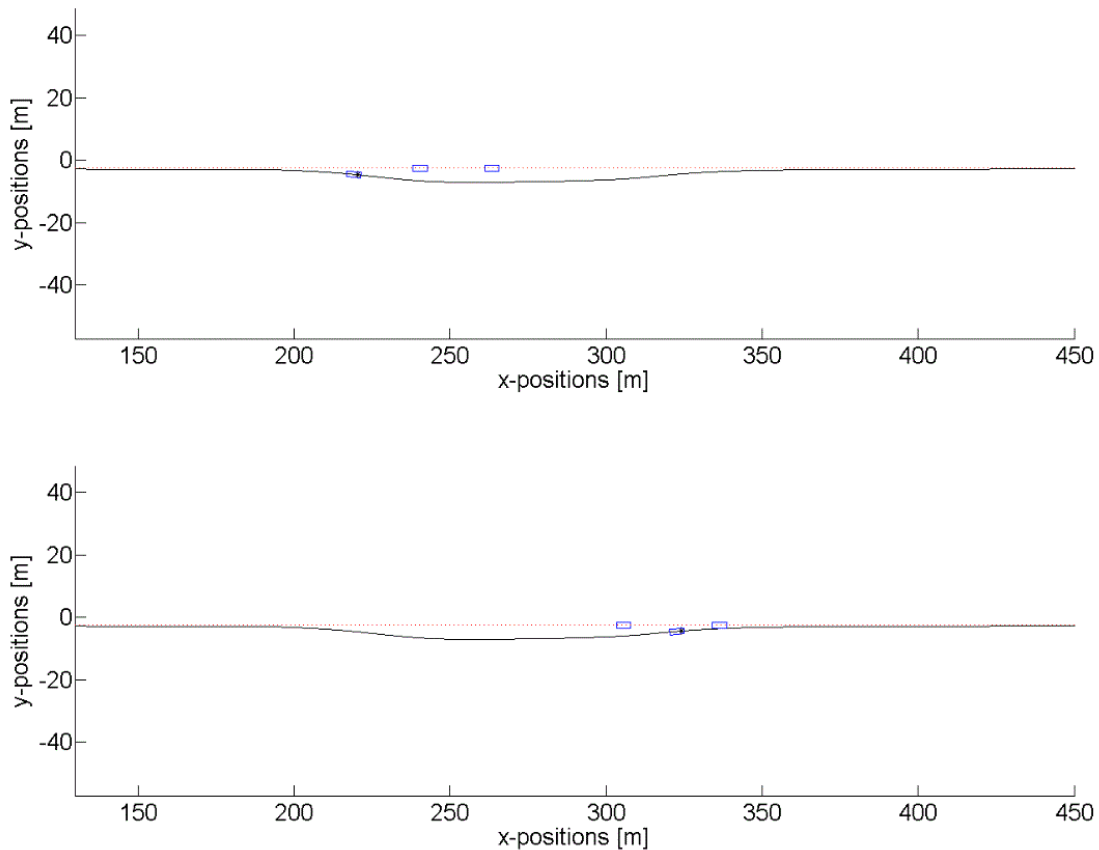


Abbildung 5.7: Fahrbahnverjüngung

Abbildung 5.6 zeigt zwei charakteristische Situationen des Szenarios. Aufgezeigt ist zunächst der Zeitpunkt, an dem der Proband ausschert und zum Überholvorgang ansetzt und anschließend den Vorgang des Einscherens.

Bewertungssystem

Bei *Fahrbahnverjüngung* ist die Vergabe der Punkte aufgeteilt. Die erste Hälfte der Punkte wird für das mittige Einscheren zwischen den beiden Fahrzeugen vergeben: Gemessen werden die Abstände x_1 und x_2 zwischen dem eigenen Fahrzeug und den Traffic Vehicles. Der Zeitpunkt für die Messung ist dabei der Punkt, an dem das eigene Fahrzeug die rechte Achse der anderen Fahrzeuge schneidet. Das hintere Verkehrsfahrzeug ist mit einem Abstandswarner ausgestattet, der bei Erkennen zu geringer Abstände zum Vordermann die Geschwindigkeit reduzieren kann. Der Bremsvorgang ist der realen Verkehrssituation nachempfunden, in der ein verfolgendes Fahrzeug aufgrund zu geringer Distanz zum Vordermann abbremsen würde. Da in der Operatoransicht kein Rückspiegel eingeblendet ist, werden durch diese Unterstützung häufige Kollisionen nach dem Einordnen verhindert. Für die Bewertung wird die Differenz zwischen x_1 und x_2 betrachtet. Je kleiner diese Differenz, desto besser ist die Position des Einscherens gewählt. Die zweite Hälfte der Punkte wird für das Halten des Abstands zum Vordermann vergeben. Hierfür wird die Standardabweichung von x_1 ab dem Einscheren ausgewertet.

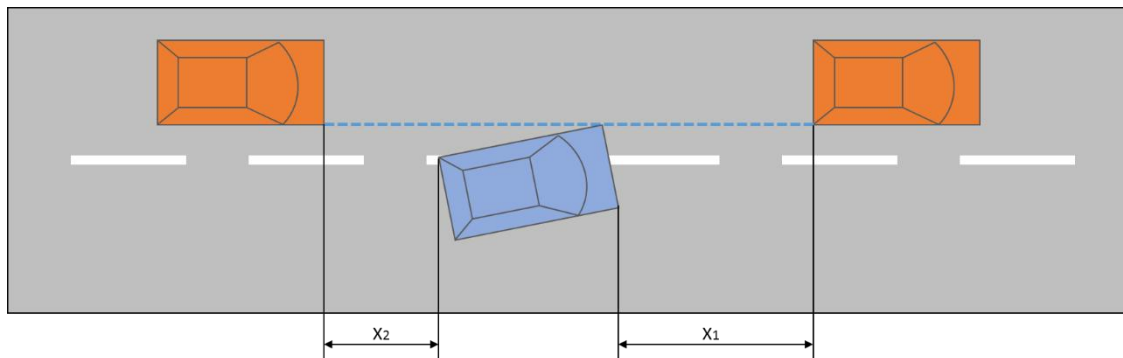


Abbildung 5.8: Messpunkt in Szenario 2

Der Zusammenhang zwischen Leistung und Punktzahl ist im zweiten Teil der Auswertung abhängig von der Performance des Probandenkollektivs. Da kein absoluter, schlechtester Wert existiert, bekommen die 10 Prozent der Probanden mit den geringsten Ergebnissen jeweils keine Punkte.

Tabelle 5.1: Punktevergabe Szenario 2

Ergebnis der Simulation	„Einscheren“	Ergebnis der Simulation	„Abstand halten“
$X_1 = X_2$	0,5 Punkte	Standardabweichung = 0	0,5 Punkte
Zwischenwerte	$0 < \text{Punkte} < 0,5$	Zwischenwerte	$0 < \text{Punkte} < 0,5$
X_1 oder $X_2 = 0$	0 Punkte	Schlechteste 10%	0 Punkte
Unfall	0 Punkte	Unfall	0 Punkte

5.2.3 Kreuzung

In diesem Szenario hat der Proband die Aufgabe, eine Kreuzung aus dem Stand zu überqueren. Die Kreuzung wird von Traffic Vehicles quer zur eigenen Fahrtrichtung von rechts nach links gekreuzt. Das Ziel des Szenarios ist, den Mehrwert der Prädiktion bei quer fahrenden Fahrzeugen zu untersuchen.

Versuchsaufbau

Das Szenario beginnt mit einer zweispurigen Landstraße die je eine Fahrspur pro Richtung aufweist. Nach knapp 100 m mündet die Straße in eine Kreuzung. Anhand eines über der Straße angebrachten Stopp-Schildes wird auf die vorherrschende Vorfahrtsregelung hingewiesen. Weiterhin ist die Kreuzung stark befahren. Traffic Vehicles bewegen sich in konstantem Abstand von 20 Metern quer zur eigenen Fahrstraße von rechts nach links mit einer Geschwindigkeit von 18 km/h (5 m/s).

Bewertungssystem

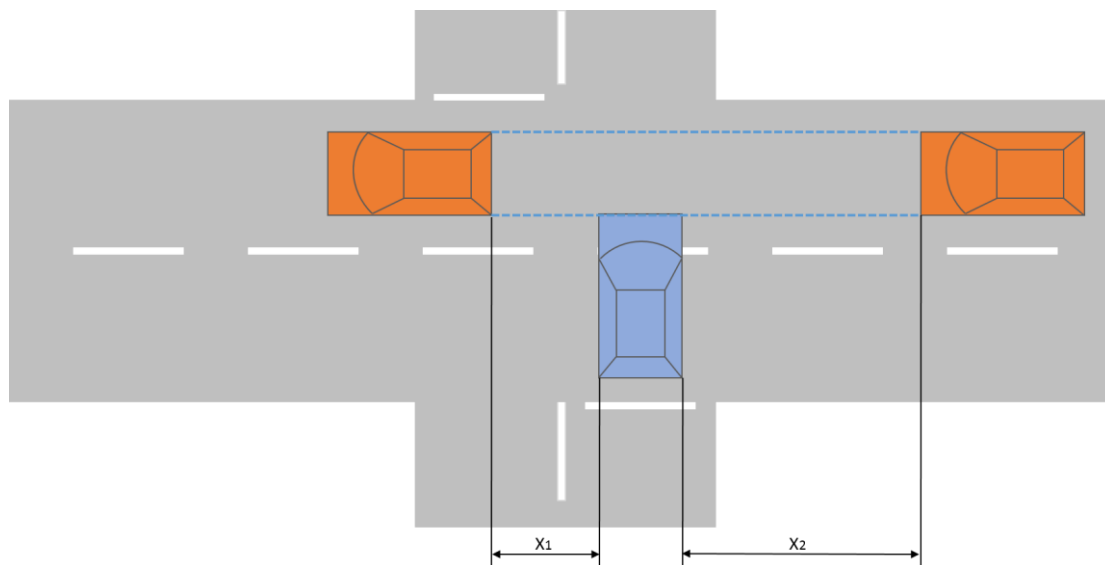


Abbildung 5.9: Erster Messpunkt in Szenario 3

Für die Auswertung der Fahrleistung werden in diesem Szenario zwei Abstandsmessungen getätigt. Sobald die eigene Fahrzeugspitze die linke Achse der Traffic Vehicle berührt (Abbildung 5.9) wird ein erstes Mal der Abstand gemessen (x_1 und x_2). Verlässt das Heck die rechte Achse der anderen Verkehrsteilnehmer (Abbildung 5.10), wird erneut der Abstand berechnet (x_3 und x_4). Das bestmögliche Ergebnis wird erzielt, wenn die Mittelwerte der Abstände (d_1 und d_2) identisch sind. Diese Mittelwerte berechnen sich mit $d_1 = \frac{x_1+x_3}{2}$ und $d_2 = \frac{x_2+x_4}{2}$.

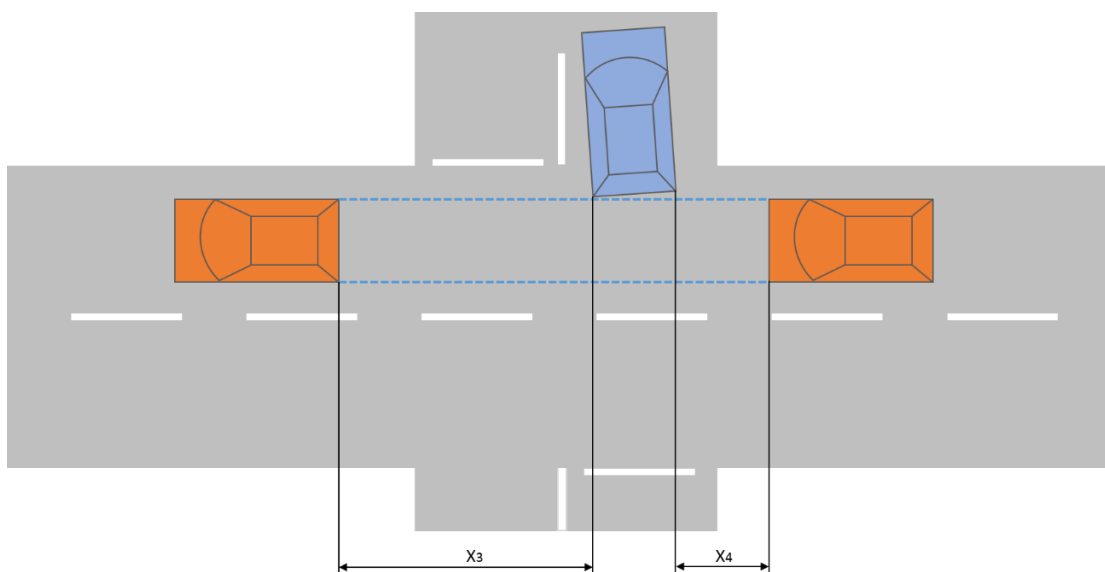


Abbildung 5.10: Zweiter Messpunkt in Szenario 3

Tabelle 5.2 zeigt die zu erreichenden Punkte anhand der Verhältnisse von d_1 und d_2 zueinander. Je ähnlicher die beiden Werte, desto mehr Punkte können erzielt werden.

Tabelle 5.2: Punktevergabe Szenario 3

Unterschied d_1 zu d_2	Erzielte Punkte
d_1 zu $d_2 = 0$	1 Punkt
Zwischenwerte	$0 < \text{Punkte} < 1$
Kollision	0 Punkte

5.2.4 Kreuzung abbiegen

Beim Einbiegen in eine Vorfahrtstraße ist die Beobachtung des Verkehrs von großer Bedeutung. Gerade bei stark befahrenen Straßen ist die Auswahl eines passenden Einschertzeitpunkts wichtig, um die Sicherheit nicht zu gefährden und einen reibungslosen Verkehrsfluss aufrecht zu erhalten. In diesem Szenario wird ein solches Einscheren in eine Vorfahrtstraße anhand einer T-Kreuzung simuliert und der Zeitpunkt des Abbiegens bewertet. Die wesentlichen Aufgaben der Probanden sind dabei besonders die korrekte Einschätzung der Positionen und Geschwindigkeiten der anderen Verkehrsteilnehmer, sowie die Wahl eines geeigneten Zeitpunktes zur Beschleunigung aus dem Stand.



Abbildung 5.11: Design des Szenarios Kreuzung abbiegen

Versuchsaufbau

Die Straßengeometrie entspricht einer T-Kreuzung. Wie bereits im vorigen Szenario wird die Kreuzung von Fahrzeugen befahren. Diese bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 20,16 km/h (5,6 m/s) von links nach rechts entlang der Vorfahrtstraße und haben einen identischen Abstand von jeweils 28 m. Das eigene Fahrzeug befindet sich zu Simulationsbeginn in einigen wenigen Metern Distanz zur Kreuzung, es ist dem Proband damit selbst überlassen ob er sich erst an die Kreuzung herantasten möchte oder einen Geschwindigkeitsvorteil nutzt um in die Vorfahrtstraße einzuscheren. Die Abbruchbedingung des Szenarios ist Geschwindigkeitsabhängig und beträgt 28,8 km/h (8 m/s).

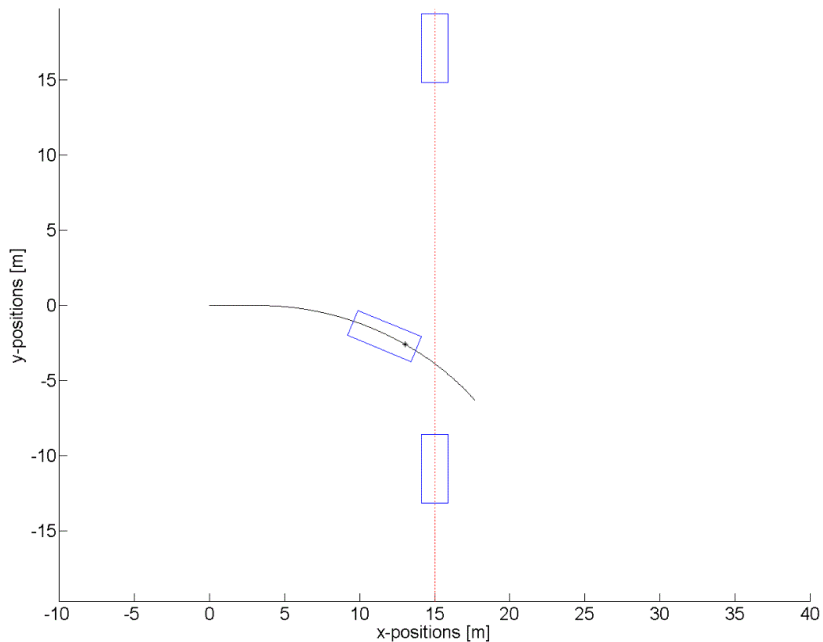


Abbildung 5.12: Moment des Einschlerens bei Kreuzung abbiegen

Bewertungssystem

Gemessen wird der kleinste Abstand zwischen dem rechten Traffic Vehicle und dem eigenen Fahrzeug. Die Messung wird genommen, sobald das teleoperierte Fahrzeug die rechte Achse der Traffic Vehicle zum ersten Mal schneidet.

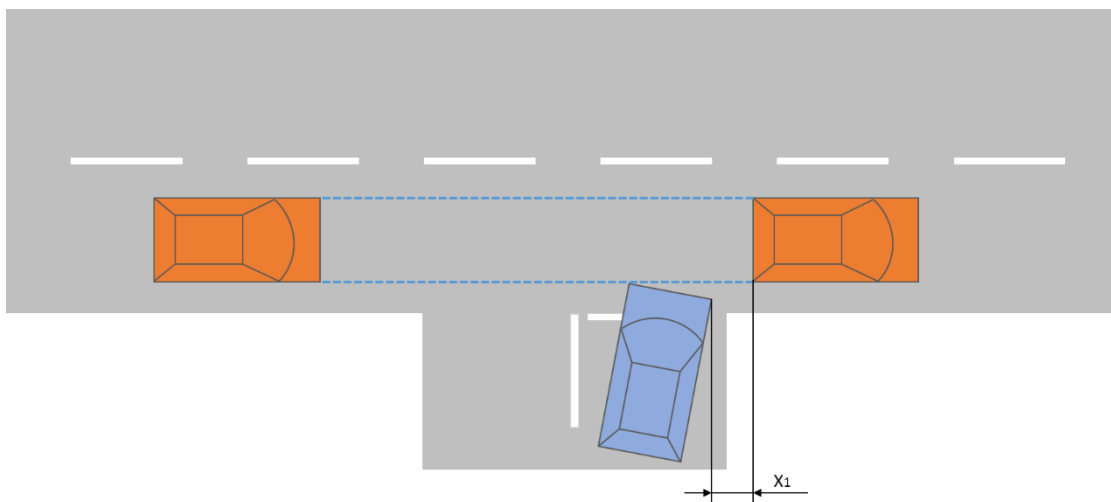


Abbildung 5.13: Messpunkt in Szenario 4

Die Berechnung ist ähnlich wie in Szenario 2. Das optimale Ergebnis wird bei $x_1=0$ erreicht, da dies der Zeitpunkt ist, ab dem Unfallfrei in die Kreuzung eingeschert werden kann und die meiste Zeit zur Einordnung bleibt. Ab einem Abstand von $x_1 = 10$ m kann davon ausgegangen werden, dass der Zeitpunkt zu spät gewählt ist, und es aufgrund begrenzter Beschleunigung beim eigenen Fahrzeug zu einer Kollision kommt. Zwischen diesen beiden Extremwerten sind die zu erreichenden Punkte linear verteilt.

5.2.5 Kreuzung 30

Kreuzung 30 ist dicht an *Kreuzung* angelehnt, mit dem Unterschied, dass die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs fest vorgegeben ist. So soll ermöglicht werden, dass der Proband sich ausschließlich auf die Traffic Vehicle und ihre Prädiktion fokussieren kann.

Versuchsaufbau

Das Szenario beginnt erneut mit einer zweispurigen Landstraße, die je eine Fahrspur pro Richtung aufweist. Nach 300 m mündet die Straße in eine Kreuzung. Anhand eines über der Straße angebrachten Vorfahrt-Achten-Schildes wird auf die vorherrschende Vorfahrtsregelung hingewiesen. Traffic Vehicles bewegen sich erneut quer zur eigenen Fahrstraße von rechts nach links. Sie befahren die Kreuzung mit einer Geschwindigkeit von 18 km/h. Die Abstände der Fahrzeuge sind konstant. Im Gegensatz zu Szenario 3 kann der Teleoperator das Fahrzeug diesmal nicht abbremsen, um Zeit für die Werkstellung der Situation zu gewinnen. Die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs beträgt konstant 30 km/h. Auf einem Bürgersteig am rechten Straßenrand läuft ein Fußgänger spazieren. Dieser greift nicht in das Verkehrsgeschehen ein und dient lediglich der realitätsgetreuen Gestaltung der Umgebung.

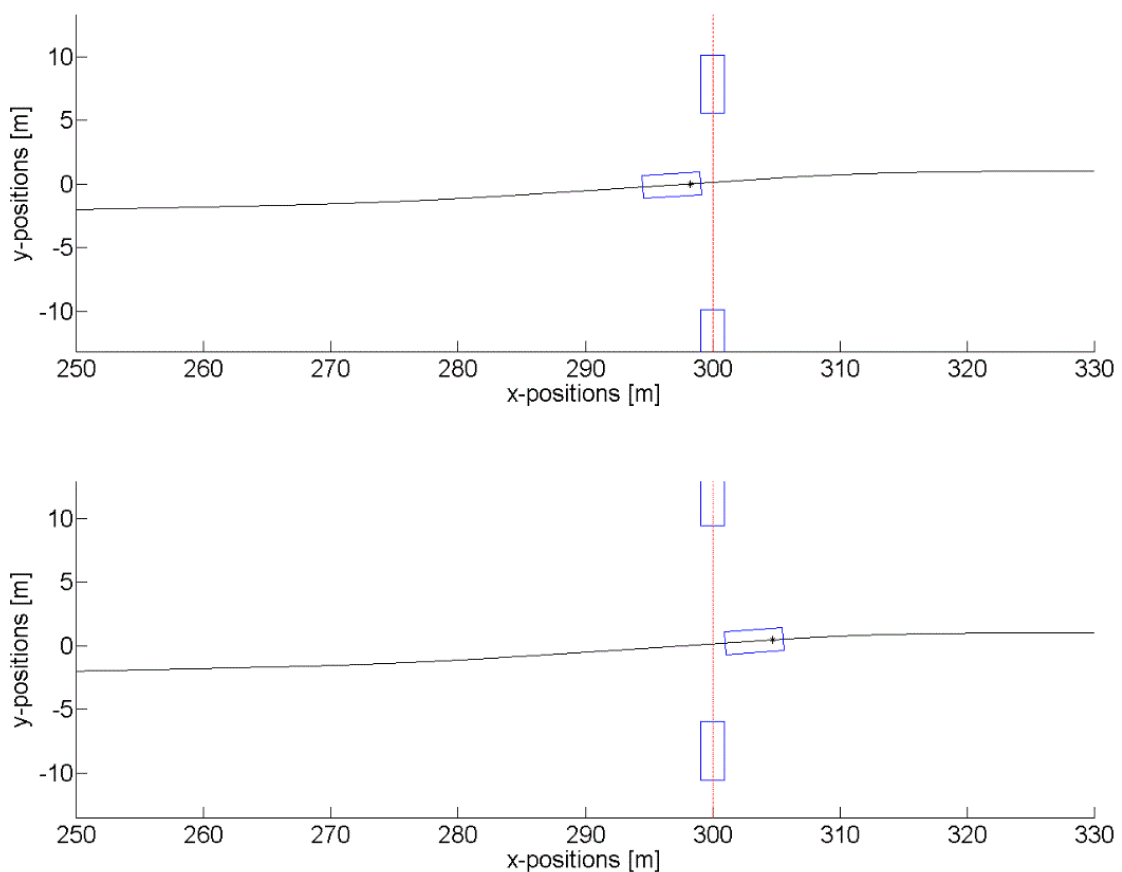


Abbildung 5.14: Überfahren der Querstraße in Kreuzung 30

Bewertungssystem

Die Berechnung der Punkte erfolgt identisch zu Szenario 3 (vgl. Abschnitt 5.2.3).

5.2.6 Überholvorgang

Neben Traffic Vehicles oder Passanten wurde auch für Fahrradfahrer im Vorfeld dieser Studie eine Prädiktion entwickelt. Um generell das Fahrverhalten gegenüber Fahrradfahrern, insbesondere aber den Nutzen der Prädiktion an diesen zu untersuchen, wird in Szenario *Überholvorgang* das Einscheren vor einem Fahrrad durchgeführt.

Versuchsaufbau

Die Straße verläuft zweispurig in jede Richtung. Der Fahrradfahrer startet in einer Entfernung von 100 m zum eigenen Fahrzeug auf der rechten Spur mit einer Geschwindigkeit von 20 km/h. Die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs ist konstant mit 50 km/h vorgegeben, wodurch in der prädizierten Ansicht ein Überblick auf das gesamte Fahrzeug möglich ist. Die Aufgabe des Probanden ist, sich dem Fahrrad auf der Überholspur zu nähern, es zu überholen und möglichst knapp auf die rechte Fahrspur zu wechseln. Das Szenario bricht nach 35 Sekunden automatisch ab.

Bewertungssystem

Gemessen wird der Abstand zum Fahrrad (x_1), den das eigene Fahrzeug hat, sobald die Mittelachse des Fahrrads zum ersten Mal gekreuzt wird.

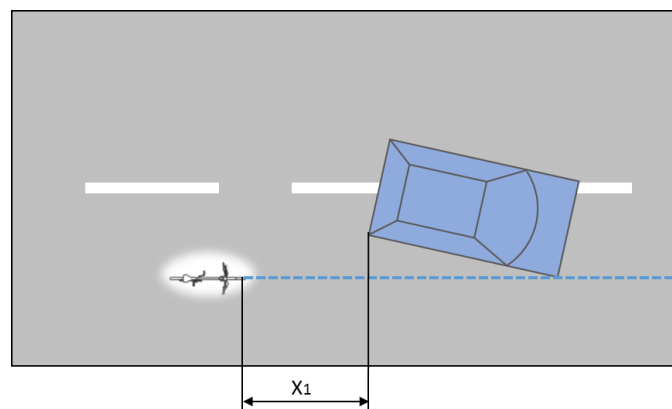


Abbildung 5.15: Messpunkt in Szenario 6

Die Punktevergabe orientiert sich wie bereits in Szenario 2 am Abschneiden des Probandenkollektivs. Bei einer Kollision mit dem Fahrrad werden erneut keine Punkte vergeben.

Tabelle 5.3: Punktevergabe Szenario 6

Ergebnis der Simulation	Erreichbare Punkte
$x_1 = 0$	1 Punkt
Zwischenwerte	$0 < \text{Punkte} < 1$
Schlechteste 10%	0 Punkte
Kollision	0 Punkte

5.2.7 Nah Auffahren

In diesem Szenario soll ein weiterer Verkehrsteilnehmer verfolgt werden. Aufgabe ist, dem Traffic Vehicle so nah wie möglich aufzufahren und eine minimale Entfernung über einen möglichst langen Zeitraum zu halten. Das Ziel des Versuchs ist es, Erkenntnisse über die Unterstützung des Predictive Display beim Abschätzen von Entfernungen zu bekommen. So soll das Szenario aufzeigen, ob die Prädiktion ein besseres Verständnis der Positionen des Fremdfahrzeugs als auch des eigenen Fahrzeugs ermöglicht.

Versuchsaufbau

Die Fahrt erfolgt auf einer geraden, zweispurigen Landstraße. In diesem Szenario kommt ein Traffic Vehicle zum Einsatz, das mit konstanter Geschwindigkeit von 28,8 km/h (8 m/s) auf der rechten Fahrbahn fährt. Der Wert ist ungerade gewählt um dem Proband ein Anpassen der Geschwindigkeit nicht zu ermöglichen. Um die Verfolgung zu realisieren, besteht ein Startabstand von 20 m. Das eigene Fahrzeug ist manuell zu beschleunigen und auf die rechte Spur auszurichten um die Verfolgung aufzunehmen. Der Versuch wird nach 700 Metern Fahrweg beendet.

Bewertungssystem

Bewertet wird die durchschnittliche Distanz zum vorausfahrenden Fahrzeug auf einem Abschnitt der Strecke zwischen $s_1=400$ m bis $s_2=700$ m. Dazu wird der mittlere Abstand gebildet. Eine Kollision führt in diesem Szenario nicht automatisch zu einem vollständigen Punkterlust. Stattdessen geht der negative Abstand mit Faktor zehn in die Berechnung des durchschnittlichen Abstandes ein.

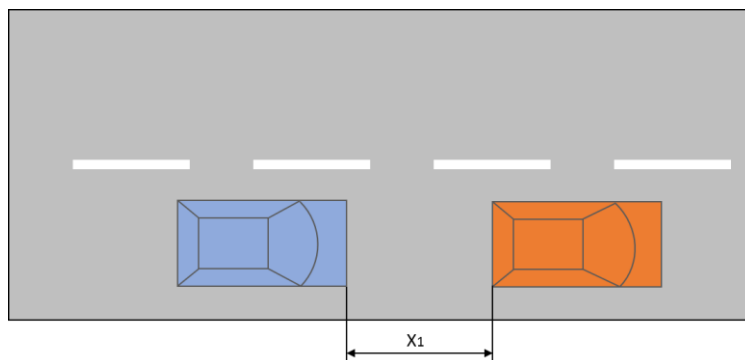


Abbildung 5.16: Messpunkt in Szenario 7

Tabelle 5.4: Punktevergabe Szenario 7

Ergebnis der Simulation	Erreichbare Punkte
$X_1 = 0$	1 Punkt
$X_1 > 0$	$0 < \text{Punkte} < 1$
$X_1 < 0$ (Kollision)	Negative Punkte mit Faktor 10. Insgesamt ist jedoch keine negative Punktzahl möglich.
Schlechteste 10%	0 Punkte

5.2.8 Gegenverkehr

Bei dem Szenario *Gegenverkehr* fahren das eigene Fahrzeug sowie das Traffic Vehicle aufeinander zu. Ziel ist es, dem entgegenkommenden Fahrzeug möglichst spät auszuweichen.

Die Besonderheit an diesem Szenario ist, dass der tatsächliche Abstand der beiden Fahrzeuge aufgrund der entgegengesetzten Fahrtrichtung um ein wesentliches geringer ist, als auf den Videobildern ersichtlich. In Kombination mit der Verzögerung des Lenkrads wird der Proband vor die Aufgabe gestellt, das Zusammenspiel aller Verzögerungen richtig einzuschätzen und den optimalen Ausweichzeitpunkt zu wählen.

Versuchsaufbau

Das Design des Szenarios ist identisch zu *Nah Auffahren* aus vorherigem Abschnitt. Ein Traffic Vehicle startet in 600 Metern Entfernung auf der entgegenkommenden Fahrbahn und fährt konstant 30 km/h in negativer x-Richtung.

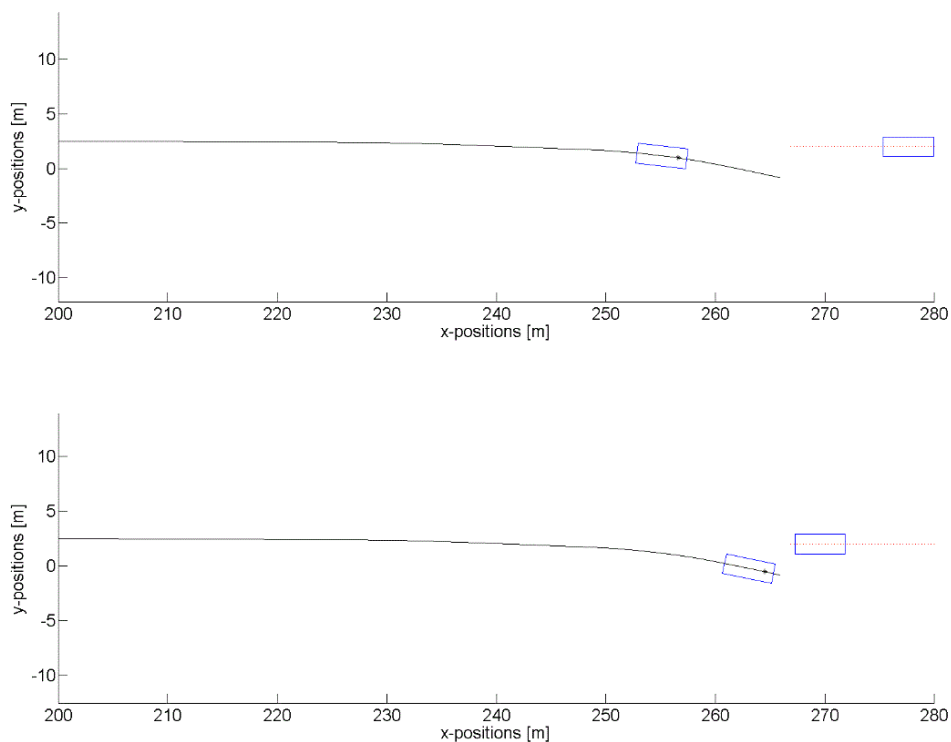


Abbildung 5.17: Entscheidende Situationen in Szenario Gegenverkehr

Abbildung 5.17 zeigt zunächst die Position bei der das Ausweichmanöver begonnen wird. Anschließend den Zeitpunkt ab dem das Fahrzeug vollständig ausgewichen ist.

Bewertungssystem

Die Berechnung der Punkte erfolgt in diesem Szenario erneut anhand zweier Messungen. Sobald der Proband mit dem Fahrzeug die Mittelachse der Straße überquert erfolgt die erste Abstandsmessung (x_1). Nachdem das Auto mit seinem letzten Eckpunkt die linke Achse des Traffic Vehicles verlässt, erfolgt die zweite Messung (x_2).

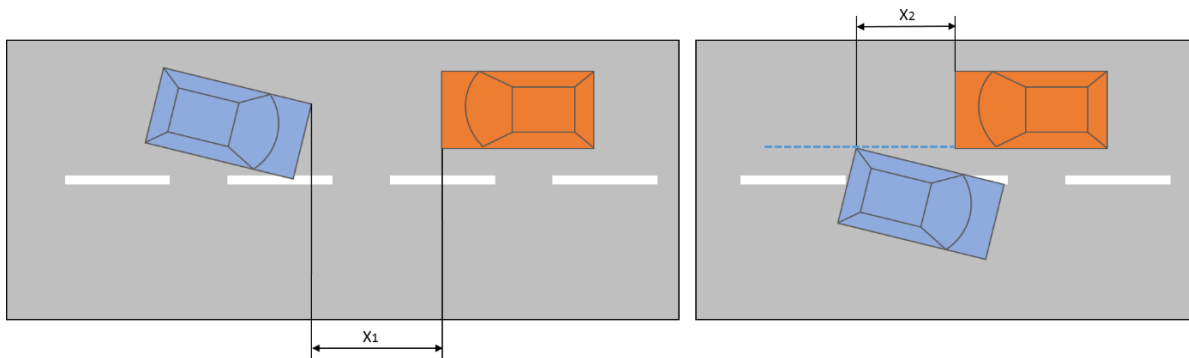


Abbildung 5.18: Messpunkte in Szenario 8

Diese beiden Messungen werden addiert und identisch zu Szenario 6 in Punkte umgerechnet.

Tabelle 5.5: Punktevergabe Szenario 8

Ergebnis der Simulation	Erreichbare Punkte
Bestes Ergebnis	1 Punkt
Zwischenwerte	$0 < \text{Punkte} < 1$
Schlechteste 10%	0 Punkte
Kollision	0 Punkte

5.3 Messgrößen

Für jeden Proband werden sowohl objektive als auch subjektive Messgrößen aufgezeichnet. Auf diese Weise kann in der abschließenden Auswertung betrachtet werden, in wie weit das persönliche Empfinden mit den gemessenen Werten übereinstimmt. Die objektiven Daten werden vom Operatorcomputer aus DYNA4 ausgelesen, die subjektiven Eindrücke aus Fragebögen entnommen.

5.3.1 Objektive Messgrößen

Der Operatorcomputer speichert eine Vielzahl von Messdaten anhand derer die Simulationsfahrten der Probanden rekonstruiert werden können. Mit den gewonnenen Daten und den in Unterkapitel 5.2 vorgestellten Formeln lassen sich die Fahrleistungen der einzelnen Szenarien sowie die Gesamtfahrleistung berechnen. Diese Berechnungen bilden bei der Überprüfung der Hypothesen eine wichtige Grundlage. Angelehnt an die Ordnerstruktur in DYNA4, lassen sich die Messdaten in sechs Gruppen untergliedern:

Tabelle 5.6: Messungen Gruppe Task

	Einheit
SimulationTime	[s]

Tabelle 5.7: Messungen Gruppe Traffic

	Bezeichnung	Einheit
TrafficObject1	AccWorldSys	[m/s ²]
TrafficObject2	PosWorldSys	[m]
TrafficObject3	Length	[m]
TrafficObject4	Width	[m]
TrafficObject6	VelWorldSys	[m/s]
TrafficObject7	YawAng	[rad]
TrafficObject8	ObjectType	[-]
TrafficObject9	FrontAxleOffset	[m]
TrafficObject10	DetectionQualityFactor	[0_1]
NumObjects		[-]

Tabelle 5.8: Messungen Gruppe Vehicle Control

	Bezeichnung	Einheit
LongitudinalControl	UserDefindedAdditionalInput1	[-]
	UserDefindedRefValue	[-]
UserDefindedControl	UserDefinedMiscellaneousSignal1	[-]
LateralControl	SteeringWheelAng	[rad]
	UserDefinedAdditionalInput1	[-]
	UserDefinedRefValue	[-]

Tabelle 5.9: Messungen Gruppe Vehicle / Chassis

	Bezeichnung	Einheit
VehicleBody	YawAng	[rad]
	YawRate	[rad/s]
	SideSlipAng	[rad]
	Vel_wrt_WorldSysVehSys	[m/s]
	Acc_wrt_WorldSysVehSys	[m/s ²]
FrontAxle	SteeringWheelAng	[rad]

Tabelle 5.10: Messungen Gruppe CTRL

	Bezeichnung	Einheit
LongitudinalControl	UserDefinedRefValueEnforced	[-]
	UserDefinedRefValue	[-]

Tabelle 5.11: Messwerte User Inputs

	Bezeichnung	Einheit
	AccPedalPos	[0;1]
	BrakePedalPos	[0;1]
	RefSpd	[m/s]
	ClutchPos	[0;1]
	SteeringWheelAng	[rad]
	MinGear	[-4;20]
	MaxGear	[-4;20]
DirectInputs	ParkingLock	[0;1]
	Handbrake	[0;1]
	StopSimulation	[0;1]
	Init	[0;1]
	StartPath	[0;1]
	SetSegment	[0;1]
	LateralOffsetLeft	[0;1]
	LateralOffsetRight	[0;1]

5.3.2 Subjektive Messgrößen

Für die Erfassung der subjektiven Messgrößen kommen drei Fragebögen zum Einsatz. Diese werden im Folgenden kurz erläutert:

1. **Fragebogen vor dem Fahrversuch:** Der Fragebogen vor dem Fahrversuch wird zu Beginn beantwortet. Er dient dazu, allgemeine Daten wie Alter, Geschlecht, Fahr- oder Simulatorerfahrung und Fahrstil zu erfassen um eventuelle Abhängigkeiten mit den erzielten Fahrleistungen aufzuzeigen. Der Fragebogen befindet sich im Anhang C.
2. **Fragebogen nach dem Fahrversuch:** Der Fragebogen nach dem Fahrversuch wird im Anschluss an die Simulationsfahrten beantwortet. Er beinhaltet unter anderem Fragen zur Einschätzung der Geschwindigkeit, der Positionen der Fahrzeuge und dem Realitätsempfinden. Weiterhin wird der Proband nach der bevorzugten Darstellung und Änderungsvorschlägen für die Prädiktion gefragt. Der Fragebogen befindet sich im Anhang D.
3. **NASA-TLX:** Wie bereits in Unterabschnitt 3.1.2.2 eingeführt, ist der NASA-TLX ein standardisierter Fragebogen zur Erfassung der subjektiv erlebten Beanspruchung. Aus Gründen der deutlich einfacheren Umsetzung, wird der Fragebogen als etwas abgekürzter Raw TLX (RTLX) durchgeführt, was bedeutet, dass die erste Seite des Fragebogens individuell analysiert wird [Har06, S. 3]. Der Fragebogen wird ebenfalls nach den Versuchen beantwortet und ist sowohl für die Fahrten mit Prädiktion als auch die Fahrten mit normaler Anzeige gesondert auszufüllen.

5.4 Detaillierung der Hypothesen

Die übergeordneten Hypothesen aus Unterkapitel 4.2 werden im Folgenden anhand der entwickelten Szenarien und definierten Messgrößen detailliert. Dabei werden, wie in Unterkapitel 3.3 erläutert, jeweils eine Nullhypothese H_0 und eine Alternativhypothese H_1 aufgestellt.

Intuitivität

Anhand subjektiv erfasster Bewertungen wird überprüft inwieweit die Probanden ein Gespür für das Predictive Display haben. Hierfür wird der nach den Versuchen beantwortete Fragebogen ausgewertet. Die einzelnen Hypothesen lauten wie folgt:

Hypothese IN01: Mit dem Predictive Display lässt sich nicht besser auf den aktuellen Zustand des Fahrzeuges schließen.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungZustand(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungZustand(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungZustand(Predictive Display)}} > \mu_{\text{BewertungZustand(normale Anzeige)}}$$

Hypothese IN02: Mit dem Predictive Display lässt sich nicht besser auf die aktuelle Position des Fahrzeuges schließen.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungPosition(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungPosition(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungPosition(Predictive Display)}} > \mu_{\text{BewertungPosition(normale Anzeige)}}$$

Hypothese IN03: Mit dem Predictive Display lässt sich nicht besser auf die aktuelle Position der anderen Verkehrsteilnehmer schließen.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungVerkehrsteilnehmer(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungVerkehrsteilnehmer(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungVerkehrsteilnehmer(Predictive Display)}} > \mu_{\text{BewertungVerkehrsteilnehmer(normale Anzeige)}}$$

Lerneffekt

Der Lerneffekt soll sowohl durch das subjektive Empfinden der Probanden, als auch objektiv über die erzielten Fahrergebnisse ausgewertet werden. Für die Bewertung der objektiven Hypothesen, absolvieren die Probanden die jeweilige Versuchsreihe zwei Mal nacheinander. Verglichen wird dabei das jeweilige Gesamtergebnis das aus den Fahrleistungen der einzelnen Szenarien gemittelt wird. Mit Hilfe des Fragebogens können die Probanden zusätzlich ausdrücken, ob sie sich mit etwas mehr Übung auch komplexere Szenarien zutrauen würden.

Hypothese LE01: Die Probanden trauen sich mit dem Predictive Display gegenüber der normalen Anzeige nicht eher zu, komplexe und unbekannte Szenarien fehlerfrei zu bewältigen.

$$H_0: \mu_{\text{UnbekannteSzenarien(Predictive Display)}} = \mu_{\text{UnbekannteSzenarien(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{UnbekannteSzenarien(Predictive Display)}} > \mu_{\text{UnbekannteSzenarien(normale Anzeige)}}$$

Hypothese LE02: Die Probanden haben nicht das Gefühl, sich bei den Fahrten mit normaler Anzeige im zweiten Durchgang im Vergleich zum ersten Durchgang gesteigert zu haben.

$$H_0: \mu_{\text{SteigerungSubjektiv(normale Anzeige)}} \leq 3$$

$$H_1: \mu_{\text{SteigerungSubjektiv(normale Anzeige)}} > 3$$

Hypothese LE03: Die Probanden haben nicht das Gefühl, sich bei den Fahrten mit Predictive Display im zweiten Durchgang im Vergleich zum ersten Durchgang gesteigert zu haben.

$$H_0: \mu_{\text{SteigerungSubjektiv(Predictive Display)}} \leq 3$$

$$H_1: \mu_{\text{SteigerungSubjektiv(Predictive Display)}} > 3$$

Hypothese LE04: Die ohne Predictive Display erzielten Gesamtleistungen der Probanden unterscheiden sich zwischen dem ersten und zweiten Durchgang nicht.

$$H_0: \mu_{\text{GesamtleistungErsterVersuch(normale Anzeige)}} = \mu_{\text{GesamtleistungZweiterVersuch(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{GesamtleistungErsterVersuch(normale Anzeige)}} < \mu_{\text{GesamtleistungZweiterVersuch(normale Anzeige)}}$$

Hypothese LE05: Die mit Predictive Display erzielten Gesamtleistungen der Probanden unterscheiden sich zwischen dem ersten und zweiten Durchgang nicht.

$$H_0: \mu_{\text{GesamtleistungErsterVersuch(Predictive Display)}} = \mu_{\text{GesamtleistungZweiterVersuch(Predictive Display)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{GesamtleistungErsterVersuch(Predictive Display)}} < \mu_{\text{GesamtleistungZweiterVersuch(Predictive Display)}}$$

Risikobereitschaft

Zur Untersuchung der Risikobereitschaft werden die subjektiven Eindrücke der Teilnehmer bewertet. Diese werden durch den im Anschluss an die Versuche bearbeiteten Fragebogen erhoben. Wichtig ist, dass der Proband sich bewusst ist, ein reales Fahrzeug zu kontrollieren. Da nicht ersichtlich ist, ob die Prädiktion dazu verleitet ein höheres Risiko einzugehen oder die zusätzlichen Informationen als Risikoreduzierung gewertet werden wird Hypothese RB02 mit einer ungerichteten Alternativhypothese aufgestellt. Die Hypothesen sind somit:

Hypothese RB01: Das Gefühl einer realen Verkehrssituation unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungRealeSituation(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungRealeSituation(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungRealeSituation(Predictive Display)}} > \mu_{\text{BewertungRealeSituation(normale Anzeige)}}$$

Hypothese RB02: Die Risikobereitschaft unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungRisikobereitschaft(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungRisikobereitschaft(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungRisikobereitschaft(Predictive Display)}} \neq \mu_{\text{BewertungRisikobereitschaft(normale Anzeige)}}$$

Geschwindigkeitsgefühl

Auch für die Bewertung des Geschwindigkeitsgefühls werden die subjektiven Eindrücke der Teilnehmer ausgewertet. Die Hypothese lautet:

Hypothese GG01: Der Eindruck der Probanden zur Einschätzung der Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs mit Predictive Display unterscheidet sich im Vergleich zur normalen Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{EinschätzungGeschw.EF(Predictive Display)}} = \mu_{\text{EinschätzungGeschw.EF(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{EinschätzungGeschw.EF(Predictive Display)}} > \mu_{\text{EinschätzungGeschw.EF(normale Anzeige)}}$$

Hypothese GG02: Der Eindruck der Probanden zur Einschätzung der Geschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmer mit Predictive Display unterscheidet sich im Vergleich zur normalen Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{EinschätzungGeschw.TV(Predictive Display)}} = \mu_{\text{EinschätzungGeschw.TV(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{EinschätzungGeschw.TV(Predictive Display)}} > \mu_{\text{EinschätzungGeschw.TV(normale Anzeige)}}$$

Entlastung des Fahrers

Ob sich das Predictive Display positiv auf die Entlastung des Fahrers auswirkt, wird erneut durch die subjektive Bewertung der Probanden ermittelt. Da für die Bestimmung der Belastung standardisierte und erprobte Tests vorliegen, kommt für die Auswertung der in Unterabschnitt 3.1.2.2 vorgestellte NASA-RTLX-Fragebogen zum Einsatz. Die Hypothesen lauten folgendermaßen:

Hypothese EF01: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen „Geistigen Anforderung“.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungGeistigeAnforderung(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungGeistigeAnforderung(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungGeistigeAnforderung(Predictive Display)}} > \mu_{\text{BewertungGeistigeAnforderung(normale Anzeige)}}$$

Hypothese EF02: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen „Anstrengung“.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungAnstrengung(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungAnstrengung(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungAnstrengung(Predictive Display)}} > \mu_{\text{BewertungAnstrengung(normale Anzeige)}}$$

Hypothese EF03: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen „Frustration“.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungFrustration(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungFrustration(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Bewertung Frustration(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Bewertung Frustration(normale Anzeige)}}$$

Erfüllung Fahraufgabe

Die Erfüllung der Fahraufgaben wird hauptsächlich auf operativer Ebene, durch vom Operatorcomputer aufgezeichnete Daten überprüft. Die einzelnen Fahrleistungen berechnen sich aus den Zielen der jeweiligen Szenarien.

Auf die diversen Szenarien wird jeweils separat eingegangen um besonders kritische Fahrsituationen herausfiltern zu können. Das gibt die Chance zu erkennen an welchen Stellen eine weitere Entwicklung notwendig ist.

Hypothese FA01: Die Fahrleistung in Szenario 1 (Hütchenparcour) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario1(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario1(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario1(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario1(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA02: Die Fahrleistung in Szenario 2 (Fahrbahnverjüngung) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario2(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario2(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario2(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario2(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA03: Die Fahrleistung in Szenario 3 (Kreuzung) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario3(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario3(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario3(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario3(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA04: Die Fahrleistung in Szenario 4 (Kreuzung abbiegen) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario4(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario4(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario4(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario4(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA05: Die Fahrleistung in Szenario 5 (Kreuzung 30) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario5(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario5(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario5(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario5(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA06: Die Fahrleistung in Szenario 6 (Überholvorgang) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario6(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario6(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario6(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario6(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA07: Die Fahrleistung in Szenario 7 (Nah Auffahren) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{FahrleistungSzenario7(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario7(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario7(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario7(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA08: Die Fahrleistung in Szenario 8 (Gegenverkehr) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{FahrleistungSzenario8(Predictive Display)}} = \mu_{\text{Fahrleistung Szenario8(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{Fahrleistung Szenario8(Predictive Display)}} > \mu_{\text{Fahrleistung Szenario8(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA09: Die Gesamtanzahl an Kollisionen mit Traffic Vehicles unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{AnzahlKollisionen(Predictive Display)}} = \mu_{\text{AnzahlKollisionen(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{AnzahlKollisionen(Predictive Display)}} < \mu_{\text{AnzahlKollisionen(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA10: Die Gesamtleistung über alle Szenarien unterscheidet sich im ersten Durchgang zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang1(Predictive Display)}} = \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang1(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang1(Predictive Display)}} > \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang1(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA11: Die Gesamtleistung über alle Szenarien unterscheidet sich im zweiten Durchgang zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

$$H_0: \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang2(Predictive Display)}} = \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang2(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang2(Predictive Display)}} > \mu_{\text{GesamtleistungDurchgang2(normale Anzeige)}}$$

Hypothese FA12: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen Qualität der „Aufgabenerfüllung“.

$$H_0: \mu_{\text{BewertungAufgabenerfüllung(Predictive Display)}} = \mu_{\text{BewertungAufgabenerfüllung(normale Anzeige)}}$$

$$H_1: \mu_{\text{BewertungAufgabenerfüllung(Predictive Display)}} > \mu_{\text{BewertungAufgabenerfüllung(normale Anzeige)}}$$

5.5 Versuchsablauf

Um wie in Abschnitt 3.2.3 hergeleitet, die Objektivität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist der Ablauf für alle Probanden nahezu identisch. Es wird lediglich unterschieden, ob der Fahrversuch mit Prädiktion oder in der normalen Anzeige beginnt.

Nach Begrüßung durch den Versuchsleiter werden die Probanden in die Thematik des teleoperierten Fahrens eingewiesen. Die Einführung erfolgt zunächst am realen Versuchsfahrzeug um dem Proband mittels der installierten Kamera-technik die Funktionsweise der Teleoperation nahe zu bringen. Anschließend wird der Operatorarbeitsplatz vorgestellt und auf die Funktionsweise des Predictive Display eingegangen. Bevor der Proband auf dem Operatorstuhl Platz nimmt, wird der Fragebogen noch vor dem Fahrversuch ausgefüllt. Im Folgenden wird die Bedienung des Simulators erklärt und der Versuchsablauf erläutert. Ob der Proband die Szenarien zunächst mit oder ohne Prädiktion bewältigt, hängt von seiner Nummer ab. So lässt sich eine gleichmäßige Verteilung gewährleisten. Die Einführungsfahrten bestehen jeweils aus den drei Szenarien „Hütchenparcour“, „Fahrbahnverjüngung“ und „Kreuzung abbiegen“ und sollen dem Proband ein Gefühl für die Steuerung des Fahrzeugs sowie den Unterschied der beiden Darstellungsformen vermitteln. Anschließend werden im ersten Durchgang alle acht Szenarien durchfahren, einmal mit und einmal ohne Prädiktion. Dieser Vorgang wird in identischer Reihenfolge in einem zweiten Durchgang noch einmal wiederholt. So ergeben sich insgesamt 38 Fahrten und eine Gesamtfahrzeit von etwa 60 Minuten. Zum Abschluss beantwortet der Proband den Fragebogen nach dem Fahrversuch sowie zwei Mal den NASA-RTLX, sowohl für das Fahren mit Prädiktion als auch für

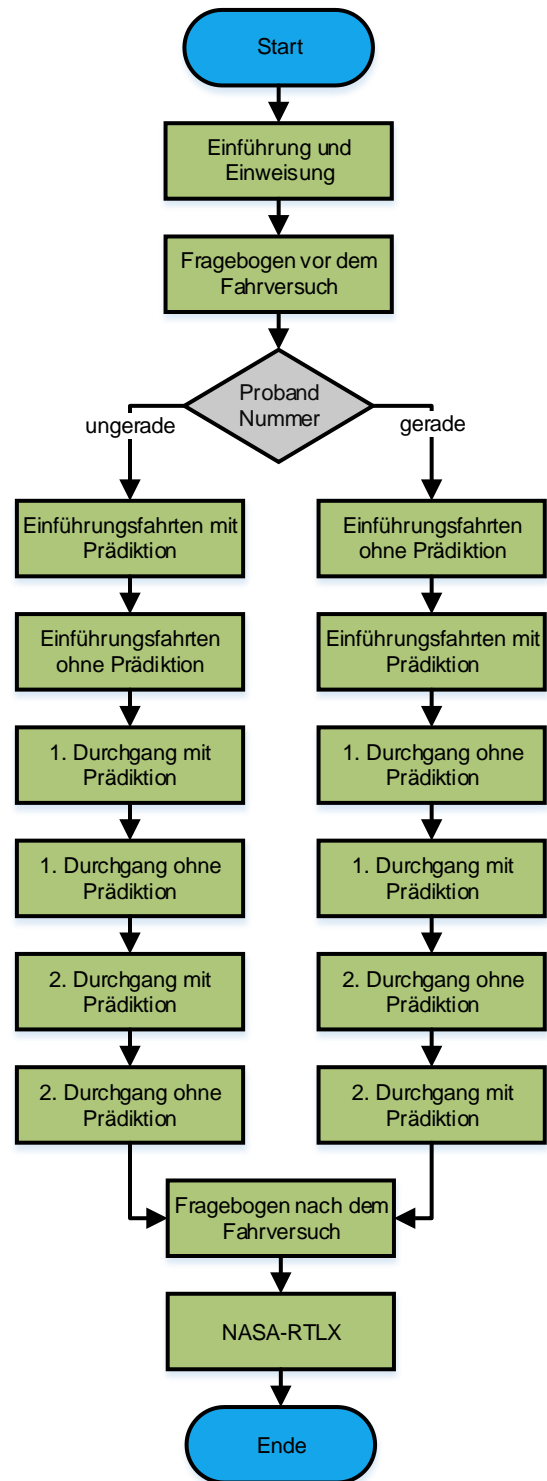


Abbildung 5.19: Versuchsablauf der Probandenstudie

die normale Anzeige.

5.6 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv setzte sich aus insgesamt 28 Personen zusammen, sieben davon weiblich. Die Teilnehmer waren hauptsächlich Studenten oder Mitarbeiter der Technischen Universität München, der Ludwig-Maximilians-Universität München oder der Hochschule München. Das Alter der Probanden lag zwischen 22 und 38 Jahren, das Durchschnittsalter betrug exakt 25 Jahre. Die Fahrerfahrung war generell als eher gering einzustufen, da viele der Teilnehmer kein eigenes Auto besaßen. Die Mehrheit der Probanden gab jedoch an, einen relativ sportlichen Fahrstil zu besitzen. Durch den hohen Anteil männlicher Teilnehmer ist die Computerspielerfahrung eher hoch einzustufen. 21 Probanden gaben an, mehrfach Rennsimulationen an Computer oder Playstation gespielt zu haben. Die Erfahrung mit Simulatoren war dagegen sehr gering. Zwar gaben acht Personen an, bereits in einem Simulator gesessen zu haben, die Erfahrung ist dabei jedoch häufig auf einen einzigen Test beschränkt.

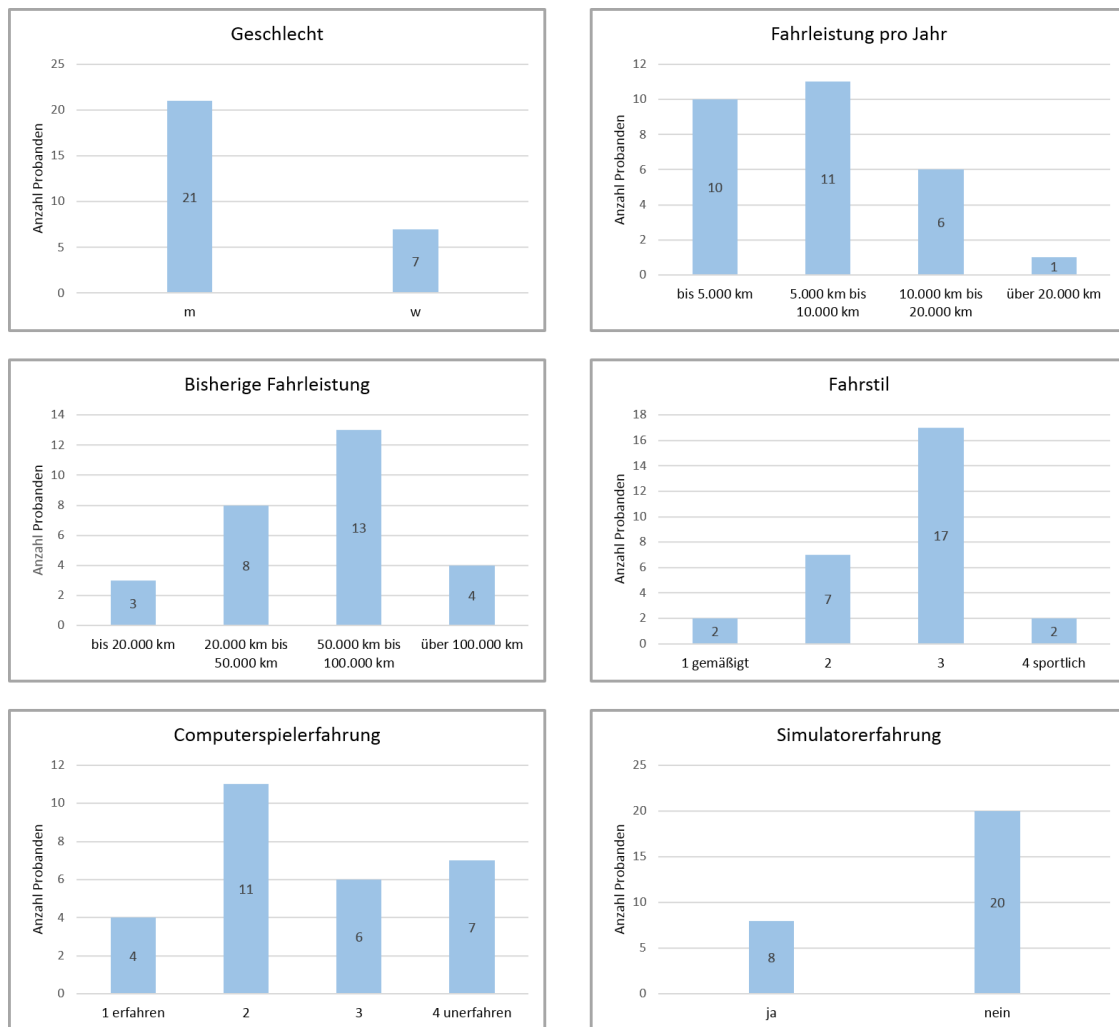


Abbildung 5.20: Überblick über das Probandenkollektiv

6 Ergebnisse

In Unterkapitel 6.1 wird zunächst ein Überblick über die Ergebnisse der objektiven Messungen gegeben. Unterkapitel 6.2 schließt mit den subjektiven Messungen aus dem Fragebogen nach dem Fahrversuch und dem NASA-RTLX an. In beiden Kapiteln werden anhand von Mittelwerten und Standardabweichungen erste Tendenzen aufgezeigt. In Unterkapitel 6.3 werden die Messdaten je nach vorherrschender Bedingung mit den in Unterkapitel 3.5 hergeleiteten statistischen Tests ausgewertet und auf die einzelnen Hypothesen angewendet. Im letzten Unterkapitel werden die Hintergründe zu den Ergebnissen erörtert, Zusammenhänge aufgezeigt und Handlungsvorschläge für weitere Studien dargestellt.

6.1 Objektive Messungen

Die Basis für die objektive Auswertung bilden die in Abschnitt 5.3.1 vorgestellten Messgrößen, die während der Versuche vom Operatorcomputer aufgezeichnet wurden. Anhand der in Unterkapitel 5.2 definierten Formeln werden die gemessenen Abstände in Punkte transformiert. Auf Basis der erzielten Punkte werden die Hypothesen anschließend überprüft und die Ergebnisse der Szenarien diskutiert.

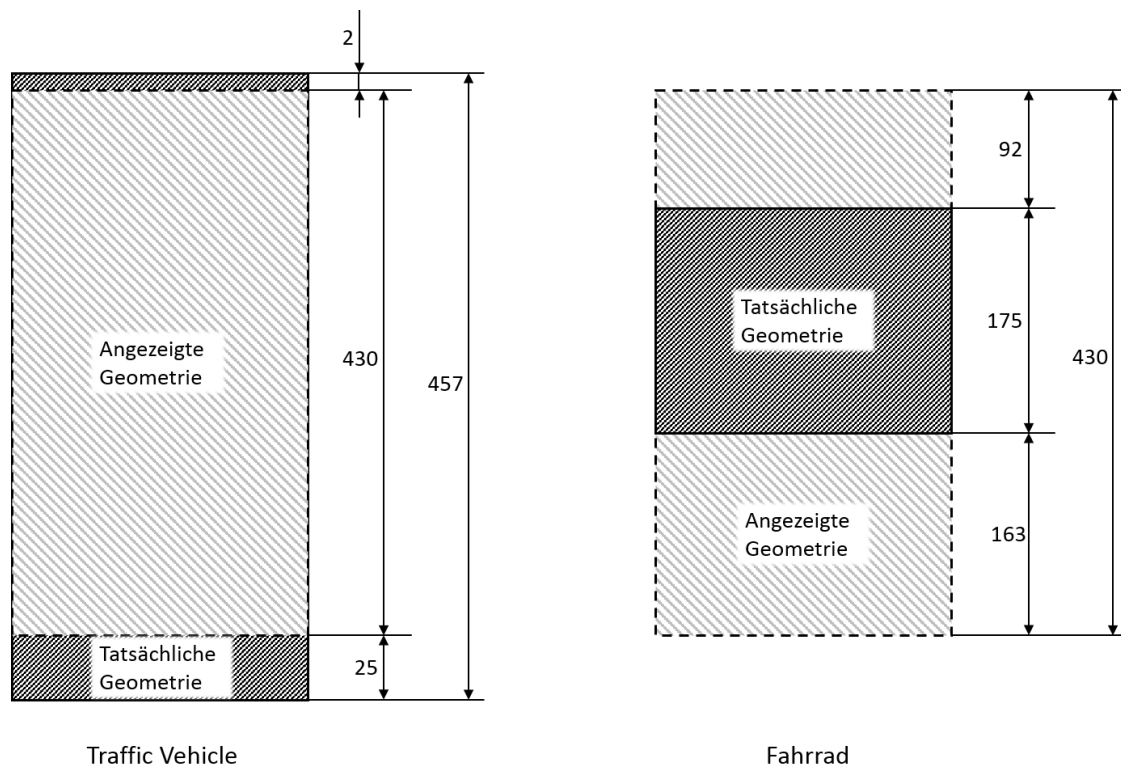


Abbildung 6.1: Unterschied zwischen angezeigten und tatsächlichen Geometrien bei Fahrten mit Prädiktion

Da die Traffic Vehicles in den Szenarien *Kreuzung*, *Kreuzung abbiegen* und *Kreuzung 30* mit einem anderen Tool eingefügt wurden als in den übrigen Szenarien, blieb bis zur Berechnung der Ergebnisse ein Unterschied in der verwendeten Fahrzeuggeometrie unbe-

merkt. Wie in Abbildung 6.1 gezeigt, waren die Längen der Fahrzeuge leicht unterschiedlich ($x_{\text{tatsächlich}}=4,57$ m; $x_{\text{prädiziert}}=4,3$ m), was Auswirkungen auf die Darstellung der Prädiktion zur Folge hatte. So wurden die prädizierten Vorderachsen der Fahrzeuge in den drei entsprechenden Szenarien um 2 cm zu weit hinten und die prädizierten Hinterachsen um 25 cm zu weit vorne angezeigt. Auf die angezeigte Geometrie des in der Simulation verwendeten BMW X3 hatte dieser Unterschied jedoch keinen Einfluss. Neben den Fahrzeugen ist von dieser Abweichung der Geometriedaten auch das Fahrrad in Szenario *Überholvorgang* betroffen. Der Unterschied ist mit einer tatsächlichen Länge von $x_{\text{tatsächlich}}=1,75$ m zu der prädizierten Länge von $x_{\text{prädiziert}}=4,3$ m deutlich größer. Für die Versuchsdurchführung ist damit insbesondere die um 92 cm zu weit vorne angezeigte Spitze des Fahrrads relevant.

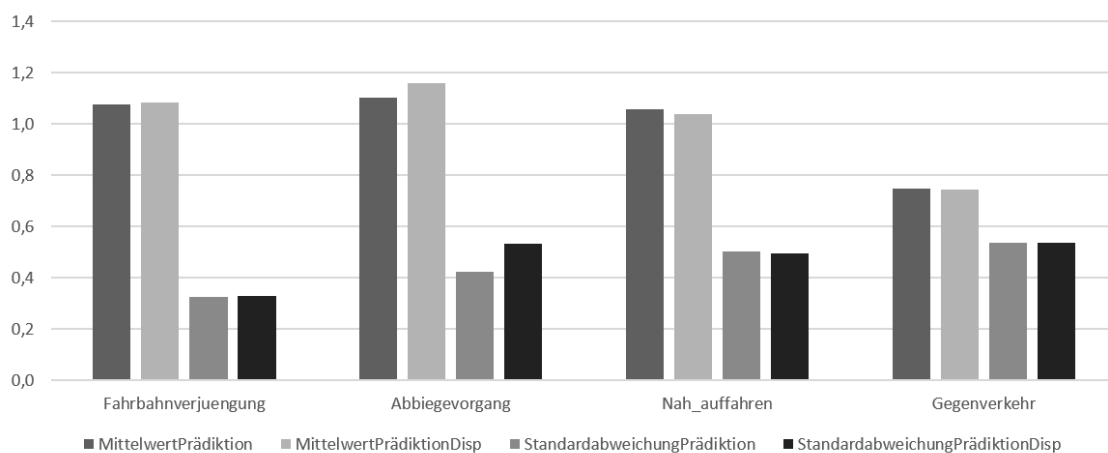


Abbildung 6.2: Unterschied tatsächliche Fahrzeuggeometrie und prädizierte Geometrie

Abbildung 6.2 zeigt die Auswirkungen dieser Unterschiede in den Fahrzeuggeometrien auf die erzielten Punkte. Angegeben sind die über beide Durchgänge aufsummierten Punkte als Mittelwert aller Probanden jeweils für die vier relevanten Szenarien. Sowohl in *Fahrbahnverjüngung* ($\mu_{\text{MP}}=1,076$; $\mu_{\text{MPdisp}}=1,085$), *Nah auffahren* ($\mu_{\text{MP}}=1,058$; $\mu_{\text{MPdisp}}=1,038$) und *Gegenverkehr* ($\mu_{\text{MP}}=0,746$; $\mu_{\text{MPdisp}}=0,745$) sind keine großen Differenzen sichtbar. Der verhältnismäßig große Unterschied der Geometrien beim Fahrrad macht sich bei einem Mittelwert der tatsächlichen Größe von $\mu_{\text{MP}}=1,103$ zum Mittelwert der in der Simulation angezeigten Prädiktion $\mu_{\text{MPdisp}}=1,158$ und einer erkennbaren Standardabweichung ($\sigma_{\text{MP}}=0,422$; $\sigma_{\text{MPdisp}}=0,533$) weitaus deutlicher bemerkbar.

Es ist anzunehmen, dass die angezeigte Prädiktion das Fahrverhalten der Probanden beeinflusst hat. Aus den offenen Fragen zum Abschluss des Fragebogens nach dem Fahrversuch ging jedoch auch hervor, dass sich einige Probanden bei der Bewerkeinstellung der Szenarien mangels Intuitivität des Predictive Display der Verkehrsteilnehmer hauptsächlich an den angezeigten Geometrien der Fahrzeuge und weniger der Prädiktion orientiert haben (vgl. Unterkapitel 6.4). Für die in Unterkapitel 6.3 folgende Überprüfung der Hypothesen wird daher sowohl mit der tatsächlichen Prädiktion als auch der angezeigten Prädiktion gerechnet. Um im Folgenden erste Tendenzen der Ergebnisse aufzuzeigen, ist es aufgrund der sehr geringen Unterschiede der Daten dagegen zumeist ausreichend, den Vergleich zwischen normaler Anzeige und der in der Simulation dargestellten Prädiktion zu ziehen.

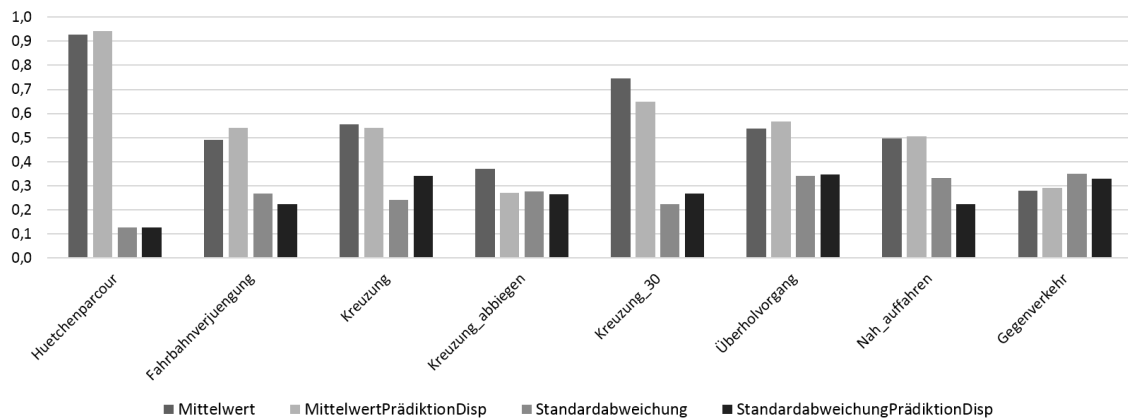


Abbildung 6.3: Fahrleistungen im ersten Durchgang

Abbildung 6.3 zeigt die erzielten Fahrleistungen des ersten Durchgangs im Überblick. Der Hütchenparcour wurde von den Probanden bereits beim ersten gewerteten Versuch sehr gut absolviert. Die übrigen sieben Szenarien wurden mit durchschnittlichem Erfolg gemeistert und weisen zum Teil wesentlich höhere Streuungen der Werte. Im Vergleich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige fällt auf, dass die Unterschiede meist sehr gering sind. Weiterhin ist keine klare Tendenz ersichtlich, ob die Prädiktion generell zu besseren Fahrleistungen verhilft, da sie in einigen Szenarien zwar zu besseren Ergebnissen führte (*Fahrbahnverjüngung*), in anderen allerdings auch zu schlechteren (*Kreuzung 30*).

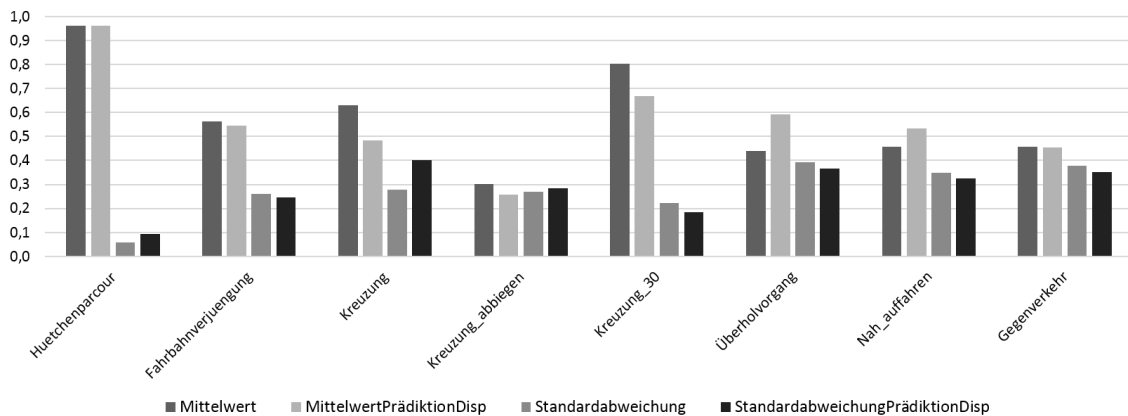


Abbildung 6.4: Fahrleistungen im zweiten Durchgang

Abbildung 6.4 zeigt die zu Abbildung 6.3 identisch aufgebaute Grafik mit den Ergebnissen des zweiten Durchgangs. Während sich die erzielten Punkte in einigen Szenarien steigerten (*Gegenverkehr*), verringerte sich die gezeigte Leistung in anderen (*Kreuzung abbiegen*). Auch die Tendenz, ob die prädizierte Anzeige zu einer verbesserten Fahrleistung führt, konnte nicht in jedem Szenario belegt werden. So war in *Fahrbahnverjüngung* im ersten Durchgang noch die Leistung mit Predictive Display besser, im zweiten Durchgang führte jedoch die normale Anzeige zu besseren Ergebnissen.

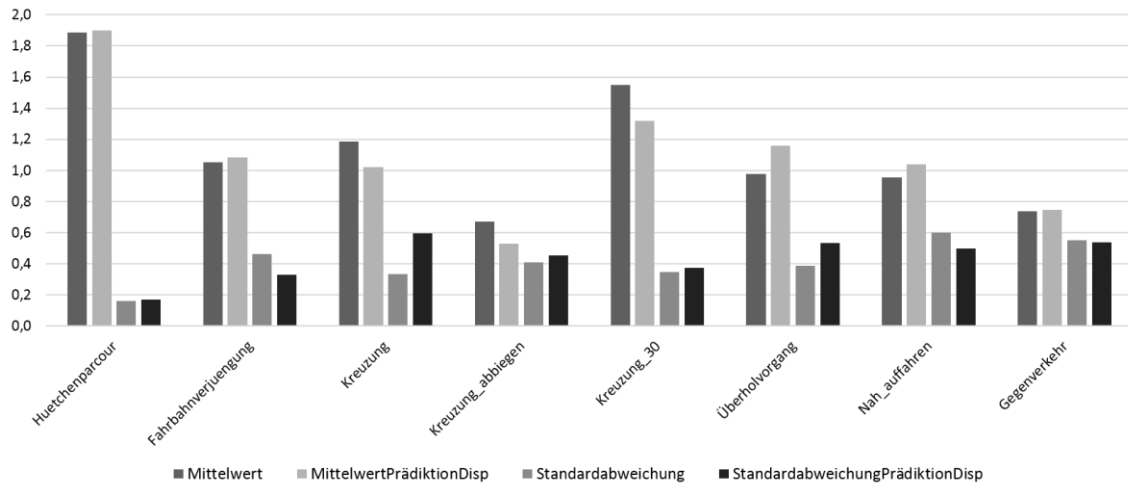


Abbildung 6.5: Fahrleistungen über beide Durchgänge aufsummiert

Abbildung 6.5 zeigt die summierten Punkte über beide Durchgänge. Auch hier lässt sich erneut erkennen, dass die Unterschiede zwischen Prädiktion und normaler Anzeige in den meisten Szenarien sehr gering sind. Lediglich bei *Kreuzung*, *Kreuzung 30* oder *Überholvorgang*, kann von Abweichungen um die 20 Prozent gesprochen werden.

Für einen besseren Überblick über die Ergebnisse der einzelnen Szenarien eignen sich Boxplots. Diese vermitteln anhand von Median, 25 Prozent- und 75 Prozent-Perzentil, Ausreißern und Extremwerten die grundlegenden Informationen zu einer Verteilung der Messwerte. [Sau12, S. 34].

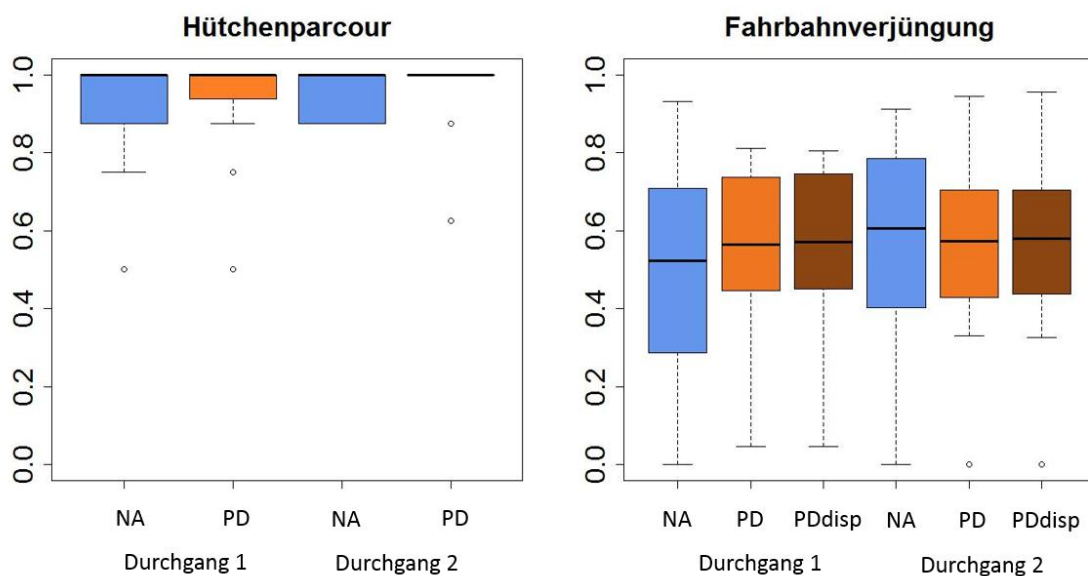


Abbildung 6.6: Boxplots Hütchenparcour und Fahrbahnverjüngung

Der Vergleich der Fahrten auf dem Hütchenparcour zeigt geringe Unterschiede zwischen der normalen Anzeige und der Prädiktion sowie eine Verbesserung der Fahrleistung vom ersten zum zweiten Durchgang. So ist mit $\mu_{NA1}=0,928$ zu $\mu_{NA2}=0,961$ und $\mu_{PD1}=0,941$ zu $\mu_{PD2}=0,961$ jeweils eine Steigerung zu erkennen. Die Streuung sinkt von $\sigma_{NA1}=0,127$ auf $\sigma_{NA2}=0,060$ und $\sigma_{PD1}=0,128$ auf $\sigma_{PD2}=0,094$.

In *Fahrbahnverjüngung* erzielten die Probanden im ersten Durchgang mit der angezeigten Prädiktion ($\mu_{PD1}=0,539$) etwas bessere Ergebnisse als mit der normalen Anzeige ($\mu_{NA1}=0,492$). Der nachfolgende Versuch wies dagegen die entgegengesetzte Tendenz auf ($\mu_{NA2}=0,562$; $\mu_{PD2}=0,546$). Die Werte zeigen insgesamt eine Verbesserung der Fahrleistung im zweiten Durchgang. Die Unterschiede zwischen den Abmaßen der angezeigten Prädiktion und der tatsächlichen Fahrzeuggeometrie bewegen sich im Tausendstelbereich und sind daher nicht relevant.

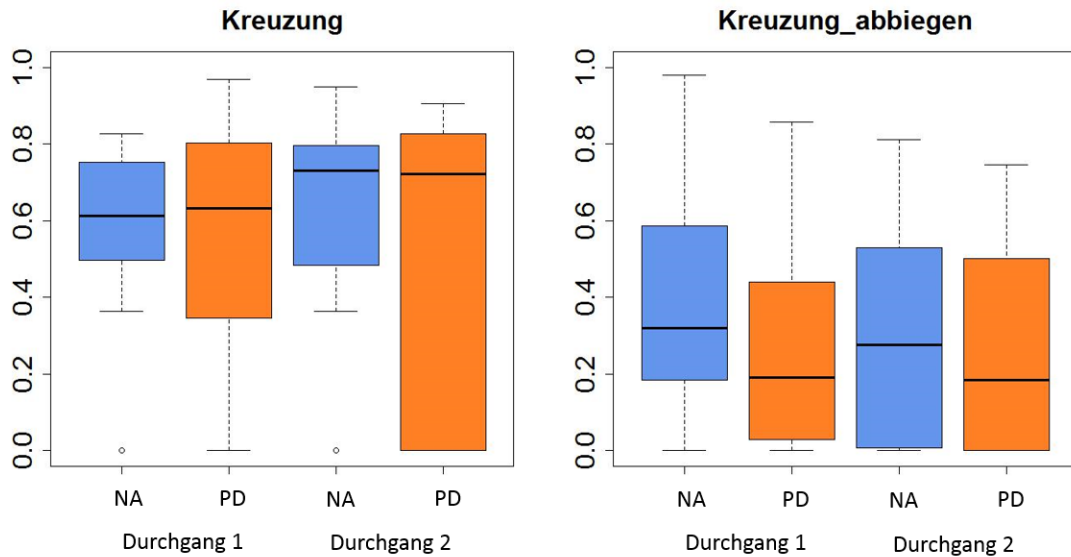


Abbildung 6.7: Boxplots Kreuzung und Kreuzung abbiegen

In Szenario *Kreuzung* ist die Differenz der Mittelwerte im ersten Durchgang sehr gering ($\mu_{NA1}=0,556$; $\mu_{PD1}=0,542$), steigt im zweiten Durchgang aber zugunsten der normalen Anzeige an ($\mu_{NA2}=0,631$; $\mu_{PD2}=0,482$). Die Streuung der Messwerte fällt jeweils in Durchgang zwei größer aus ($\sigma_{NA1}=0,242$; $\sigma_{PD1}=0,341$; $\sigma_{NA2}=0,277$; $\sigma_{PD2}=0,401$).

Kreuzung abbiegen wurde sowohl im ersten als auch im zweiten Durchgang ohne Prädiktion besser absolviert ($\mu_{NA1}=0,369$; $\mu_{PD1}=0,271$; $\mu_{NA2}=0,302$; $\mu_{PD2}=0,259$). Mit $\sigma_{NA1}=0,277$, $\sigma_{NA2}=0,268$, $\sigma_{PD1}=0,265$ auf $\sigma_{PD2}=0,283$ weisen die Standardverteilungen keine Auffälligkeiten auf.

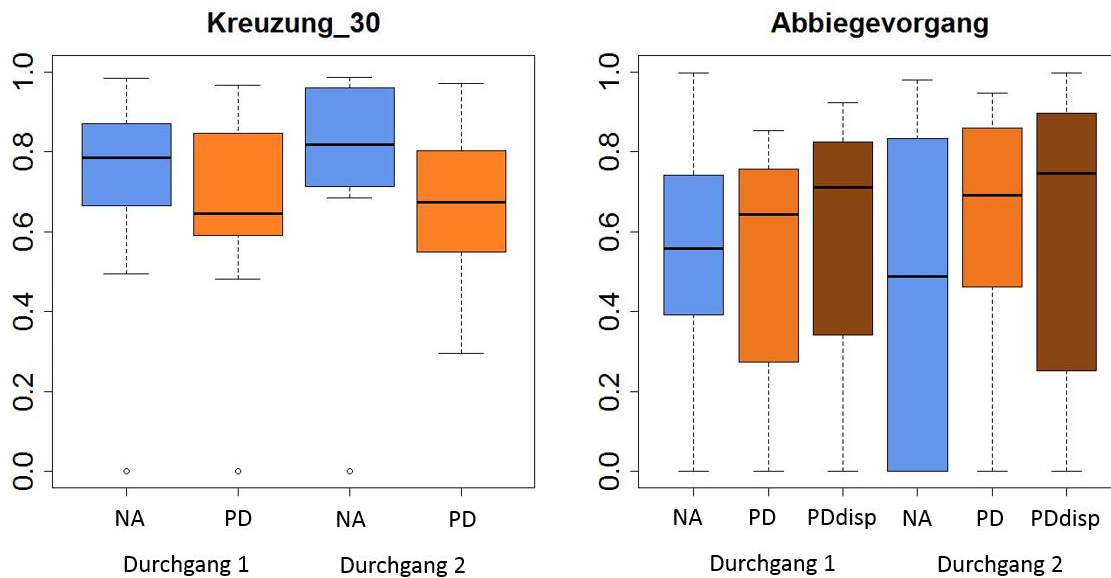


Abbildung 6.8: Boxplots Kreuzung 30 und Überholvorgang

Auch *Kreuzung 30* liefert, wie bereits *Kreuzung abbiegen*, jeweils für die Fahrten mit normaler Anzeige die höheren Mittelwerte ($\mu_{NA1}=0,746$; $\mu_{PD1}=0,648$; $\mu_{NA2}=0,803$; $\mu_{PD2}=0,669$).

Die Streuung ist im ersten Durchgang zunächst für die Prädiktion höher ($\sigma_{NA1}=0,225$ und $\sigma_{PD1}=0,269$), im zweiten Durchgang dann für die normale Anzeige ($\sigma_{NA2}=0,224$ und $\sigma_{PD2}=0,185$). Auffällig ist, dass es im letzten Durchgang mit Prädiktion bei keinem Probanden mehr zu einer Kollision gekommen ist.

Das Szenario *Überholvorgang* weist im ersten Durchgang für die normale Anzeige einen Mittelwert von $\mu_{NA1}=0,536$ auf. Wird mit der tatsächlichen Fahrradgeometrie als Prädiktion gerechnet, liegt das Ergebnis mit $\mu_{PD1}=0,513$ etwas niedriger. Das in der Simulation verwendete Predictive Display führt zu einer Fahrleistung von $\mu_{PD1disp}=0,567$ Punkten. Der zweite Versuch liefert $\mu_{NA2}=0,440$ $\mu_{PD2}=0,590$ $\mu_{PD2disp}=0,591$. Die Streuung ist jeweils für den zweiten Durchgang etwas höher ($\sigma_{NA1}=0,342$; $\sigma_{NA2}=0,349$; $\sigma_{PD1}=0,319$; $\sigma_{PD2}=0,326$; $\sigma_{PD1disp}=0,346$; $\sigma_{PD2disp}=0,367$).

Auffällig in Szenario *Nah Auffahren* ist ein Abfall der Fahrleistung mit der normalen Anzeige von $\mu_{NA1}=0,496$ beim ersten Durchgang auf $\mu_{NA2}=0,458$ beim letzten Versuch. Die Werte der Prädiktion unterliegen dagegen einer Steigerung ($\mu_{PD1}=0,515$; $\mu_{PD2}=0,542$; $\mu_{PD1disp}=0,505$; $\mu_{PD2disp}=0,533$). Die Streuung unterliegt mit Ausnahme des ersten Durchgangs mit Prädiktion ($\sigma_{PD1}=0,226$; $\sigma_{PD1disp}=0,224$) relativ geringen Schwankungen ($\sigma_{NA1}=0,333$ und $\sigma_{NA2}=0,349$ $\sigma_{PD2}=0,328$ und $\sigma_{PD2disp}=0,324$).

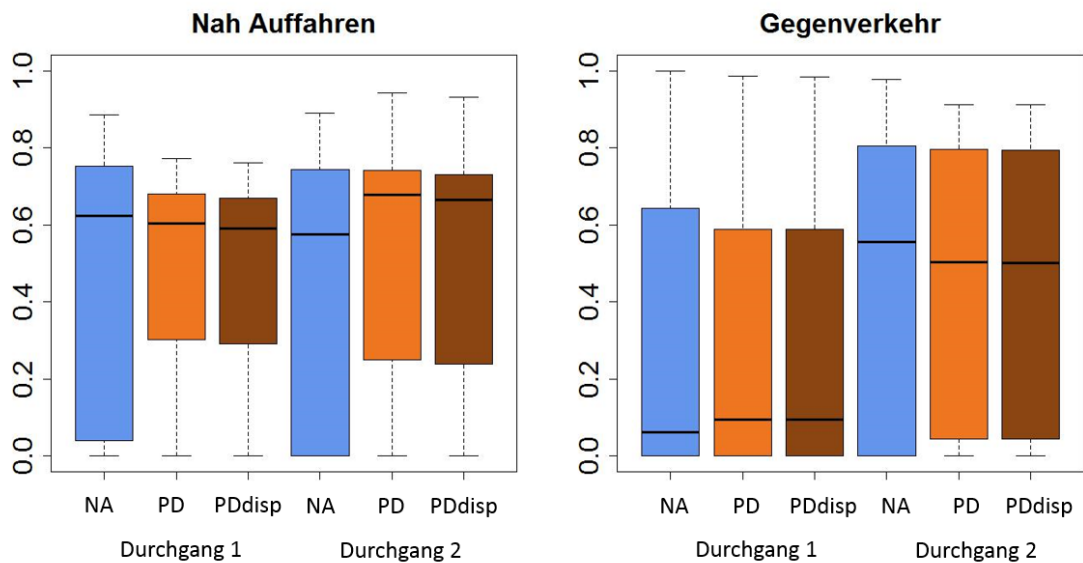


Abbildung 6.9: Boxplots Nah Auffahren und Gegenverkehr

Die Ergebnisse des Szenarios *Gegenverkehr* zeigen die größte Verbesserung zwischen dem ersten ($\mu_{NA1}=0,279$ $\mu_{PD1}=0,291$ $\mu_{PD1disp}=0,291$) und zweiten ($\mu_{NA2}=0,456$ $\mu_{PD2}=0,455$ $\mu_{PD2disp}=0,454$) Durchgang. Die Streuung der Messwert ist mit Prädiktion jeweils geringer. Zwischen tatsächlicher Fahrzeuggeometrie und angewendeter Prädiktion ist kein Unterschied feststellbar. ($\sigma_{NA1}=0,351$; $\sigma_{NA2}=0,379$; $\sigma_{PD1}=0,330$; $\sigma_{PD2}=0,351$; $\sigma_{PD1disp}=0,330$; $\sigma_{PD2disp}=0,351$).

6.2 Subjektive Messungen

6.2.1 Fragebogen nach dem Fahrversuch

Der Fragebogen nach dem Fahrversuch liefert subjektive Ergebnisse zu den während der Fahrt erlebten Erfahrungen der Probanden. Jede der insgesamt neun Fragen wurde sowohl für das Predictive Display als auch die Fahrten mit normaler Anzeige gestellt. Bewertet wurde auf einer Skala von eins (= trifft nicht zu) bis sechs (= trifft zu).

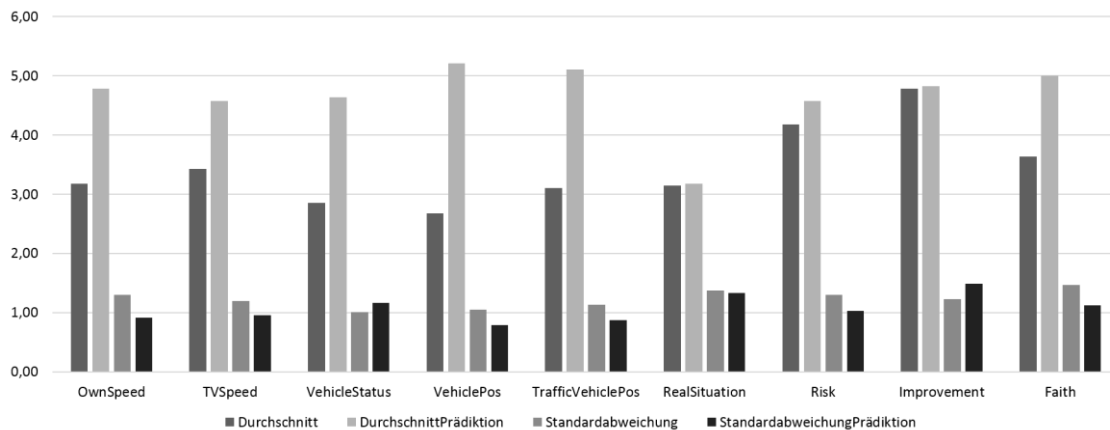


Abbildung 6.10: Ergebnisse des Fragebogens nach dem Fahrversuch

Wie Abbildung 6.10 zeigt, ist die Bewertung der Fragen bei Anzeige mit Prädiktion (DurchschnittPrädiktion) in jeder Kategorie höher ausgefallen als bei der normalen Anzeige (Durchschnitt).

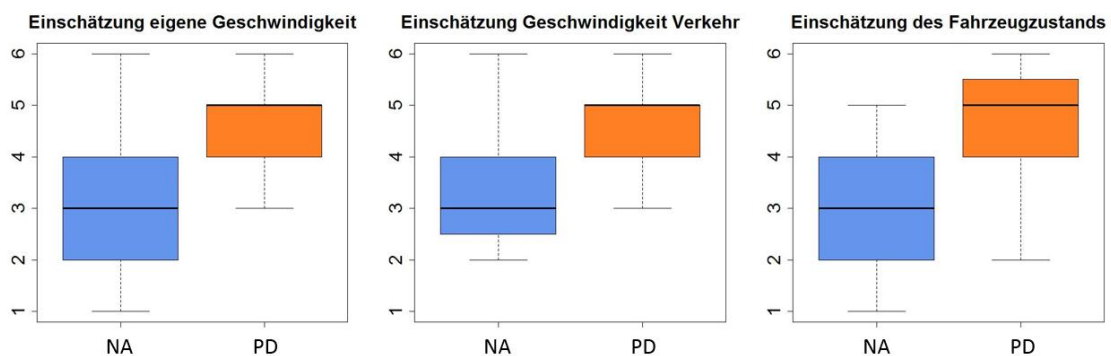


Abbildung 6.11: Boxplots zur Einschätzung der eigenen Geschwindigkeit (l), der Geschwindigkeit der Traffic Vehicles (m) und der Einschätzung des Fahrzeugzustands (r)

Abbildung 6.11 verdeutlicht, dass die Prädiktion für die Einschätzung der Geschwindigkeiten einen deutlichen Mehrwert bot. Sowohl bei Betrachtung der eigenen Geschwindigkeit war die normale Anzeige ($\mu_{NA}=3,179$; $\sigma_{NA}=1,307$) der Prädiktion ($\mu_{PD}=4,786$; $\sigma_{PD}=0,917$) unterlegen als auch beim Versuch die Geschwindigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer einzuschätzen ($\mu_{NA}=3,429$; $\sigma_{NA}=1,2$; $\mu_{PD}=4,571$; $\sigma_{PD}=0,959$). Auch bei der Frage nach dem Fahrzeugzustand des eigenen Autos, bescheinigten die Probanden der Prädiktion einen deutlichen Mehrwert ($\mu_{NA}=2,857$; $\sigma_{NA}=1,008$; $\mu_{PD}=4,643$; $\sigma_{PD}=1,162$).

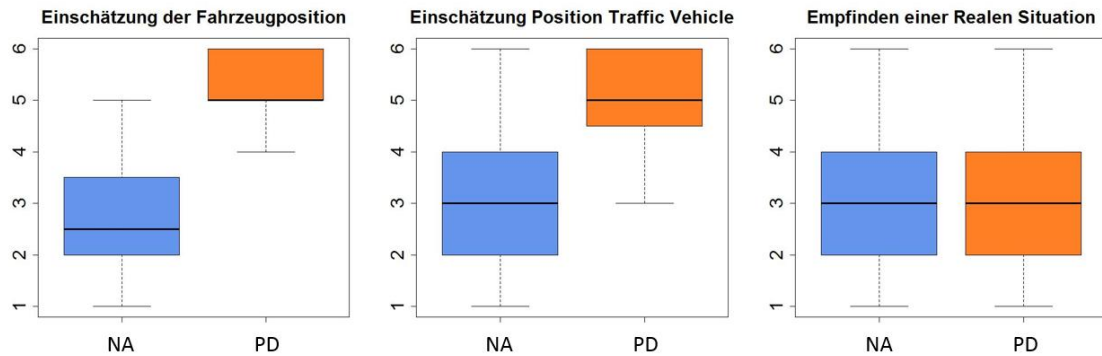


Abbildung 6.12: Boxplots zur Einschätzung der eigenen Fahrzeugposition (l), der Einschätzung der Position der Traffic Vehicle (m) und dem Empfinden einer realen Verkehrssituation (r)

Das eindeutigste Ergebnis des Fragebogens wurde bei der Frage nach der Position des eigenen Fahrzeugs erzielt. Die Probanden konnten mit Prädiktion ($\mu_{PD}=5,214$; $\sigma_{PD}=0,787$) wesentlich besser auf die tatsächliche Position schließen als mit der normalen Anzeige ($\mu_{NA}=2,679$; $\sigma_{NA}=1,056$). Bemerkenswert ist auch die mit vier Punkten niedrigste Bewertung. Einen positiven Einfluss auf die Einschätzbarkeit der Position, hatten nach Meinung der Probanden besonders die visualisierten Außenabmaße des Fahrzeugs. Auch der, je nach Geschwindigkeit veränderliche Abstand der Prädiktion, wurde als deutliche Unterstützung empfunden. Wird die Bewertung zur Einschätzung der Positionen der Traffic Vehicle betrachtet, zeigt sich ein ähnlich deutliches Bild. Auch in diesem Fall wird dem Predictive Display ($\mu_{PD}=5,107$; $\sigma_{PD}=0,875$) ein deutlicher Mehrwert gegenüber der normalen Anzeige ($\mu_{NA}=3,107$; $\sigma_{NA}=1,133$) bescheinigt. Ein anderes Bild zeigt sich bei der Frage, in wie weit der Proband das Gefühl hat, sich in einer realen Verkehrssituation zu befinden. Die Bewertung der prädizierten Anzeige ($\mu_{PD}=3,179$; $\sigma_{PD}=1,335$) liegt nur minimal über der normalen Anzeige ($\mu_{NA}=3,143$; $\sigma_{NA}=1,180$). Auffällig ist auch, dass für beide Darstellungsformen jeweils das gesamte Bewertungsspektrum abgedeckt wurde.

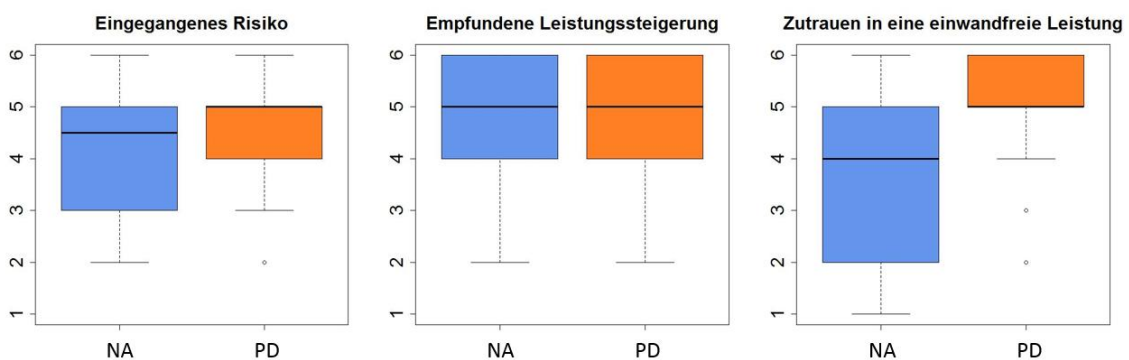


Abbildung 6.13: Boxplots zum eingegangenen Risiko (l), zur empfundenen Leistungssteigerung (m) und zum Zutrauen in eine einwandfreie Leistung bei mehr Übung (r)

Die Frage nach dem eingegangenen Risiko bezieht sich auf den Hintergrund, dass sich der Fahrer bewusst sein muss, ein reales Fahrzeug zu steuern und bei Fehlverhalten im Straßenverkehr fatale Folgen wie Personenschäden anrichten kann. Da diesem Bewusstsein die Aufgabe und Motivation gegenüberstand, eine möglichst hohe Punktzahl zu erzielen, was teilweise eine übermäßig sportliche oder sogar gefährliche Fahrweise erfor-

derte, ist das Ergebnis dieser Frage nicht aussagekräftig. Die Probanden gaben an, in der Simulation ein deutlich höheres Risiko eingegangen zu sein als das bei einer teleoperierten Fahrt im Straßenverkehr der Fall gewesen wäre. Im Vergleich der beiden Anzeigen wurde bei Fahrten mit Predictive Display ($\mu_{PD}=4,571$; $\sigma_{PD}=1,034$) ein etwas höheres Risiko gewählt als mit der normalen Anzeige ($\mu_{NA}=4,179$; $\sigma_{NA}=1,307$), was mit dem besseren Überblick über die Verkehrssituation und einer damit verbundenen höher eingeschätzten Beherrschbarkeit der Situation begründet wurde. Bei der Frage nach der empfundenen Leistungssteigerung gaben die Probanden an, sowohl bei der normalen Anzeige ($\mu_{NA}=4,786$; $\sigma_{NA}=1,228$) als auch bei Fahrten mit Prädiktion ($\mu_{PD}=4,821$; $\sigma_{PD}=1,492$) zwischen dem ersten und zweiten Durchgang das Gefühl einer deutlichen Performancesteigerung gehabt zu haben. Wird betrachtet, inwieweit sich die Probanden eine weitere Steigerung der Fahrleistungen hin zum fehlerfreien Bewerkstelligen unbekannter Szenarien zutrauen, fällt das Ergebnis zugunsten des Predictive Display aus. Einer Bewertung von $\mu_{PD}=5,0$ bei $\sigma_{PD}=1,122$ stehen $\mu_{NA}=3,643$ und eine verhältnismäßig hohe Standardabweichung von $\sigma_{NA}=1,471$ gegenüber.

6.2.2 NASA Task Load Index

Wie bereits in Abschnitt 5.3.2 erwähnt, wurde der NASA Task Load Index als RTLX angewendet. In diesem Fall ist es möglich die einzelnen Kategorien individuell auszuwerten. Bewertet wurde auf einer Skala von eins (= sehr niedrig/perfekt) bis zwanzig (= sehr hoch/Misserfolg).

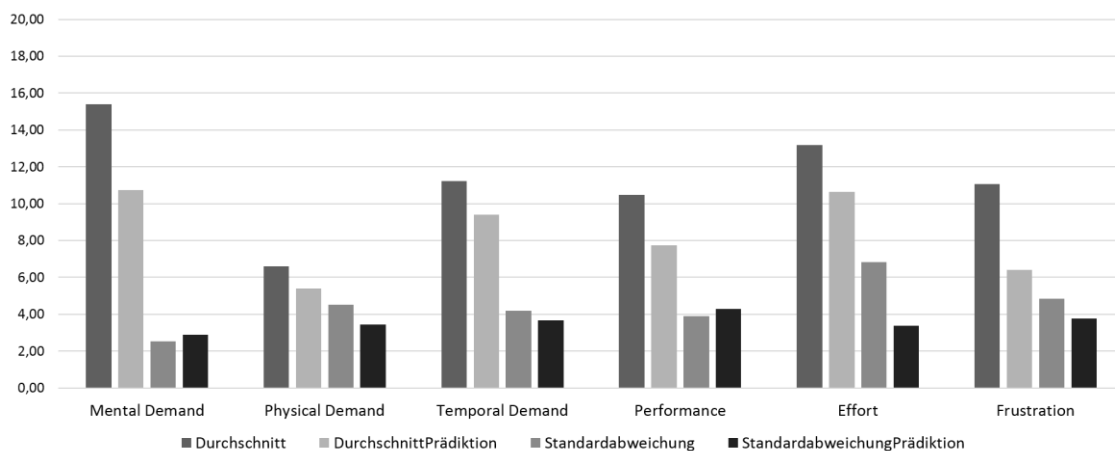


Abbildung 6.14: Ergebnisse des NASA RTLX

Abbildung 6.14 zeigt die Bewertung der einzelnen Kategorien. Wie bereits beim Fragebogen nach dem Fahrversuch wird der Vergleich zwischen normaler Anzeige (Durchschnitt) und Predictive Display (DurchschnittPrädiktion) betrachtet. Bei ausnahmslos jeder Kategorie wurde die normale Anzeige als belastender eingestuft. Im Folgenden wird anhand von Boxplots zu den jeweiligen Fragen wieder detailliert auf die Unterschiede eingegangen.

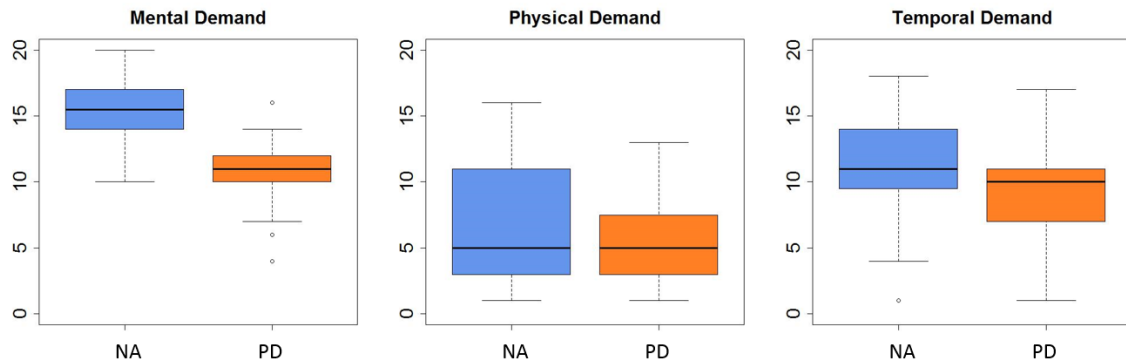


Abbildung 6.15: Boxplots zur mentalen (l), körperlichen (m) und zeitlichen Beanspruchung (r)

Abbildung 6.15 zeigt, dass sowohl in Bezug auf die mentale, körperliche als auch zeitliche Anforderung, die Beanspruchung bei Versuchen mit Predictive Display geringer war. Die geistige Anforderung wird insgesamt am höchsten eingeschätzt. Mit einem Mittelwert von $\mu_{NA}=15,393$ ($\sigma_{NA}=2,514$) zeigt sich ein besonders deutlicher Unterschied zu den Ergebnissen mit Prädiktion ($\mu_{PD}=10,750$; $\sigma_{PD}=2,901$). Da sich die körperliche Anstrengung in der Probandenstudie auf das Lenken sowie das Betätigen der Pedalerie beschränkt, ist die Beanspruchung in dieser Kategorie als eher gering eingestuft worden. Bei gleichem Median wurde die Belastung bei normaler Anzeig ($\mu_{NA}=6,607$; $\sigma_{NA}=4,500$) etwas höher bewertet als mit der Prädiktion ($\mu_{PD}=5,393$; $\sigma_{PD}=3,425$). Bei der zeitlichen Beanspruchung zeigt sich wieder eine etwas stärkere Unterscheidung. Das Fahren mit Prädiktion ($\mu_{PD}=9,393$; $\sigma_{PD}=3,685$) wurde auch in Bezug auf die zeitliche Komponente als weniger Anspruchsvoll empfunden als die normale Anzeig ($\mu_{NA}=11,214$; $\sigma_{NA}=4,202$).

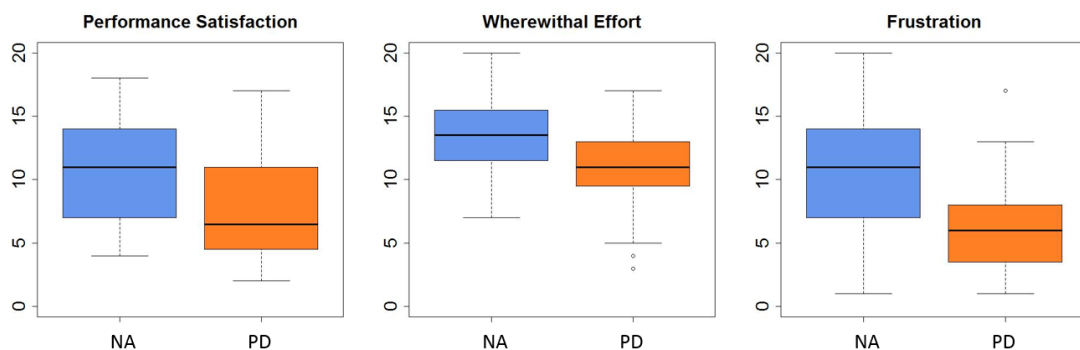


Abbildung 6.16: Boxplots zur Zufriedenheit mit der eigenen Performance (l), dem für das Erreichen der Ziele benötigten Aufwand (m), sowie der erlebten Frustration (r)

Die Probanden gaben an, bei den Fahrversuchen das Gefühl gehabt zu haben, mit Prädiktion ($\mu_{PD}=7,750$; $\sigma_{PD}=4,283$) deutlich bessere Ergebnisse erzielt zu haben als ohne Hilfestellung ($\mu_{NA}=10,464$; $\sigma_{NA}=3,892$). Die Leistung, die für eine erfolgreiche Umsetzung der genannten Aufgabe erbracht werden musste, wurde bei der normalen Anzeig ($\mu_{NA}=13,179$; $\sigma_{NA}=3,186$) als höher eingestuft gegenüber Fahrten mit Prädiktion ($\mu_{PD}=10,643$; $\sigma_{PD}=3,391$). Auch die Frustration war ohne Prädiktion deutlich höher ($\mu_{NA}=11,071$; $\sigma_{NA}=4,845$; $\mu_{PD}=6,393$; $\sigma_{PD}=3,765$).

6.3 Überprüfung der Hypothesen

In Unterkapitel 6.1 und 6.2 wurden erste Ergebnisse der Tests anhand von Mittelwerten und Standardabweichungen aufgezeigt. Um eine im Vorfeld geäußerte Annahme in ihrer Korrektheit zu bestätigen oder zu verwerfen reicht es nicht aus, einen Vergleich der Mittelwerte zu ziehen. Um eine Hypothese statistisch korrekt zu bewerten, bedarf es den in Unterkapitel 3.5 vorgestellten Tests. Diese sollen im Folgenden auf die in Unterkapitel 5.4 aufgelisteten Hypothesen angewendet werden, um die bereits vorgestellten Tendenzen zu überprüfen und ihre Aussagekraft zu bestimmen. Sowohl die berechneten Punkte der Fahrversuche, als auch die Bewertung der Fragebögen sind intervallskaliert. Damit kann die erste Entscheidung des Flussdiagramms bereits vorausgesetzt werden. Liegen zwei Stichproben vor, sind diese in der Folge stets abhängig. Da bei insgesamt 28 Probanden ein Stichprobenumfang größer oder gleich 30 nie erreicht wird, sind die anschließenden zwei Entscheidungen ebenfalls vorab getroffen und es wird mit dem Shapiro-Wilk-Test zur Überprüfung der Normalverteilung gestartet.

Intuitivität

Die Daten zu den folgenden drei Hypothesen entstammen dem Fragebogen nach dem Fahrversuch und basieren auf subjektiven Eindrücken der Probanden. Nach dem Shapiro-Wilk-Test konnte keine Normalverteilung festgestellt werden. Dementsprechend wurde für die Überprüfung der Hypothesen der Wilcoxon-Test verwendet. Dieser liefert mit $p < 0,00001$ für IN01 ein höchst signifikantes Ergebnis.

<p>Hypothese IN01: Mit dem Predictive Display lässt sich nicht besser auf den aktuellen Zustand des Fahrzeuges schließen.</p>	<p>abgelehnt</p>
--	------------------

Hypothese IN02 bezieht sich auf die Möglichkeit, sich die eigene Fahrzeugposition aufgrund des Predictive Displays besser vorstellen zu können. Der Wilcoxon-Test liefert ein signifikantes Ergebnis ($p < 0,00001$).

<p>Hypothese IN02: Mit dem Predictive Display lässt sich nicht besser auf die aktuelle Position des Fahrzeuges schließen.</p>	<p>abgelehnt</p>
--	------------------

Angelehnt an die vorherige Hypothese untersucht IN03 ob die Prädiktion die Probanden bei der korrekten Lokalisierung der Traffic Vehicle unterstützt. Auch für diese Frage ist das Ergebnis höchst signifikant ($p = 0,00001$).

<p>Hypothese IN03: Mit dem Predictive Display lässt sich nicht besser auf die aktuelle Position der anderen Verkehrsteilnehmer schließen.</p>	<p>abgelehnt</p>
--	------------------

Lerneffekt

Die Daten zur Überprüfung der folgenden Hypothesen basieren sowohl auf subjektiven Bewertungen aus Fragebögen (LE01-LE03) als auch auf objektiven Berechnungen der Fahrleistungen (LE04 und LE05). Der Shapiro-Wilk-Test liefert erneut keine Normalverteilung, weshalb für LE01 der Wilcoxon-Test ausgewählt wird. Dieser liefert ein höchst signifikantes Ergebnis ($p=0,00004$).

<p>Hypothese LE01: Die Probanden trauen sich mit dem Predictive Display gegenüber der normalen Anzeige nicht eher zu, komplexe und unbekannte Szenarien fehlerfrei zu bewältigen.</p>	<p>abgelehnt</p>
--	------------------

Da es sich bei den Hypothesen LE02 und LE03 nicht um einen Vergleich der beiden Anzeigen handelt und die Bewertung sowohl für die Prädiktion als auch die normale Anzeige gesondert durchgeführt wird, ist der t-Test für eine Stichprobe anzuwenden. Dieser liefert für einen Testwert von drei ein signifikantes Ergebnis von $p<0,00001$.

<p>Hypothese LE02: Die Probanden haben nicht das Gefühl, sich bei den Fahrten mit normaler Anzeige im zweiten Durchgang im Vergleich zum ersten Durchgang gesteigert zu haben.</p>	<p>abgelehnt</p>
---	------------------

Auch für LE03 ist das Ergebnis bei einem Testwert von drei signifikant ($p<0,00001$).

<p>Hypothese LE03: Die Probanden haben nicht das Gefühl, sich bei den Fahrten mit Predictive Display im zweiten Durchgang im Vergleich zum ersten Durchgang gesteigert zu haben.</p>	<p>abgelehnt</p>
---	------------------

Für Hypothese LE04 und LE05 werden für jeden Durchgang die Summen über die in den einzelnen Szenarien erzielten Punkte gebildet und verglichen. Da der Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung der Daten ergibt, wird der t-Test für abhängige Stichproben verwendet. Dieser liefert bei Mittelwerten von $\mu_{NA1}=4,257$ und $\mu_{NA2}=4,463$ kein signifikantes Ergebnis ($p=0,2102$).

<p>Hypothese LE04: Die ohne Predictive Display erzielten Gesamtleistungen der Probanden unterscheiden sich zwischen dem ersten und zweiten Durchgang nicht.</p>	<p>kann nicht abgelehnt werden</p>
--	------------------------------------

Auch für LE05 sind die Messwerte normalverteilt. Der t-Test ergibt für $\mu_{PD1disp}=4,216$ und $\mu_{PD2disp}=4,493$ mit $p_{NA/PDdisp}=0,1545$ kein signifikantes Ergebnis. Bei Verwendung der tatsächlichen Geometrien ändert sich das Ergebnis geringfügig mit $\mu_{PD1}=4,171$ und $\mu_{PD2}=4,504$ zu $p_{NA/PD}=0,0961$ was jedoch wiederum keinen signifikanten Unterschied darstellt.

<p>Hypothese LE05: Die mit Predictive Display erzielten Gesamtleistungen der Probanden unterscheiden sich zwischen dem ersten und zweiten Durchgang nicht.</p>	<p>kann nicht abgelehnt werden</p>
---	------------------------------------

Risikobereitschaft

Das eingegangene Risiko wurde anhand subjektiver Bewertungen nach dem Fahrversuch ermittelt. Die Untersuchungen zu RB01 führten zu einer Normalverteilung der Werte der normalen Anzeige. Da für die Bewertung der prädizierten Anzeige jedoch keine Normalverteilung nachgewiesen werden konnte, wird der Wilcoxon-Test verwendet. Dieser weist keinen signifikanten Unterschied auf ($p=0,38045$)

Hypothese RB01: Das Gefühl einer realen Verkehrssituation unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

kann nicht abgelehnt werden

Auch für RB02 ist die Voraussetzung der Normalverteilung nicht gegeben, weshalb auch hier der Wilcoxon-Test angewendet wird. Mit $p=0,09201$ kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Hypothese RB02: Die Risikobereitschaft unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

kann nicht abgelehnt werden

Geschwindigkeitsgefühl

Das Geschwindigkeitsgefühl wird wie bereits die Hypothesen zur Risikobereitschaft anhand subjektiver Bewertungen der Probanden überprüft. Da keine Normalverteilung nachgewiesen werden kann, wird der Wilcoxon-Test verwendet. Dieser weist für GG01 einen höchst signifikanten Unterschied auf ($p=0,00002$).

Hypothese GG01: Der Eindruck der Probanden zur Einschätzung der Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs mit Predictive Display unterscheidet sich im Vergleich zur normalen Anzeige nicht.

abgelehnt

Auch für die Einschätzung der Geschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmer weist der Wilcoxon-Test ein signifikantes Ergebnis auf ($p=0,00005$).

Hypothese GG02: Der Eindruck der Probanden zur Einschätzung der Geschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmer mit Predictive Display unterscheidet sich im Vergleich zur normalen Anzeige nicht.

abgelehnt

Entlastung des Fahrers

Die Belastung des Fahrers wird anhand subjektiver Bewertungen der Probanden im Rahmen des NASA-RTLX ausgewertet. Für die Hypothese EF01 liegt keine Normalverteilung vor, weshalb der Wilcoxon-Test verwendet wird. Dieser liefert ein höchst signifikantes Ergebnis von $p=0,00001$.

Hypothese EF01: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen „Geistigen Anforderung“.

abgelehnt

Der Shapiro-Wilk-Test zeigt für EF02 und EF03 eine Normalverteilung der Werte. Dementsprechend wird der t-Test für abhängige Stichproben verwendet. Mit diesem lässt sich ein signifikanter Unterschied ableiten ($p=0,00008$).

Hypothese EF02: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen „Anstrengung“.

abgelehnt

Auch für EF03 wird der t-Test für abhängige Stichproben angewendet. Erneut ergibt sich ein signifikanter Unterschied ($p<0,00001$).

Hypothese EF03: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen „Frustration“.

abgelehnt

Erfüllung Fahraufgabe

Die Erfüllung der Fahraufgabe der jeweiligen Szenarien (FA01-FA08) wird anhand der Summe aus beiden Versuchen überprüft. Die Summen der Fahrten mit Prädiktion werden dabei mit den Summen der Ergebnisse bei normaler Anzeige verglichen. Während der Simulation kam es aufgrund immer wieder auftretender technischer Probleme unglücklicherweise zu geringem Datenverlust bei diversen Versuchsfahrten. Da sich die zu wertenden Versuche pro Szenario in ihrer Anzahl unterscheiden, wird der verwendete Stichprobenumfang (df) stets mit angegeben um die Aussagekraft des angewendeten Tests einschätzen zu können.

Der Shapiro-Wilk-Test bestätigt keine Normalverteilung der Werte für FA01, weshalb der Wilcoxon-Test anzuwenden ist. Bei einem Stichprobenumfang von 18 Probanden und Mittelwerten von $\mu_{NA}=1,888$ und $\mu_{PD}=1,901$ liefert dieser mit $p=0,3600$ keinen signifikanten Unterschied.

Hypothese FA01: Die Fahrleistung in Szenario 1 (Hütchenparcour) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Da die Daten für FA02 einer Normalverteilung unterliegen, kann der t-Test für abhängige Stichproben angewendet werden. Der Stichprobenumfang beträgt 19 Personen. Mit $p_{NA/PD}=0,3778$ für die tatsächliche Fahrzeuggeometrie und $p_{NA/Pddisp}=0,3389$ für die während der Versuche angezeigte Prädiktion ist der Unterschied in beiden Fällen nicht signifikant ($\mu_{NA}=1,053$, $\mu_{PD}=1,076$ und $\mu_{Pddisp}=1,085$).

Hypothese FA02: Die Fahrleistung in Szenario 2 (Fahrbahnverjüngung) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Die Messwerte aus Szenario 3 zeigen keine Normalverteilung weshalb der Wilcoxon-Test verwendet wird. Dieser liefert kein signifikantes Ergebnis ($p=0,8677$; $df=17$; $\mu_{NA}=1,187$, $\mu_{PD}=1,024$).

Hypothese FA03: Die Fahrleistung in Szenario 3 (Kreuzung) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Auch die Daten zu Hypothese FA04 unterliegen keiner Normalverteilung. Der Wilcoxon-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied ($p=0,9043$; $df=19$; $\mu_{NA}=0,672$, $\mu_{PD}=0,529$).

Hypothese FA04: Die Fahrleistung in Szenario 4 (Kreuzung abbiegen) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Bei Hypothese FA05 wird ebenfalls der Wilcoxon-Test verwendet. Dieser zeigt mit $p=0,9938$ einen signifikanten Unterschied, allerdings in die der Alternativhypothese entgegengesetzte Richtung. Die Hypothese wird mit dem Verweis abgelehnt, dass auch die in Unterkapitel 5.4 aufgestellte Alternativhypothese zu FA05 nicht korrekt ist ($df=18$; $\mu_{NA}=1,548$, $\mu_{PD}=1,317$).

Hypothese FA05: Die Fahrleistung in Szenario 5 (Kreuzung 30) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Abgelehnt

Da FA06 einer Normalverteilung unterliegt, kommt der t-Test für abhängige Stichproben zum Einsatz. Mit $p_{NA/PD}=0,2266$ und $p_{NA/Pddisp}=0,1736$ sind bei einem Stichprobenumfang von 17 und Mittelwerten von $\mu_{NA}=0,976$, $\mu_{PD}=1,103$ und $\mu_{Pddisp}=1,158$ keine signifikanten Unterschiede aufgetreten.

Hypothese FA06: Die Fahrleistung in Szenario 6 (Überholvorgang) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Die Daten zu Hypothese FA07 unterliegen keiner Normalverteilung. Der Wilcoxon-Test ergibt mit $p_{NA/PD}=0,1387$ und $p_{NA/Pddisp}=0,2152$ keine signifikanten Unterschiede ($df=19$; $\mu_{NA}=0,954$, $\mu_{PD}=1,058$, $\mu_{Pddisp}=1,038$).

Hypothese FA07: Die Fahrleistung in Szenario 7 (Nah Auffahren) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Der t-Test für abhängige Stichproben liefert bei Mittelwerten von $\mu_{NA}=0,735$, $\mu_{PD}=0,746$ und $\mu_{Pddisp}=0,745$ und einem Stichprobenumfang von 25 keinen signifikanten Unterschied ($p_{NA/PD}=0,4713$ und $p_{NA/Pddisp}=0,4739$).

Hypothese FA08: Die Fahrleistung in Szenario 8 (Gegenverkehr) unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Für die Überprüfung von Hypothese FA09 wird die Summe der Kollisionen pro Proband, je Anzeige berechnet. Mit dem Shapiro-Wilk-Test lässt sich eine Normalverteilung der Daten nachweisen. Der t-Test für abhängige Stichproben liefert bei Mittelwerten von $\mu_{NA}=2,588$ $\mu_{PD}=2,235$ und $\mu_{Pddisp}=2,294$ kein signifikantes Ergebnis ($p_{NA/PD}=0,2014$ und $p_{NA/Pddisp}=0,2503$).

Hypothese FA09: Die Gesamtanzahl an Kollisionen mit Traffic Vehicles unterscheidet sich zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Da die Daten für FA10 normalverteilt sind, kann der t-Test für abhängige Stichproben angewendet werden. Dieser liefert mit $p_{NA/PD}=0,6107$ und $p_{NA/Pddisp}=0,5535$ kein signifikantes Ergebnis. ($\mu_{NA}=4,257$ $\mu_{PD}=4,171$ und $\mu_{Pddisp}=4,216$)

Hypothese FA10: Die Gesamtleistung über alle Szenarien unterscheidet sich im ersten Durchgang zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Auch für FA11 kommt der t-Test zum Einsatz. Bei Mittelwerten von $\mu_{NA}=4,463$ $\mu_{PD}=4,504$ und $\mu_{Pddisp}=4,493$ ist erneut kein signifikanter Unterschied nachweisbar ($p_{NA/PD}=0,4299$ und $p_{NA/Pddisp}=0,4522$).

Hypothese FA11: Die Gesamtleistung über alle Szenarien unterscheidet sich im zweiten Durchgang zwischen Predictive Display und normaler Anzeige nicht.

Kann nicht abgelehnt werden

Hypothese FA12 wird anhand der subjektiven Einschätzung der Probanden ausgewertet. Der Shapiro-Wilk-Test liefert keine Normalverteilung der Messwerte womit der Wilcoxon-Test angewendet wird. Mit einem Ergebnis von $p=0,00224$ ist der Unterschied signifikant.

Hypothese FA12: Die Fahrzeugsteuerung mit Predictive Display führt im Vergleich zur normalen Anzeige zu keiner Veränderung der subjektiv empfundenen Qualität der „Aufgabenerfüllung“.

Abgelehnt

6.4 Auswertung der Ergebnisse

Wie in den drei vorherigen Unterkapiteln gezeigt, unterscheiden sich die objektiven Ergebnisse der Fahrversuche deutlich von der subjektiven Bewertung der Probanden. Während die Versuchsteilnehmer dem Predictive Display anhand ihrer Bewertung in den Fragebögen einen deutlichen Mehrwert bescheinigten, konnte im Vergleich der Fahrleistungen keine generelle Verbesserung durch die Prädiktion nachgewiesen werden.

Wie in Abbildung 6.10 gezeigt, wurde das Predictive Display im Fragebogen nach dem Fahrversuch bei jedem Vergleich höher bewertet. Mit Ausnahme der Frage zum eingegangenen Risiko ist die Prädiktion damit als Mehrwert einzuschätzen. Besonders eindeutig fallen die Ergebnisse bei den für das Steuern eines Fahrzeugs grundlegenden Informationen wie Geschwindigkeit und Position aus. Anhand der Differenzen der Mittelwerte zeigt sich, dass der Mehrwert dabei vor allem bezüglich der eigenen Prädiktion besonders hoch ist. Diese Werte decken sich mit dem offenen Feedback der Probanden. So wurde die eigene Prädiktion mehrfach als extrem nützlich hinsichtlich Fahrgefühl und Einschätzbarkeit der Position beschrieben. Nach Meinung der Versuchsteilnehmer machte sich das insbesondere in Szenarien bemerkbar, in denen ein präzises Fahrgefühl und gutes Abschätzen der Abstände nötig war. Das verbesserte Bewusstsein bezüglich der Fahrzeugpositionen wurde dabei auch als Steigerung des Wohlbefindens und Erhöhung der Sicherheit empfunden. Weiterhin wurden dem Predictive Display Vorteile beim Regulieren von Geschwindigkeit und Bremsverhalten eingeräumt sowie insgesamt ein sehr gutes Fahrgefühl. Ein Proband bemerkte, er traue sich nicht zu, eine reale, teleoperierte Fahrt ohne Prädiktion zu bewerkstelligen. Dieses Feedback spiegelt sich auch in der Frage nach der Einschätzbarkeit des Fahrzeugzustands wieder, in der die Prädiktion erneut deutlich besser bewertet wurde als die normale Anzeige. Kritisiert wurde das eigene Predictive Display besonders beim Anfahren, wo aufgrund der langen Reglervverzögerung der Pedalerie keine Darstellung in Echtzeit möglich war. Mehrere Teilnehmer erkannten der Prädiktion damit beim Beschleunigen aus dem Stillstand den Mehrwert ab. Durch das Fehlen einer Anzeige der eingestellten Sollgeschwindigkeit klagten die Probanden zusätzlich über große Schwierigkeiten beim Bremsen. Von einigen wenigen Probanden wurde der stehende Rahmen als Überflüssig empfunden. Als Begründung wurde genannt, dass die Höhe des Fahrzeugs nicht relevant genug sei.

Wird das Predictive Display der anderen Verkehrsteilnehmer betrachtet, fällt die Bewertung zwar ebenfalls zu dessen Gunsten aus, die Entscheidung ist aber nicht ganz so eindeutig. Auch bei den offenen Fragen wird der Prädiktion der Traffic Vehicle nicht der hohe Nutzen des eigenen Displays zugesprochen. Während einige Probanden vom Mehrwert der Anzeige überzeugt waren, sie als passend bezeichneten und eine Bereitstellung aller wichtigen Informationen bescheinigten, gab es andererseits eine hohe Anzahl an kritischen Bemerkungen. So wurde die Prädiktion als irritierend empfunden, da es nicht intuitiv möglich sei, die dargestellten Fahrzeuge aus dem Bewusstsein zu nehmen und durch die vorausberechnete Position zu ersetzen. Ein Proband erklärte, er würde zugunsten einer besseren Geschwindigkeitsregelung auch auf die Prädiktion der anderen Verkehrsteilnehmer verzichten. Besonders bei den drei Szenarien in denen eine Kreuzung bewerkstelligt werden musste, wurde die Prädiktion als irritierend bezeichnet. Die sehr häufige Nachfrage nach der Höhe der Visualisierung und der Bedeutung der rot dargestellten Verbindungslinie zwischen Predictive Display und Fahrzeug zeigt, dass die Darstellung nicht intuitiv verständlich war. Als Verbesserungsvorschlag wurde mehrfach genannt, die

Anzeige in Form eines dreidimensionalen Körpers, oder sogar als grobes Abbild des präzidierten Fahrzeugs darzustellen. In Kombination mit einer Verwendung von Signalfarben oder der Verschmelzung der Anzeige mit dem Traffic Vehicle, sei eine klarere Kennzeichnung der gefährlichen Bereiche gegeben. Einige Probanden gaben allerdings auch an, den Eindruck zu haben, die Fokussierung auf die Prädiktion sei erlernbar.

Die Frage nach dem eingegangenen Risiko bezieht sich auf den Hintergrund, dass sich der Fahrer bewusst sein muss, ein reales Fahrzeug zu steuern und bei Fehlverhalten im Straßenverkehr fatale Folgen wie Personenschäden anrichten kann. Da diesem Bewusstsein die Aufgabe und Motivation gegenüberstand, eine möglichst hohe Punktzahl zu erzielen, was teilweise eine übermäßig sportliche oder sogar gefährliche Fahrweise erforderte, ist das Ergebnis dieser Frage nicht aussagekräftig. Die Probanden gaben an, in der Simulation ein deutlich höheres Risiko eingegangen zu sein als das bei einer teleoperierten Fahrt im Straßenverkehr der Fall gewesen wäre.

Neben der Frage zum eingegangenen Risiko konnte noch eine weitere Hypothese auf Basis des Fragebogens nach dem Fahrversuch nicht abgelehnt werden: Die Bewertung der Realitätstreue der Situation. Mit Mittelwerten jeweils knapp über 3 Punkten wurde die Simulation nicht als realistisches Abbild einer teleoperierten Fahrt anerkannt. Die Prädiktion wurde zwar als Mehrwert empfunden was die Verfügbarkeit von Echtzeitinformatoren betrifft, konnte aufgrund der implementierten Grafiken allerdings nicht über den Videospielcharakter hinweg, zum Empfinden einer realen Verkehrssituation beitragen.

Ein geringer Unterschied in der Bewertung ist nach Abbildung 6.10 auch in der subjektiv empfundenen Leistungssteigerung zu erkennen. Mit Mittelwerten von $\mu_{NA}=4,79$ und $\mu_{PD}=4,82$ ist die Differenz zwar sehr gering, die Bewertung allgemein aber enorm hoch. Sowohl bei normaler Anzeige als auch mit Predictive Display hatten die Probanden also das Gefühl sich im letzten Durchgang klar gesteigert zu haben. Eine Steigerung, wenn auch nicht in großem Umfang, kann anhand der objektiven Messungen belegt werden. So stieg die durchschnittlich erzielte Punktzahl bei normaler Anzeige von $\mu_{NA1}=4,257$ auf $\mu_{NA2}=4,463$ Punkte zwischen den Durchgängen eins und zwei. Passend zum subjektiven Empfinden der Probanden fällt diese Verbesserung bei Fahrten mit Prädiktion sehr ähnlich aus ($\mu_{PD1}=4,171$ und $\mu_{PD2}=4,504$ sowie $\mu_{PD1disp}=4,216$ und $\mu_{PD2disp}=4,493$). Aufgrund der geringen Unterschiede ist den gezeigten Tendenzen keine Signifikanz nachzuweisen. Es liegt zunächst die Vermutung nahe, dass der Grund für die beobachtete Steigerung mit der geringen Erfahrung und einem schnellen Lernverhalten begründet ist. Werden lediglich die Probanden betrachtet, die sich auf dem Fragebogen vor dem Fahrversuch mit „unerfahren“ gegenüber Computerspielen bezeichneten, überrascht die Tatsache, dass die erzielten Punktzahlen jener Teilnehmer zwischen den beiden Durchgängen von durchschnittlich 7,90 auf 7,38 Punkte sanken. Die Probanden, welche sich als „teilweise erfahren“ oder „erfahren“ bezeichneten, konnten dagegen eine Steigerung von durchschnittlich 8,56 auf 9,63 Punkte verbuchen. Die über alle Szenarien erzielten Punkte sind bei den erfahreneren Teilnehmern mit im Schnitt 18,19 Punkten deutlich höher, als bei Probanden die sich als „unerfahren“ oder „eher unerfahren“ bezeichneten und durchschnittlich 16,55 Punkte erzielten. Diese Werte zeigen, dass eine Abhängigkeit sowohl der erbrachten Leistung über alle Szenarien als auch der Leistungssteigerung von der Erfahrung mit Computerspielen abhängen könnte. Durch die verhältnismäßig fordernden Szenarien war bei einigen Probanden ein Ermüdungseffekt mit Konzentrationsverlust bemerkbar. Erfahrung im Umgang mit Videospiele könnte dabei helfen, visualisierte Situationen besser zu erfassen, sich schneller an die Steuerung zu gewöhnen und über einen längeren Zeitraum konzentriert zu bleiben. Eine statistische Belegung dieser Theorie ist

im Rahmen der vorliegenden Studie aufgrund der zu geringen Probandenanzahl in Verbindung mit teilweise unvollständigen Datensätzen jedoch leider nicht möglich.

Zusätzlich zu den vielen positiven Bewertungen wurden auch allgemeine Rückmeldungen getätigt, die dazu beitragen können, das teleoperierte Fahren weiter zu verbessern. Die extra für die Simulation ausgeblendete Geschwindigkeitsanzeige wurde schmerzlich vermisst. Auch Motorschleppmoment und generell Umgebungsgeräusche waren ein häufig genanntes Defizit. Die fehlende Anzeige der Seiten- und Rückspiegel wurde stets in Szenario *Fahrbahnverjüngung* bemerkt und als Mangel an bereitgestellter Information bezeichnet. Probanden mit großem Schuhwerk hatten zudem ab und an das Problem, sowohl Bremse als auch Gaspedal gleichzeitig zu berühren. Gewünscht wurde eine größere Differenz zwischen diesen beiden Pedalen, angelehnt an die tatsächlichen Positionen im Auto. Als weitere Verbesserungsvorschläge wurden eine Abstandsanzeige zum vorausfahrenden Fahrzeug, eine Anzeige der eingestellten Sollgeschwindigkeit, sowie die Umrechnung der Ansicht in Vogelperspektive genannt.

Werden die objektiven Ergebnisse der Studie betrachtet, überraschen zunächst die stets sehr knappen Entscheidungen. Mit 26,56 Prozent Abweichung ist im Szenario *Kreuzung abbiegen* der größte Unterschied zwischen Prädiktion und normaler Anzeige aufgetreten. Die weiteren Differenzen sind meist deutlich geringer. Während in Unterkapitel 3.4 bei Berechnung des optimalen Stichprobenumfangs noch von einem relativ großen Effekt ausgegangen wurde ($d = 0,6$), stellt sich die Frage, weshalb die Ergebnisse so viel knapper ausfallen als erwartet. Gründe sind sicherlich der Zeitdruck, mit dem die Szenarien absolviert werden mussten und das Verleiten der Probanden zu übermäßig sportlichem Fahrverhalten. Aufgrund der Drucksituation war es den Versuchsteilnehmern nicht möglich, sich intensiv auf die Prädiktion zu konzentrieren. Die als Feedback bereits erwähnte ausbaufähige Intuition des Predictive Display erforderte längere Eingewöhnungsphasen als im Voraus vermutet. Wird die Differenz der Punkte zwischen den beiden Anzeigen summiert, liegt diese im ersten Durchgang bei durchschnittlich 0,32 pro Proband. Im Vergleich dazu wird im zweiten Durchgang mit 0,57 Punkten ein wesentlich deutlicherer Unterschied zwischen den Anzeigen erzielt. Ob sich diese Tendenz bei zusätzlichen Durchgängen bestätigt müsste in weiteren Simulationsfahrten untersucht werden.

Werden die einzelnen Szenarien betrachtet, so sind die Ergebnisse häufig unterschiedlich. Wie in Unterkapitel 6.1 beschrieben, ist eine allgemeine Tendenz über den Mehrwert der Prädiktion nicht ersichtlich. Daher ist eine separate Untersuchung der einzelnen Szenarien erforderlich.

In *Hütchenparcour* sind die Ergebnisse ohne Predictive Display minimal geringer. Mit jeweils über 0,92 Punkten pro Durchgang ist die Wertung insgesamt aber sehr hoch. Diese Tatsache verdeutlicht, dass der Parcours auch ohne Prädiktion relativ einfach zu bestehen war. Eine Verbesserung der Werte durch das Predictive Display war daher kaum möglich. Um ein deutlicheres Ergebnis erzielen zu können, sollte die Pylonenanzahl erhöht werden oder ein etwas geringerer Abstand zwischen diesen gewählt werden. Möglich ist auch eine Ausweitung der Bewertung auf die Entfernung zum Hütchen beim Umfahren anstatt einer reinen Auswertung der Kollisionen. Weiterhin kann der Fokus auch auf ein möglichst mittiges Durchfahren, der durch zwei Hütchen symbolisierten Tore, gelegt werden. In Abbildung 6.17, die den Aufbau des Szenarios aus der Vogelperspektive zeigt, werden diese Möglichkeiten der Anpassung ersichtlich.



Abbildung 6.17: Szenario Hütchenparcour aus der Vogelperspektive

Das Szenario *Fahrbahnverjüngung* weist in den beiden Durchgängen unterschiedliche Tendenzen auf. Während im ersten Versuch zunächst die Fahrten mit Prädiktion bessere Ergebnisse liefern, ist die Neigung bei den letzten beiden Fahrten genau andersrum. Wie in Abbildung 6.6 gezeigt, ergibt das Predictive Display leichte Vorteile. Wie der Boxplot weiter zeigt, ist die durchschnittlich erreichte Punktzahl bei Fahrten mit Prädiktion zwischen den Versuchen eins und zwei zwar nur minimal gestiegen, der Rückgang der mit 0 Punkten gewerteten Fahrten ist jedoch als Erfolg zu verbuchen. Der in der Darstellung fehlende Seitenspiegel erschwerte den Vorgang des Einschierens nach Meinung der Probanden massiv. Der potentielle Effekt des Predictive Display ist dadurch nur sehr geringfügig zur Geltung gekommen. Die hohe Streuung der Werte bei Fahrten mit normaler Anzeige zeigt, dass einige Probanden auch ohne Prädiktion mit der Situation sehr gut zu rechkamen. Im zweiten Teil des Szenarios, wo es darum ging einen möglichst konstanten Abstand zum Vordermann zu halten, konnte die Prädiktion dagegen besser genutzt werden. Die Daten der Auswertung zeigen, dass mit durchschnittlich jeweils 0,62 Punkten bei Fahrten mit Prädiktion gegenüber 0,55 bzw. 0,52 Punkten ohne Anzeige in beiden Durchgängen eine Verbesserung erkennbar war.

Die drei Szenarien die eine Kreuzung mit quer zur eigenen Fahrtrichtung bewegten Fahrzeugen beinhalten, erzielten mit Predictive Display allesamt schlechtere Ergebnisse. Viele Probanden behaupteten, die Prädiktion habe ihnen bei diesen Szenarien nicht geholfen und lediglich irritierend gewirkt. Die zahlreichen bereits angeführten Verbesserungsvorschläge zeigen die teils mangelhafte Akzeptanz der Prädiktion der anderen Verkehrsteilnehmer durch die Probanden. Erschwerend kam die große Verzögerung beim Anfahren hinzu, was ein Beschleunigen zu einem anvisierten Zeitpunkt deutlich erschwerte. In *Kreuzung 30* war die Geschwindigkeit fest vorgegeben, die höhere Punktzahl wurde aber dennoch mit der normalen Anzeige erreicht. Werden die für die Berechnung der Punkte gemessenen Abstände betrachtet fällt auf, dass die Fahrer bei Fahrten mit Prädiktion sehr mittig zwischen zwei Fahrzeugen auf die Kreuzung auffahren ($x_1=6,67$, $x_2=6,69$), mit normaler Anzeige dagegen etwas weiter links orientiert sind ($x_1=6,15$, $x_2=7,22$). Beim Verlassen der Kreuzung ist der Abstand zum rechten Fahrzeug dementsprechend geringer ($x_3=9,64$, $x_4=3,64$) als mit Predictive Display ($x_3=10,47$, $x_4=2,90$). Diese Betrachtung legt die Theorie nahe, dass es der Fahrer selbstständig besser schafft, sich die tatsächliche

Position der Verkehrsteilnehmer und seiner eigenen Position vorzustellen als sich an der dargestellten Prädiktion zu orientieren.

Das Szenario *Überholvorgang* wurde jeweils mit Prädiktion besser absolviert. Besonders die aufgrund der höheren Geschwindigkeit komplett angezeigte Darstellung der eigenen Prädiktion wurde als Mehrwert empfunden. Auch in *Nah auffahren* erzielten die Probanden mit Predictive Display höhere Punktzahlen. Die Differenz ist im ersten Durchgang noch sehr gering, fällt in Versuch zwei allerdings bereits deutlich größer aus. Dieses Phänomen ist auf eine benötigte Eingewöhnungszeit der Probanden zurückzuführen. Einigen Teilnehmern war nicht intuitiv bewusst, dass eine Berührung des dargestellten Fahrzeugkorpus mit der eigenen Prädiktion noch keine Kollision zur Folge hat. Wird zusätzlich zu diesen beiden Szenarien der zweite Teil von *Fahrbahnverjüngung* betrachtet fällt auf, dass die Prädiktion stets bei Verfolgungsfahrten zu einer höheren Punktzahl führt.

Age	Sex	km per year	Driven km	Driving Style	Simulator Exp	Game Exp	Punkte
25	m	3	4	3	1	2	20,65
23	m	1	2	3	0	1	20,62
23	m	2	2	3	0	1	20,56
38	m	4	4	3	1	3	20,41
24	m	2	3	3	1	2	20,15
24	m	3	3	2	0	2	18,99
23	f	1	2	2	0	2	18,58
26	m	3	3	3	0	4	18,53
23	m	2	3	3	0	2	18,36
28	m	1	3	1	0	1	18,25
22	m	2	3	3	0	3	17,89
25	m	1	2	3	0	3	17,74
24	f	1	1	1	0	2	16,43
24	m	1	2	2	0	4	16,22
25	f	3	4	4	1	4	15,29
23	m	1	1	3	0	2	15,16
24	f	2	3	3	1	4	13,39
24	f	3	3	3	0	4	12,95
28	m	1	1	3	1	2	12,39

Abbildung 6.18: Gesamtpunkte aller Szenarien in Kombination mit Eigenschaften der Probanden

Wird der Fragebogen vor dem Fahrversuch mit den objektiv erzielten Ergebnissen kombiniert (Abbildung 6.18), können Abhängigkeiten untersucht werden. Die männlichen Versuchsteilnehmer erzielten im Schnitt 18,28 Punkte während die weiblichen Probanden auf 15,33 Punkte kommen. Dieser Unterschied kann durch die mit 2,29 zu 3,20 deutlich höhere Videospieleerfahrung der männlichen Teilnehmer zurückgeführt werden. Da für die Betrachtung lediglich fünf Datensätze weiblicher Probanden zur Verfügung stehen, kann keine Signifikanz des Ergebnisses nachgewiesen werden ($p=0,1562$). Der relativ ausgeprägte Unterschied legt eine separate Betrachtung der Videospieleerfahrung nahe. Da in diesem Fall die erfahrenen Spieler überwiegen, werden die größten und kleinsten Werte als Extremwerte gestrichen um für den t-Test gleich große Stichproben zu haben. Damit ergeben sich im Mittel erzielte Punkte von 18,70 (teilweise erfahren und erfahren) gegenüber 16,55 Punkten (unerfahren und geringfügig erfahren) bei jeweils acht Versuchsteilnehmern. Mit $p=0,0293$ ist der Unterschied signifikant. Als potentielle Ursache sind ein

besseres Überblicken der Situation sowie eine deutlich geringere Eingewöhnungszeit an das Fahrzeughandling zu nennen. Werden ausschließlich Probanden betrachtet die sich als erfahren im Umgang mit Computerspielen bezeichneten, liegt der Mittelwert der erzielten Punkte über alle Szenarien sogar bei 19,81 Punkten. Werden diese erfahrenen Probanden mit den unerfahrenen Probanden (14,97 Punkte) verglichen, zeigt der t-Test mit $p=0,0422$ erneut ein signifikantes Ergebnis. Wie bereits bei der vorhergehenden Testung wurde an dieser Stelle sowohl der höchste als auch der kleinste Wert gestrichen um ausgeglichene Stichprobenumfänge zu ermöglichen. Erstaunlich ist die Betrachtung der Simulatorerfahrung. Probanden, die mindestens einmal an einer Simulation teilgenommen haben, erzielten durchschnittlich 17,05 Punkte und damit weniger als Probanden ohne Vorerfahrung (17,71 Punkte). Mit $p=0,5781$ ist dieser Unterschied nicht signifikant. Mit 17,71 zu 17,21 Punkten ist der Mehrwert einer hohen Fahrerfahrung (insgesamt über 50.000 km) sehr gering. Probanden, die mit der normalen Anzeige starteten, erzielten durchschnittlich 17,72 Punkte während des kompletten Versuchs. Teilnehmer, die den Test mit Predictive Display begannen, erreichten eine Gesamtanzahl von 17,14 Punkten. Mit $p=0,4219$ ist der Unterschied auch in diesem Fall nicht signifikant. Abhängigkeiten von Eigenschaften und Erfahrung der Probanden sind anhand der Gesamtpunktzahl damit nur teilweise festzustellen. Signifikante Unterschiede konnten lediglich bei der Videospieleerfahrung nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse des NASA-RTLX zeigen, dass das Predictive Display in Bezug auf Beanspruchung und Belastung als deutliche Unterstützung empfunden wurde. Besonders auffällig sind die Fragen zur geistigen Anforderung, der Zufriedenheit mit der eigenen Performance sowie der erlebten Frustration, die allesamt klar zugunsten der Prädiktion bewertet wurden. Die teilweise hohen Standardabweichungen zeigen, dass die Belastung von den Probanden jedoch als sehr unterschiedlich empfunden wurde. Auf der Suche nach potentiellen Auswirkungen von beispielsweise Fahrerfahrung, Simulatorerfahrung oder auch Alter und Geschlecht der Probanden auf die Ergebnisse, reicht zunächst ein einfacher Vergleich der Mittelwerte. Über alle sechs Fragen des NASA-RTLX gaben die Probanden im Mittel eine durchschnittlich empfundene Belastung von 9,85 auf der Skala von 1 (=sehr niedrig) bis 20 (=sehr hoch) an. Im Vergleich dazu, gaben die 14 ältesten Personen die Belastung im Mittel mit 9,98 an, die jüngere Hälfte des Teilnehmerkreises mit 9,73. Während die sieben weiblichen Versuchsteilnehmer die Belastung durchschnittlich mit 9,94 bewerteten, gaben die 21 männlichen Teilnehmer die Belastung im Mittel mit 9,83 an. Von den acht Probanden die bereits über Erfahrung mit Fahrsimulatoren verfügen, ergibt sich eine durchschnittliche Bewertung von 9,70 gegenüber 9,92 bei komplett unerfahrenen Teilnehmern. Auch bezüglich der Fahrerfahrung sind die Unterschiede mit 9,90 bei Probanden mit Fahrerfahrung über 50.000 km, gegenüber den unerfahreneren Personen (9,78) sehr gering. Aufgrund der marginalen Unterschiede zwischen den Bewertungen sind an dieser Stelle keine statistischen Überprüfungen erfolgreich. Eine Abhängigkeit der empfundenen Belastung mit den zu Beginn des Versuchs getätigten allgemeinen Informationen ist also nicht auszumachen.

Somit darf zusammenfassend angenommen werden, dass die Prädiktion für alle Probanden, egal welchen Alters, Geschlechts oder welcher Vorerfahrung, einen hohen Mehrwert in Bezug auf die Belastung hat. Auch beim allgemeinen Fahrgefühl und der empfundenen Sicherheit hat das Predictive Display überzeugt. Alle 28 Versuchsteilnehmer wählten im abschließenden Fragebogen die Prädiktion als bevorzugte Darstellung aus. Die Hypothesen der objektiven Messungen konnten zwar nicht abgelehnt werden, jedoch sind Tendenzen erkennbar die das Potential aber auch die notwendigen Verbesserungen aufzeigen.

Während das Predictive Display in der subjektiven Betrachtung klar überzeugen konnte, sind die objektiven Ergebnisse nicht eindeutig. Diese Tatsache wirft die Frage auf, ob der Ablauf der Studie und die Szenarien an sich ungeschickt gewählt wurden. Da die Szenarien bei jedem Durchlauf stets identisch sind, konnten sich aufmerksame Probanden nach einigen Fahrten bereits an die korrekte Lösung erinnern. Unter dieser Voraussetzung wurde die Möglichkeit geschaffen, sich mit fortschreitenden Durchgängen an eine optimale Bewerkstelligung der Aufgabe heranzutasten. Das Ziel war in diesem Fall herauszufinden, ob mit Predictive Display eine bessere Bewerkstelligung des Szenarios möglich ist. Dem Willen sich weiter zu verbessern stand bei einigen Probanden aber auch eine Ermüddungserscheinung mit Motivationsverlust aufgrund sich wiederholender Fahrmanöver gegenüber. Der Simulationsablauf wurde von einigen Teilnehmern im Nachhinein als zu lang empfunden. Um zu umfangreiche Studien zu vermeiden, könnte die Anzahl der Szenarien bei weiteren Versuchen deutlich beschränkt werden. Um die Gesamtzeit des Versuchs weiter zu verkürzen ist es ebenfalls ratsam, möglichst viele Verkehrssituationen in einem DYNA4-Szenario zu vereinen. Da die Simulationsumgebung für jeden Versuch neu geladen werden muss, lässt sich auf diese Weise viel Zeit einsparen. Um die Szenarien auch bei wiederholtem Durchfahren interessant und anspruchsvoll zu halten, könnten Traffic Vehicle variabel eingebunden werden. So ist es beispielsweise bei den Szenarien *Kreuzung* oder *Kreuzung 30* denkbar, die Startkoordinaten der anderen Verkehrsteilnehmer zufällig auszuwählen. Der Lerneffekt bezieht sich somit nicht mehr auf das Erlernen des Lösungsweges des Szenarios sondern vielmehr auf die Beherrschung des eigenen Fahrzeugs und ein korrektes Einschätzen der anderen Fahrzeuge. Der Fokus liegt damit auf dem intuitiven Erkennen und Handeln. Es muss jedoch bedacht werden, dass in diesem Fall die Vergleichbarkeit der Leistungen der Probanden abnimmt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der gewonnenen subjektiven und objektiven Daten konnten die aufgestellten Hypothesen überprüft werden und damit zahlreiche Tendenzen aufgezeigt werden. Mit Hilfe statistischer Methoden wurde anschließend eine Vielzahl dieser Tendenzen als signifikante Unterschiede belegt.

Zunächst bestätigte sich die allgemeine Tauglichkeit des Predictive Displays am eigenen Fahrzeug. Für das Einschätzen der eigenen Geschwindigkeit, des Zustands des Fahrzeugs oder der Fahrzeugposition konnte der Prädiktion ein hoher Mehrwert bescheinigt werden. Die Anzeige der anderen Verkehrsteilnehmer wurde insgesamt als positiv bewertet, es bedarf allerdings noch einer Nachbearbeitung der Darstellung. Viele Probanden klagten über Schwierigkeiten sich auf die Prädiktion zu konzentrieren. Auch das intuitive Verständnis war nicht ausreichend gegeben. Generell erzielten die Probanden stets in Szenarien bessere Ergebnisse, in denen sich die Traffic Vehicle mit oder gegen die eigene Fahrtrichtung bewegen. In den drei Kreuzungsszenarien mit quer zum eigenen Fahrzeug fahrendem Verkehr, wurden dagegen mit der Prädiktion stets schlechtere Ergebnisse erzielt. Abhängigkeiten zwischen Eigenschaften wie Fahrerfahrung oder Simulatorerfahrung mit den erzielten Versuchsergebnissen konnten nicht nachgewiesen werden. Es zeigte sich jedoch, dass eine ausgeprägte Erfahrung mit Videospiele zu besseren Fahrleistungen führt.

Zusammenfassend gaben alle 28 Versuchsteilnehmer an, die Prädiktion als bevorzugte Darstellung zu wählen. Insbesondere die Reduzierung der mentalen Beanspruchung, eine geringere Frustration während der Versuchsausführung und das Empfinden bessere Ergebnisse erzielt zu haben, waren für diese Auswahl ausschlaggebend. Um das Predictive Display in realen, teleoperierten Straßenfahrzeugen einsetzen zu können, sind aber noch weitere Entwicklungen und Untersuchungen notwendig. Dabei sollten die erkennbaren Tendenzen überprüft und notwendige Verbesserungen implementiert werden.

Durch Fahrzeiten von einer knappen Stunde waren einerseits Lerneffekte aber auch Ermüdungserscheinungen ersichtlich, was sich in einigen Szenarien an einer Zunahme der Unfallzahlen bemerkbar machte. Da das teleoperierte Fahren aufgrund der ungewohnten Situation höchste Konzentration erfordert, sind im Hinblick auf die Ausbildung von Teleoperatoren Untersuchungen über die zumutbaren Fahrzeiten und Bedingungen nötig.

Die Auswertung der objektiven Messgrößen führte nicht zu einer Ablehnung der aufgestellten Hypothesen. Um die gezeigten Tendenzen statistisch korrekt zu verifizieren, ist eine umfangreiche Studie mit einer deutlich größeren Probandenanzahl nötig. Es empfiehlt sich dabei auch, die Menge der Szenarien zu reduzieren um die Konzentration auf einige wenige Verkehrssituationen zu lenken um damit eindeutigere Ergebnisse zu bekommen.

Trotz 28 Probanden konnte die berechnete optimale Stichprobengröße von 19 Teilnehmern aufgrund von Datenverlust bei einigen wenigen Tests nicht eingehalten werden. Um bei teleoperierten Fahrten das Risiko zu minimieren ist die Stabilität des Systems von essentieller Wichtigkeit.

Die in der Simulation eingesetzten Traffic Vehicle waren stets auf eine feste Geschwindigkeit eingestellt. Da das reale Verkehrsgeschehen wesentlich dynamischer abläuft, sollten in weiteren Schritten Verkehrsteilnehmer mit unvorhersehbarerem Verhalten sowie

noch realitätsgetreudere Verkehrswege beispielsweise mit Kreisverkehren oder schrägen Kreuzungen betrachtet werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Weltweites Mobilitätsaufkommen 2000-2050 [Int11].....	1
Abbildung 1.2:	Umfrage zur Akzeptanz von Autopilotensystemen [Aut11; Ran11a].....	2
Abbildung 1.3:	Operatorarbeitsplatz der Technischen Universität München [Hed13] ..	3
Abbildung 3.1:	Likert-Skala mit fünf Optionen [Rau11].....	9
Abbildung 3.2:	Einseitige Hypothesentestung (links) und zweiseitige Hypothesentestung (rechts) [Che].....	15
Abbildung 3.3:	Berechnung des optimalen Stichprobenumfangs mit G*Power 3 [Fau13].....	16
Abbildung 3.4:	Vorgehen bei der Auswahl des statistischen Tests bei zwei Stichproben.....	19
Abbildung 5.1:	Aufbau des Fahrsimulators.....	23
Abbildung 5.2:	Überblick über den Fahrsimulator.....	24
Abbildung 5.3:	Darstellung der Prädiktion anderer Fahrzeuge aus der Seitenansicht.....	24
Abbildung 5.4:	Außenmaße des BMW X3 [BMW13]	25
Abbildung 5.5:	Streckengeometrie Szenario 1	26
Abbildung 5.6:	Fahrweg Hütchenparcour	26
Abbildung 5.7:	Fahrbahnverjüngung	27
Abbildung 5.8:	Messpunkt in Szenario 2	28
Abbildung 5.9:	Erster Messpunkt in Szenario 3.....	29
Abbildung 5.10:	Zweiter Messpunkt in Szenario 3.....	29
Abbildung 5.11:	Design des Szenarios Kreuzung abbiegen.....	30
Abbildung 5.12:	Moment des Einschlerens bei Kreuzung abbiegen.....	31
Abbildung 5.13:	Messpunkt in Szenario 4	31
Abbildung 5.14:	Überfahren der Querstraße in Kreuzung 30	32
Abbildung 5.15:	Messpunkt in Szenario 6	33
Abbildung 5.16:	Messpunkt in Szenario 7	34
Abbildung 5.17:	Entscheidende Situationen in Szenario Gegenverkehr	35
Abbildung 5.18:	Messpunkte in Szenario 8	36
Abbildung 5.19:	Versuchsablauf der Probandenstudie.....	45
Abbildung 5.20:	Überblick über das Probandenkollektiv.....	46
Abbildung 6.1:	Unterschied zwischen angezeigten und tatsächlichen Geometrien bei Fahrten mit Prädiktion.....	47
Abbildung 6.2:	Unterschied tatsächliche Fahrzeuggeometrie und prädizierte Geometrie	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6.3:	Fahrleistungen im ersten Durchgang.....	49
Abbildung 6.4:	Fahrleistungen im zweiten Durchgang.....	49
Abbildung 6.5:	Fahrleistungen über beide Durchgänge aufsummiert	50
Abbildung 6.6:	Boxplots Hütchenparcour und Fahrbahnverjüngung.....	50
Abbildung 6.7:	Boxplots Kreuzung und Kreuzung abbiegen.....	51
Abbildung 6.8:	Boxplots Kreuzung 30 und Überholvorgang	52
Abbildung 6.9:	Boxplots Nah Auffahren und Gegenverkehr	53
Abbildung 6.10:	Ergebnisse des Fragebogens nach dem Fahrversuch.....	54
Abbildung 6.11:	Boxplots zur Einschätzung der eigenen Geschwindigkeit (l), der Geschwindigkeit der Traffic Vehicles (m) und der Einschätzung des Fahrzeugzustands (r)	54
Abbildung 6.12:	Boxplots zur Einschätzung der eigenen Fahrzeugposition (l), der Einschätzung der Position der Traffic Vehicle (m) und dem Empfinden einer realen Verkehrssituation (r).....	55
Abbildung 6.13:	Boxplots zum eingegangenen Risiko (l), zur empfundenen Leistungssteigerung (m) und zum Zutrauen in eine einwandfreie Leistung bei mehr Übung (r).....	55
Abbildung 6.14:	Ergebnisse des NASA RTLX.....	56
Abbildung 6.15:	Boxplots zur mentalen (l), körperlichen (m) und zeitlichen Beanspruchung (r).....	57
Abbildung 6.16:	Boxplots zur Zufriedenheit mit der eigenen Performance (l), dem für das Erreichen der Ziele benötigten Aufwand (m), sowie der erlebten Frustration (r)	57
Abbildung 6.17:	Szenario Hütchenparcour aus der Vogelperspektive	67
Abbildung 6.18:	Gesamtpunkte aller Szenarien in Kombination mit Eigenschaften der Probanden	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Definition der Standardformulierung von Hypothesen [Leo04, S. 124].....	13
Tabelle 5.1: Punktevergabe Szenario 2	28
Tabelle 5.2: Punktevergabe Szenario 3	30
Tabelle 5.3: Punktevergabe Szenario 6	33
Tabelle 5.4: Punktevergabe Szenario 7	34
Tabelle 5.5: Punktevergabe Szenario 8	36
Tabelle 5.6: Messungen Gruppe Task	37
Tabelle 5.7: Messungen Gruppe Traffic	37
Tabelle 5.8: Messungen Gruppe Vehicle Control	38
Tabelle 5.9: Messungen Gruppe Vehicle / Chassis	38
Tabelle 5.10: Messungen Gruppe CTRL.....	38
Tabelle 5.11: Messwerte User Inputs.....	39

Abkürzungsverzeichnis

d	Effektgröße
α	α -Fehler-Niveau
β	β -Fehler-Niveau
n	Stichprobenumfang
$X_{\text{tatsächlich}}$	Tatsächliche Länge des Fahrzeugs
$X_{\text{prädiziert}}$	In der Simulation prädizierte Länge des Fahrzeugs
$X_{\text{tatsächlichF}}$	Tatsächliche Länge des Fahrrads
df	Stichprobenumfang
μ_{MP}	Mittelwert der erzielten Punkte unter Annahme der korrekten Größe der Prädiktion
μ_{MPdisp}	Mittelwert der erzielten Punkte mit den in der Simulation dargestellten Prädiktionen
σ_{MP}	Standardabweichung der erzielten Punkte unter Annahme der korrekten Größe der Prädiktion
σ_{MPdisp}	Standardabweichung der erzielten Punkte mit den in der Simulation dargestellten Prädiktionen
μ_{NA1}	Mittelwert der im ersten Durchgang erzielten Punkte bei normaler Anzeige
μ_{NA2}	Mittelwert der im zweiten Durchgang erzielten Punkte bei normaler Anzeige
μ_{PD1}	Mittelwert der im ersten Durchgang erzielten Punkte bei tatsächlicher Größe des Predictive Display
μ_{PD1disp}	Mittelwert der im ersten Durchgang erzielten Punkte mit dargestelltem Predictive Display
μ_{PD2}	Mittelwert der im zweiten Durchgang erzielten Punkte bei tatsächlicher Größe des Predictive Display
μ_{PD2disp}	Mittelwert der im zweiten Durchgang erzielten Punkte mit dargestelltem Predictive Display
σ_{NA1}	Standardabweichung der im ersten Durchgang erzielten Punkte bei normaler Anzeige
σ_{NA2}	Standardabweichung der im zweiten Durchgang erzielten Punkte bei normaler Anzeige
σ_{PD1}	Standardabweichung der im ersten Durchgang erzielten Punkte bei tatsächlicher Größe des Predictive Display
σ_{PD1disp}	Standardabweichung der im ersten Durchgang erzielten Punkte mit dargestelltem Predictive Display
σ_{PD2}	Standardabweichung der im zweiten Durchgang erzielten Punkte bei tatsächlicher Größe des Predictive Display

Abkürzungsverzeichnis

$\sigma_{PD2disp}$	Standardabweichung der im zweiten Durchgang erzielten Punkte mit dargestelltem Predictive Display
$p_{NA/PDdisp}$	P-Wert für den Vergleich zwischen normaler Anzeige und dargestellter Prädiktion
$p_{NA/PD}$	P-Wert für den Vergleich zwischen normaler Anzeige und tatsächlicher Prädiktion

Verwendete Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
x_1	m	Abstand zwischen Fahrzeug und Traffic Vehicle
x_2	m	Abstand zwischen Fahrzeug und Traffic Vehicle
x_3	m	Abstand zwischen Fahrzeug und Traffic Vehicle
x_4	m	Abstand zwischen Fahrzeug und Traffic Vehicle
d_1	m	Mittelwert aus den Abständen x_1 und x_3
d_2	m	Mittelwert aus den Abständen x_2 und x_4

Literaturverzeichnis

- [Aut11]: AutoScout24: *autofahrer-autonomes-fahren-ueberzeugung-anwendung-pro-contra.jpg* (JPEG-Grafik, 915 x 589 Pixel). URL <http://static.zukunft-mobiltaet.net/wp-content/uploads/2011/09/autofahrer-autonomes-fahren-ueberzeugung-anwendung-pro-contra.jpg>. – Aktualisierungsdatum: 2011-09-23 – Überprüfungsdatum 2014-01-30
- [Ber02]: Berufsverband Deutscher Psychologinnen und Psychologen (Hrsg.); SCHEUFLER, Ingrid (Mitarb.): *Qualitative Bestimmung der situativen Fahrerbelastung*, 2002
- [BMW13]: BMW: *bmw-x3-2004.gif* (GIF-Grafik, 1250 x 718 Pixel). URL <http://autoautomobiles.narod.ru/autoautomobiles/bmw/bmw-x3-2004.gif>. – Aktualisierungsdatum: 2013-04-12 – Überprüfungsdatum 2014-01-30
- [Bor05]: BORTZ, Jürgen: *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 6. Aufl. Heidelberg : Springer Medizin Verlag, 2005
- [Bro]: BROOKE, John: SUS - A quick and dirty usability scale. In: *Usability Evaluation in Industry*.
- [Che]: Chemgaroo: *Statistische Prüfverfahren : Ein- und zweiseitige Tests*. URL <http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/13/anc/daten/pruefverfahren/images/tests1.gif> – Überprüfungsdatum 2014-01-30
- [Coh88]: COHEN, Jacob: *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2. Aufl. : L. Erlbaum Associates, 1988
- [Dai13]: Daimler Global Media Site: *Pionierleistung: Autonome Langstreckenfahrt im Überland- und Stadtverkehr : Mercedes-Benz S-Klasse INTELLIGENT DRIVE fährt autonom auf den Spuren von Bertha Benz*. URL <http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-614307-49-1629819-1-0-1-1630016-0-0-11694-0-0-1-0-0-0-0.html>. – Aktualisierungsdatum: 2013-09-09 – Überprüfungsdatum 2014-01-30
- [Det10]: DETERT, Yára ; SÖHL, Christa: *Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung für Ahnungslose : Eine Einstiegshilfe für Studierende ; mit ... 17 Tabellen*. Stuttgart : Hirzel, 2010 (Für Ahnungslose)
- [Det08]: DETTEN, Philipp von ; FAUDE, Oliver ; MEYER, Tim: *Leitfaden zur statistischen Auswertung von empirischen Studien*. Paderborn, Universität Paderborn, Institut für Sportmedizin. 2008
- [Die11]: DIERMEYER, Frank ; GNATZIG, Sebastian ; CHUCHOLOWSKI, Frederic ; TANG, Tito ; LIENKAMP, Markus: Der Mensch als Sensor - Der Weg zum teleoperierten Fahren. In: *AAET 2011*.
- [Eng13]: ENGELBRECHT, Anna: *Fahrkomfort und Fahrspaß bei Einsatz von Fahrerassistenzsystemen*. Berlin, Humboldt-Universität, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II. Dissertation. 2013
- [Fah11]: FAHRMEIR, Ludwig ; KÜNSTLER, Rita ; PIGEOT, Iris ; TUTZ, Gerhard: *Statistik - Der Weg zur Datenanalyse*. 7. Aufl. : Springer, 2011

- [Fau13]: FAUL, Franz ; BUCHNER, Axel ; ERDFELDER, Edgar ; LANG, Albert-Georg: *G*Power*. Version 3.1.7. URL <http://www.psych.uni-duesseldorf.de/abteilungen/aap/gpower3> – Überprüfungsdatum 2014-01-12
- [Fau09]: FAUL, Franz ; ERDFELDER, Edgar ; BUCHNER, Axel ; LANG, Albert-Georg: Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses, Bd. 41. In: *Behavior Research Methods*, S. 1149–1160
- [Gna13]: GNATZIG, Sebastian ; CHUCHOLOWSKI, Frederic ; TANG, Tito ; LIENKAMP, Markus: A System Design for Teleoperated Road Vehicles.
- [Han13]: Handelsblatt: *Schrumpfkurs und Stromschlag*. URL <http://www.handelsblatt.com/auto/nachrichten/das-autojahr-2013-im-rueckspiegel-schrumpfkurs-und-stromschlag/9247550.html> – Überprüfungsdatum 2014-01-02
- [Har06]: HART, Sandra G.: *NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later*. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting (2006)*, S. 904–908
- [Har88]: HART, Sandra G. ; STAVELAND, Lowell E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research.
- [Har]: HART, Sandra G. ; STAVELAND, Lowell E.: *NASA TLX: Task Load Index*. URL <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/tlxpublications.html> – Überprüfungsdatum 2014-01-30
- [Hau09]: HAUSER, Bernhard ; HUMPERT, Winfried: *signifikant? : Einführung in statistische Methoden für Lehrkräfte* : Klett, Kallmeyer, 2009
- [Hed13]: HEDDERGOTT, Andreas: *Ferngesteuertes Fahren - Die Technik dahinter*. URL http://www.computer-automation.de/uploads/media_uploads/images/1374742121-139-tu-muenchen-teleoperiertes-fahren-projekt-visiom-fahrsimulator-andreas-heddergott-tum.jpg
- [Hei12]: HEINRICH, Frederik: *Vorhersage der Fahrerbelastung während der Fahrt*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme. Diplomarbeit. 2012
- [Int11]: International Transport Forum: *Transport Outlook 2011 : Meeting the Needs of 9 Billion People*.
- [Kre10]: KREISZ, Lars: *Open Research Data*. Dresden, Technische Universität Dresden, Fakultät Informatik, Lehrstuhl für Rechnernetze. Belegarbeit. 2010
- [Leo04]: LEONHART, Rainer; SCHORNSTEIN, Katrin (Mitarb.); GROß, Jana (Mitarb.) : *Lehrbuch Statistik : Einstieg und Vertiefung* : Verlag Hans Huber, 2004
- [Mar99]: MARTENS, Jul: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows* : Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 1999
- [Mon09]: MONTGOMERY, Douglas C.: *Design and analysis of experiments*. 7. ed., internat. student version. Hoboken, NJ : Wiley, 2009
- [Pra]: PRAJAPATI, Bhavna ; DUNNE, Mark ; ARMSTRONG, Richard: *Sample size estimation and statistical power analyses*.

- [Ran11a]: RANDELHOFF, Martin: *Autopilot gewünscht?* URL <http://static.zukunft-mobilitaet.net/wp-content/uploads/2011/09/autofahrer-autonomes-fahren-ueberzeugung-anwendung-pro-contra.jpg>
- [Ran11b]: RANDELHOFF, Martin: *Zukunft Mobilität : [Fakt der Woche] Deutsche wollen (noch) keine selbstfahrenden Autos.* URL <http://www.zukunft-mobilitaet.net/6577/zukunft/marktanalyse-roboterauto-deutsche-wollen-keine-selbstfahrenden-autos/>. – Aktualisierungsdatum: 2011-09-30 – Überprüfungsdatum 2014-01-12
- [Rau11]: RAUER, Matthias: *Quantitative Usability-Analysen mit der System Usability Scale (SUS).* URL <http://blog.seibert-media.net/wp-content/uploads/2011/03/Likert-Skala.png>. – Aktualisierungsdatum: 2013-04-11 – Überprüfungsdatum 2014-01-30
- [Rei12]: REINPRECHT, Christoph: *Mobilität ist eine kollektive Aufgabe.* In: *Der Standard* (2012), S. 2
- [Sau12]: SAUER, Michael: *Konzeptionierung und Evaluierung eines Predictive Displays bei der Teleoperation von Straßenfahrzeugen.* München, Technische Universität München, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik. Bachelorarbeit. 2012
- [Sch12a]: SCHREIBER, Michael: *Konzeptionierung und Evaluierung eines Ansatzes zu einer manöverbasierten Fahrzeugführung im Nutzungskontext Autobahnfahrten.* Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, . Dissertation. 2012
- [Sch12b]: SCHRÖDER, Caterina: *Nevada erlaubt autonomes Fahren auf öffentlichen Straßen.* URL <http://www.springerprofessional.de/nevada-erlaubt-autonomes-fahren-auf-oeffentlichen-strassen-15677/3952462.html>. – Aktualisierungsdatum: 2012-04-03
- [Sch09]: SCHWARZE, Jochen: *Grundlagen der Statistik : Band 1: Beschreibende Verfahren.* 11. Aufl. Herne, Berlin : Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, 2009 (NWB-Studium Betriebswirtschaft)
- [Sto12]: STORP, Maximilian: *Entwicklung eines Kamerakonzepts für teleoperierte Straßenfahrzeuge.* München, Technische Universität München, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik. Bachelorarbeit. 2012
- [Vie13]: VIEWEG, Christof: *Zurück in die Zukunft: Roboter-Autos sind ein alter Hut.* URL http://www.focus.de/auto/news/gastkolumnen/vieweg/autonomes-fahren-roboter-autos-sind-ein-alter-hut_id_3502096.html. – Aktualisierungsdatum: 2013-12-29

Anhang

Anhang A: System Usability Scale	xi
Anhang B: NASA Task Load Index	xii
Anhang C: Fragebogen vor dem Fahrversuch	xiii
Anhang D: Fragebogen nach dem Fahrversuch.....	xiv

Anhang A: System Usability Scale

© Digital Equipment Corporation, 1986.

	Strongly disagree						Strongly agree
1. I think that I would like to use this system frequently	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
2. I found the system unnecessarily complex	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
3. I thought the system was easy to use	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
5. I found the various functions in this system were well integrated	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
6. I thought there was too much inconsistency in this system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
7. I would imagine that most people would learn to use this system very quickly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
8. I found the system very cumbersome to use	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
9. I felt very confident using the system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		

Anhang C: Fragebogen vor dem Fahrversuch

Fragebogen vor dem Fahrversuch zur Untersuchung des Predictive Displays beim teleoperierten Fahren

Proband Nummer:

Alter	Jahre
Geschlecht	<input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> w
Fahrleistung pro Jahr	<input type="checkbox"/> bis 5.000 km <input type="checkbox"/> 5.000 km bis 10.000 km <input type="checkbox"/> 10.000 km bis 20.000 km <input type="checkbox"/> über 20.000 km
Bisherige Fahrleistung	<input type="checkbox"/> bis 20.000 km <input type="checkbox"/> 20.000 km bis 50.000 km <input type="checkbox"/> 50.000 km bis 100.000 km <input type="checkbox"/> über 100.000 km
Wie beurteilen Sie Ihren Fahrstil?	gemäßigt <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> sportlich
Haben Sie Erfahrung mit Fahr- simulatoren	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Wie schätzen Sie Ihre Computer- spielerfahrung ein?	erfahren <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> unerfahren

Anmerkungen vor dem Fahrversuch

Anhang D: Fragebogen nach dem Fahrversuch

Fragebogen nach dem Fahrversuch zur Untersuchung des Predictive Displays beim teleoperierten Fahren

Proband Nummer:

Ich konnte die eigene Geschwindigkeit gut einschätzen.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Ich konnte die Geschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmer gut einschätzen.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu

Ich konnte auf den aktuellen Zustand des Fahrzeugs schließen.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Ich konnte auf die aktuelle Position des Fahrzeugs schließen.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Ich konnte auf die Position der anderen Verkehrsteilnehmer schließen.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu

Ich hatte das Gefühl, mich in einer realen Verkehrssituation zu befinden.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Während des Fahrversuchs bin ich ein hohes Risiko eingegangen.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu

Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
----------------	--

Ich habe das Gefühl, mich im zweiten Durchgang verbessert zu haben.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Ich traue mir zu, mit mehr Übung komplexe und unbekannte Szenarien fehlerfrei bewältigen zu können.	
Ohne Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu
Mit Prädiktion	Trifft zu <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Trifft nicht zu

Haben sie Änderungsvorschläge für das Predictive Display?

Welche Art der Darstellung bevorzugen sie?	
<input type="checkbox"/> Normale Anzeige	<input type="checkbox"/> Predictive Display
Warum?	

Sonstige Anmerkungen

