



Hochschule
Kaiserslautern
University of
Applied Sciences

Studiengang
DMM

Studienprojekt

Vergleich zweier Signalformen
bei einem take-over request
(TOR) im Kontext autonomen
Fahrens

SS 2019

vorgelegt von

Christoph Hein, 874286

26. Juli 2019

Betreuung

Prof. Dr. Dieter Wallach

Inhaltsverzeichnis

1	Studienprojekt – Vergleich zweier Signalformen bei einem take-over request im Kontext autonomen Fahrens	3
1.1	Die 5 Stufen des Autonomen Fahrens	5
1.2	Sensoren & Kameras	6
1.3	Signalauswahl	6
1.4	TOR (take-over request)	9
1.5	Methode	11
1.6	Probanden und Setup	11
1.7	Durchführung	13
1.8	Datenerfassung	15
1.9	Lane Deviation	16
1.10	Reaktionszeit in einem Liniendiagramm	17
1.11	Technische Schwierigkeiten	18
2	Auswertung	18
2.1	Akustik im Vergleich zu Haptik	18
2.2	Gruppe Mittelwerte aller Messgrößen	19
2.3	Gruppe: Vgl. Der Signale bei Fahrt AB und BA	20
2.4	Gruppe: Vergleich Signale mit Berücksichtigung der Nummer der Übergabe	22
2.5	Gruppe: Elite Reaktionszeiten mit einer LD von weniger als 200 cm	23
3	Auswertung Fragebogen	25
4	Fazit und Ausblick	26
5	Anhang A:	27
5.1	Ehrenwörtliche Erklärung	27
6	Literaturverzeichnis	28

Danksagung

Vielen lieben Dank an Daniel Kerpen und Arthur Barz für die starke Unterstützung bei der Erarbeitung und Umsetzung dieses Projektes. Arthur musste stets für Fragen herhalten und hat sich mehr Zeit für mich genommen als es selbstverständlich ist. Für die Unterstützung, sei es bei der Ausarbeitung der Studie, Erklärung und Hilfe bei der Umsetzung, als auch bei Workflows, wie zum Beispiel mit Excel möchte ich mich herzlichst bedanken. Danke auch an Daniel, der sich immer die Zeit genommen hat diese Arbeit in ihren unterschiedlichen Stadien zu besprechen und mir viele Tipps und Anregungen zur Verbesserung geben konnte. Danke auch an Aylin Cin, die mit ihrer Versuchsleitung bei der Durchführung des Experiments genauso dazu beigetragen hat, eine erfolgreiche Versuchsreihe umzusetzen wie der Rest des Teams der HCI2B Group.

Christoph Hein

1 Studienprojekt – Vergleich zweier Signalformen bei einem take-over request im Kontext autonomen Fahrens

Einführung in das Thema

Autonomes Fahren und die Vision von einem sicheren, effizienten sowie komfortablen Mobilitätskonzept hat noch einige Hürden zu nehmen, bahnt sich jedoch kontinuierlich einen Weg in unseren Alltag (Sokolov, 2015). Wie der Spiegel berichtet wird in Hamburg auf einer Teststrecke bereits das Verhalten und die Funktionalität autonomer Fahrzeuge im Stadtverkehr getestet (cfr, 2019).

Teil-autonome Systeme auf Englisch “Advanced Driver Assistance Systems” wie zum Beispiel Spurhalteassistenten in Pkw und Lkw sind nur ein Beweis für die fortgeschrittene Technik im Mobilitätssektor. Über die letzten 40 Jahre haben sich derartige Systeme wie Anti-Blockier System (ABS), Electronic Stability Program (ESP), Adaptive Cruise Control (ACC) etabliert, die den Fahrer zunächst bei der Längs- und zunehmend auch bei der Querführung des Fahrzeugs unterstützen (Beiker, 2015, S. 200; Johanning, Mildner, 2015, S. 61). Sie besitzen das Potential, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, was sich auch aus Statistiken zu menschlich verschuldeten Unfällen herauslesen lässt. Der größte Anteil an Unfällen mit Personenschaden im Jahr 2018 lässt sich auf menschliches Versagen zurückführen. Laut dem statistischen Bundesamt (Destatis) waren allein 25,3% davon ungenügender Abstand und zu hohe Geschwindigkeit (Destatis, 2019). Ein autonomes System oder die bereits existierenden teil-autonomen Systeme können eine Vielzahl dieser Unfälle verhindern. Deswegen hat sich in den vergangenen Jahren die Rolle des Fahrers gewandelt, der mit der fortschreitenden Automatisierung des Fahrprozesses immer mehr Aufgaben an diese Systeme delegiert. Zukünftig wird der Fahrer zum Passagier und immer weniger mit dem aktiven Fahren zu tun haben. Stattdessen widmet er sich anderen Aufgaben. Weitere Gründe für die technische Entwicklung hin zum autonomen Auto ist der demografische Wandel, der sich in dem prozentual steigenden Anteil an Verkehrsteilnehmern über 75 Jahre zeigt. Damit wächst zunehmend die Zahl der fahruntüchtigen Menschen, für die autonomes Fahren zur echten Alternative wird (Johanning, Mildner, 2015, S. 68). Zusätzlich fördert autonomes Fahren durch das vorausschauende Verhalten des Computers im Straßenverkehr das Einsparen von Emissionen und dient so dem Umweltschutz (Johanning, Mildner, 2015, S. 68).

Diese Entwicklung hält einige Herausforderungen bereit, solange das autonome System noch Einschränkungen (sogenannte System Boundaries) enthält und somit eine Verfügbarkeit des menschlichen Fahrers unabdingbar ist. Er dient als Backup, wenn die Einschränkungen greifen und muss die Möglichkeit besitzen, das Fahrzeug zu kontrollieren, die Kontrolle zu übernehmen oder abzugeben (Gold, Damböck, Lorenz, Bengler, 2013; Walch, Lange, Baumann, Weber, 2015). Die "System Boundaries" (dt. System Einschränkungen) gelten auch für die ethischen Fragen. Es ist fraglich, inwieweit das System fähig ist, in einer Gefahrensituation Entscheidungen zu treffen und wer die Konsequenzen tragen muss. Letztendlich könnte eine digitale Ethik eine Lösung sein. Hier müssten dann auch die gesetzlichen Grundlagen und vieles mehr geschaffen werden, um einen Einsatz von autonomen Fahrzeugen langfristig und für jeden möglich zu machen (Maurer, Gerdes, Lenz, Winner, 2015). Zudem beziehen sich die Einschränkungen auf die technische Ebene (siehe Sensoren und Kameras). Um einen reibungslosen Ablauf der Kontrollübernahme zu gewährleisten, sind folgende Fragen zu klären:

- Wie lange braucht der Fahrer für eine verkehrssichere Übernahme?
- Zu welchem Zeitpunkt muss die Anfrage der Kontrollübernahme erfolgen?
- Was ist ein effektives Signal, um den Fahrer aus seiner derzeitigen Beschäftigung herauszureißen und die Führung des Fahrzeuges zu übernehmen?
- Eignet sich dafür haptisches, visuelles, akustisches Feedback oder eine Kombination um den Menschen zu erreichen?

Mit einem Teil dieser Fragestellungen beschäftigt sich das Experiment und will anhand eines Versuches an einem Fahr Simulator Antworten liefern. Außerdem muss die Usability und Akzeptanz gegenüber automatischen Systemen durch das Sicherstellen einer sicheren und erfolgreichen Transaktion des Fahrzeuges von hoch automatisiert zu manuellen Fahren gesteigert werden (Gold, u.a., 2013). Jedoch wird die Zeitspanne für ein Signal und die Übernahme durch die technischen Möglichkeiten eingeschränkt. Daraus ergibt sich folgende Fragestellung für die Studie: Welches Signal ermöglicht eine sichere und zuverlässige Überführung der Kontrolle des Fahrzeuges, auch wenn der Fahrer durch eine andere Aktivität nicht mehr im "Loop" ist? Das bedeutet: Er nimmt nicht mehr aktiv am Fahrgeschehen teil.

Um den Versuchsaufbau nachvollziehen zu können, gehe ich in den folgenden Abschnitten auf die fünf Stufen des autonomen Fahrens, die Sensortechnik, die Signalauswahl, TOR (take-over request) und die Datenerfassung ein. Danach wird der Versuchsaufbau und der Handover Assistent betrachtet. Anschließend folgen die Ergebnisse der Studie, die sich mit der oben genannten Fragestellung befasst.

Zum Abschluss gebe ich eine umfassende Zusammenfassung der Ergebnisse und eine Empfehlung ab für die zukünftigen autonomen Fahrassistenten.

1.1 Die 5 Stufen des Autonomen Fahrens



Abbildung 1: Die fünf Stufen des Autonomen Fahrens (Eigene Erstellung nach BMW 2019)

Die Einteilung beginnt bei Stufe null "Driver Only". Der Fahrer lenkt und fährt ohne Unterstützung. Sie endet mit der fünften Stufe: Fahrerloses autonomes Fahren. Während die letzten drei Stufen (Level 3 „Hochautomatisiertes Fahren“, Level 4 „Vollautomatisiertes Fahren“ und Level 5 „Autonomes Fahren“ noch nicht im alltäglichen Straßenverkehr Gebrauch finden, sind Ihre Vorstufen längst im Einsatz (BMW, 2019).

In unserem Versuch wird von der vierten Stufe ausgegangen. Das heißt der Proband wird mit einer vom Fahrzeugfahren unabhängigen Aufgabe beschäftigt sein während das Fahrzeug sich autonom über die Teststrecke bewegt. Dann soll unmittelbar nach einem Signal (siehe Signalauswahl) die Kontrolle über das Fahrzeug zurückerlangt und eine verkehrssichere Übergabe der Kontrolle von dem Fahrsystem zum menschlichen Fahrer erfolgen.

1.2 Sensoren & Kameras

Die funktionale Ebene des autonomen Fahrens ist die sogenannte maschinelle Wahrnehmung, die Gefahrensituationen beurteilt und dabei zwischen unterschiedlichen Gefährdungspotentialen wie beispielsweise Fußgängern unterteilt. Der maschinellen Wahrnehmung liegen im Fahrzeugumfeld Sensoren zugrunde, die auf Kamera- sowie Radar- und Lidartechnik basieren. Man unterteilt in Mono-Kameras, die anfällig sind für Fehler bei Objektentfernungen und Stereo-Kamera, die mit Hilfe des Disparitätsbildes Entfernungen bestimmen können, jedoch exponentiell bei zunehmender Entfernung ungenauer (Dietmayer, 2015, S. 420).

Die Radar und Lidarsensoren haben auf diesem Gebiet ihre Stärken und sind unabhängig von der Distanz größtenteils korrekt in der Angabe.

Ihr Schwachpunkt liegt jedoch in der Außenabmessung von Objekten und der Bestimmung ihrer Texturen. Deswegen kommt in der Regel ein Verbund aus beiden Systemen zum Einsatz, das nennt man Sensordatenfusion (Dietmayer, 2015, S. 422).

Bei bestimmten Wetterlagen ist die Technik nicht mehr zuverlässig, weshalb ein Backup in Form des menschlichen Fahrers gebraucht wird.

1.3 Signalauswahl

Im Rahmen des Versuches werden drei relevante Signaltypen betrachtet:

Die visuelle Warnung ist vorteilhaft wegen ihrer Form, Beschriftung und Farbe. Sie vermittelt somit mehr Informationen als eine akustische oder haptische Warnung es könnte. Allerdings hat sie den Nachteil, im Blickfeld des Fahrers liegen zu müssen. Akustische Warnungen sind gut im Erregen der Aufmerksamkeit, müssen jedoch in einer Frequenz zwischen 500 und 2000 Hz verwendet werden und der Signalpegel sollte zwischen 10-15 dB über dem Hintergrundgeräusch liegen (Ovcharova, 2013). Somit kann es bei einem hohen Geräuschpegel, beispielsweise lautes Radio, auch zu einer Missachtung des Signals kommen. Die haptische Warnung ist durch ihre omnidirektionale Eigenschaft (Abstrahlung in jede Richtung) besonders effektiv bei der Übermittlung zeitkritischer Informationen. Sie erreicht den Fahrer auch bei Unachtsamkeit oder wenn das akustische Signal nicht wahrgenommen werden kann (Ovcharova, 2013).

Bei der Signalauswahl wurden haptische und akustische Signale berücksichtigt. Ein visuelles Feedback verspricht in diesem Fall wenig Erfolg, kann jedoch als unterstützende Maßnahme eingesetzt werden, um dem Fahrer Aufschluss zu geben warum das Fahrzeug in den manuellen Modus überführt werden muss. Da der Proband in dem Versuch mit einer ablenkenden Aktivität beschäftigt ist, in Form

eines Spiels auf einem Tablet, ist das Erreichen und Übermitteln des Signals eine Herausforderung. Genau hier hat das visuelle Feedback seinen Schwachpunkt. Durch die Ablenkung in Form des Tablets kann nicht garantiert werden, dass der Fahrer eine visuelle Benachrichtigung der Kontrollübernahme überhaupt wahrnimmt. Bei einer Studie in Ulm am Fahrsimulator wurde ein Verbund aus akustischem Signal und Visualisierung benutzt, um eine Übernahme zu initialisieren. Der Unterschied ist hier, dass keine reflexartige Übernahme stattgefunden hat, sondern die TOR Zeiten und das Time Budget zwischen vier und sechs Sekunden variiert wurden. Deswegen wurde mittels visuellen Mitteln eine Nachricht dargestellt, die den Grund als Warnung nennt und dann den Fahrer auffordert die Steuer zu übernehmen (Walch, u.a., 2015). Im Gegensatz dazu steht bei diesem Versuch die Übermittlung der Warnung und Kontrollaufforderung im Mittelpunkt und ist unabdingbar für eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr in einem autonomen Fahrzeug der Stufe vier. Deshalb werden im Versuch ein akustisches Signal als auch ein haptisches Signal getestet, um die Reaktion und die kürzeste Reaktionszeit der Versuchspersonen zu ermitteln. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden und zuverlässig ein Signal an den Fahrer zu übermitteln wird eine untypische Mensch-Maschine-Schnittstelle genutzt. Der Fahrersitz, noch spezifischer die Sitzfläche, soll durch Vibration den Fahrer erreichen und erfolgreich die Übernahme des Fahrzeuges initialisieren.

Vibrationsalarne und akustische Signale kommen bereits in Fahrassistenzsysteme zum Einsatz. Der "Spurverlassungswarner" im Mitsubishi Proudia, der 1999 auf dem japanischen Markt erschien, verwendet eine Kombination aus akustischer Warnung einer Lenkradvibration und einem Zusatzlenkmoment zur Fahrbahnmitte von maximalen 1,2 Nm (Mann, 2008, S. 47).

Diese Kombination von Feedback beruht auf einer Studie von (Motyama, 1999). In einem Fahrsimulator bei einer Geschwindigkeit von 70km/h wurde eine Kombination von akustischer Warnung, Lenkradvibration und Lenkmoment mit einer Kombination aus akustischer Warnung und Lenkradvibration sowie der alleinigen akustischen Warnung verglichen. Die Reaktionszeiten bei der dreifachen Kombination fielen mit 0,4 Sekunden am kürzesten aus. Die Kombination aus akustischen und haptischen Feedback war mit 0,5 Sekunden schneller als die rein akustische Warnung mit 0,6 Sekunden (Mann, 2008, S. 48).

Die oben angesprochene Benutzerschnittstelle des Fahrersitzes wird von Citroen bereits für einen "Spurverlassungswarner" genutzt. Das Unternehmen begründet diese Entscheidung mit der Tatsache, dass der Mensch an dieser Stelle noch empfänglich sei wenn Augen und Ohren bereits verschlossen sind (Mann, 2008). Aus den oben genannten Reaktionszeiten lässt sich schließen, dass für die Kontrollübernahme ein akustisches oder haptisches Signal durchaus geeignet ist.

In einem wissenschaftlichen Bericht HF Guidelines for CWS Interfaces werden Gestaltungsrichtlinien für Warnsysteme im Auto diskutiert. In dem Bericht werden haptische Signale als besonders effektiv beschrieben, wenn die anderen Sinneskanäle durch Umgebungsgeräusche und andere Ablenkungen überlastet sind. Jedoch muss immer sichergestellt sein, dass der Fahrer in Kontakt mit dem haptischen Feedback bleibt. Zudem können über die haptische Warnung keine komplexen Warnungen übermittelt werden. Darüber hinaus muss es sich klar von den üblichen und natürlichen Fahrgefühlen, wie zum Beispiel das Überfahren von Rüttelstreifen unterscheiden lassen (Campbell, Richard, Brown, McCallum, 2007). Im Vergleich mit anderen Signaltypen wurden haptische Signale als weniger effektiv eingestuft. Jedoch ist der Vorteil, dass abgelenkte Fahrer eher reagieren. In verschiedenen Studien hat sich auch ergeben, dass ein haptisches Signal unterstützt durch ein weiteres Signal einen positiven Effekt auf die Reaktionszeiten haben kann. Diese Annahme wird gewissermaßen durch die Aussage eingeschränkt, dass diese Strategie in bestimmten Situationen auch zu einer Überladung an Informationen führen kann (Campbell, u.a., 2007).

Haptisches Feedback ist für die User Experience (UX) ein wichtiges Instrument geworden und ist eine taktile Rückmeldungstechnologie, bei der der Tastsinn des Menschen verwendet wird. Die Rückmeldung basiert auf Kräften, Vibrationen oder Bewegungen, die auf den Benutzer ausgeübt werden. Ein einfaches Beispiel ist der Vibrationsalarm eines Smartphones, der dem Nutzer so eine Benachrichtigung signalisiert (Kampara, Purwar 2019). Jedoch wird in der UX zwischen Haptik und Vibrationsalarm unterschieden. Die Differenzierung geschieht anhand der Vibrationsmuster. Während bei haptischen Signalen Informationen über Vibrationsstärke und Frequenz übermittelt werden können, wird bei einem Vibrationsalarm nur eine ausreichende Vibration benötigt, um den Nutzer auf ein Ereignis aufmerksam zu machen (Kampara, Purwar, 2019).

In dem Versuchsmodell wird nur ein Vibrationsalarm verwendet, da ein Vibrationsmuster keinen zusätzlichen Nutzen für die Übernahme bringt und die technischen Voraussetzungen, um ein Signal basierend auf Haptik zu übermitteln, nicht gegeben sind. Auch wenn Kombinationen möglicherweise ein besseres Gesamtergebnis liefern würden, setzt diese Studie erstmal nur auf den Vergleich zwischen akustischer und haptischer Warnung. Damit verbunden gehe ich offen an die Studie ran und treffe vorab keine Einschätzung welches Signal besser abschneiden könnte. Das etwas künstlich erzeugte Szenario hat den Vorteil, dass sich die Gruppen der Signale ordentlich trennen lassen und durch das Wegfallen von vielen natürlichen Umständen und Einflüssen gelingt es uns in einem gleichbleibenden und einfachen Umfeld die Daten akkurat zu erfassen.

1.4 TOR (take-over request)

Der Begriff take-over request bezeichnet die Anfrage des Systems (Alert) an den Fahrer, dass das Fahrzeug in den manuellen Steuerungsmodus überführt werden muss. Nach einer Definition von (Walch zit. Gold, Bengler, 2015) stellt das autonome System eine Einschränkung fest, gibt es eine TOR an den Fahrer. Sobald sich der Fahrer dem Verkehrsgeschehen zuwendet und anfängt zu lenken, wechselt der Fahrmodus über eine Zeitspanne (transition area) zu manuell. Die Zeitperiode zwischen TOR und dem Moment der Einschränkung (system boundaries) wird als time budget bezeichnet.

Für eine erfolgreiche Übernahme des Fahrzeugs von autonom zu manuell gesteuert ist ein rechtzeitiges Signal, um die Transaktion der Kontrolle zu initialisieren notwendig. Es gibt jedoch unterschiedliche Szenarien und Abläufe wie die Kontrolle übergeben werden kann.

- Die direkte Übergabe: Von einem Moment auf den anderen wird die Kontrolle an den Fahrer gegeben, wenn er zum Beispiel das Lenkrad greift.
- Schrittweise Übergabe: Die Kontrolle wird Schritt für Schritt an den Fahrer weitergegeben, zum Beispiel erst die Lenkfunktion danach das Gas und so weiter.
- Fahrer gesteuerte Übernahme: Der Fahrer bestimmt den Zeitpunkt für die Übernahme, indem er das Lenkrad greift und dann nach einem Countdown die komplette Kontrolle über das Auto erhält.
- System gesteuerte Übergabe: Das System überprüft die Eingaben des Fahrers an die Steuerung und kann notfalls bei zu starkem Bremsen oder ähnlichem die Eingabe korrigieren (Walch, u.a., 2015).

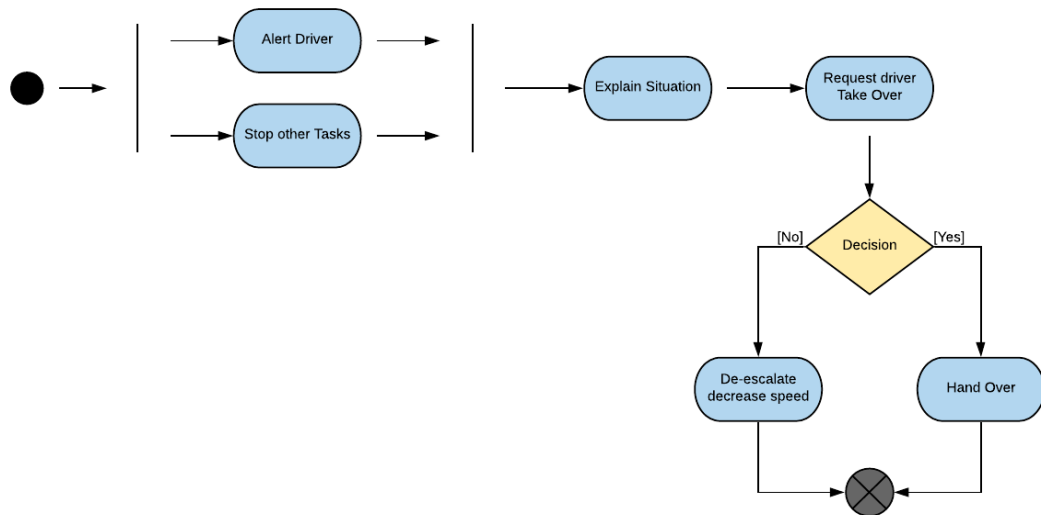


Abbildung 2: Handover Prozess (Erstellung basierend auf Walch u.a., 2015 S. 12)

Der im Versuch eingesetzte TOR entspricht einem künstlichen Szenario. Die Studie ist auf die Reaktionszeiten der Probanden zu den unterschiedlichen Signalen ausgerichtet und bietet ein Time Budget von weniger als eine Sekunde zwischen Anfrage und Kontrollübernahme. Somit muss der Proband reaktionsschnell das Tablet weglegen und das Fahrzeug auf der Strecke halten. Da hier mit unrealistischen Zeitspannen gearbeitet wird, ist diese Studie als Orientierung für zukünftige Versuche einzuordnen. Einer schreckhaften Reaktion des Probanden wird durch die Einführung der Signale in der Eingewöhnungsphase vorgebeugt, kann jedoch nicht komplett ausgeschlossen werden.

Um bei den unterschiedlichen Signalen vergleichbare Größen zu erzeugen, werden die Fahrten in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe erhält Signal A (Akustik) bei der ersten Fahrt und Signal B (Vibration) bei der zweiten Fahrt. Die Gruppe BA wird gegenteilig ausgeführt. Somit erhalten wir jeweils zwei Übernahmewerte für die erste Fahrt und können die Reaktionszeiten bei unterschiedlichen Signalen vergleichen.

Infolgedessen wird die Reaktionszeit nicht abhängig von der Reihenfolge der Fahrten, sondern kann an dem Signal festgemacht werden. Dadurch wird gewährleistet, dass in der Auswertung ein Signal nicht durch einen möglichen Lerneffekt bei den Probanden besser abschneidet. Dieser mögliche Lerneffekt, der an den verkürzten Reaktionszeiten bei den zweiten Fahrten zu erwarten ist, wird in der Auswertung nochmal im Detail aufgegriffen.

1.5 Methode

In einem Fahrsimulator der Hochschule Kaiserslautern wurden 31 Probanden durch ein autonomes Fahrscenario geführt, um die Signalwirkung eines TOR (take-over request) zu testen. Die Zeitabstände zwischen Signal und Kontrollübernahme spiegeln dabei kein reales Szenario wider, sondern dienen zur Ermittlung von Reaktionszeiten auf die unterschiedlichen Signale.

1.6 Probanden und Setup

Es nahmen 31 Probanden, darunter neun Frauen an der Studie teil. Das Alter rangierte zwischen 20 und 31 Jahren ($M = 23.5$, $SD = 2.58$). Alle Partizipierenden besitzen mindestens eine Fahrerlaubnis B/BE seit ein bis 13 Jahren ($M = 5.6$, $SD = 2.78$) und fuhren in den letzten zwölf Monaten zwischen 1000 und 40.000 km ($M = 11.432$, $SD = 9421$). Alle Teilnehmer sind Angehörige der Hochschule Kaiserslautern entweder als Studierende (30) oder Beschäftigte (1) der Hochschule. Insgesamt 13 dieser Probanden haben bereits schon einmal in einem Fahrsimulator gesessen, teils für eine vorangegangene wissenschaftliche Studie.

Der K3F Fahrsimulator von der HCI2B Group Zweibrücken bedient sich bei seinem Aufbau dem Baukastenprinzip und ist somit flexibel einsetzbar. Um eine realitätsnahe Umgebung für die Probanden abzubilden, werden autotypische Sitze und ein Lenkrad verwendet. Das Simulationsszenario wird auf einem 55-Zoll curved LCD Bildschirm wiedergegeben. Als sekundäre Ausgabegeräte wird ein zwölf-Zoll Display für die digitale Instrumentenanzeige und ein 15-Zoll berührungssensitives Display als Mittelkonsole verwendet. Zusätzlich bietet der Fahrsimulator im Bereich der Biosensorik ein Pulssensor-Brustgurt zur Erfassung der Herzrate des Probanden und eine Tiefenkamera, mit deren Hilfe die Müdigkeits- und Stresslevel überwacht werden können (HCI2B Group).

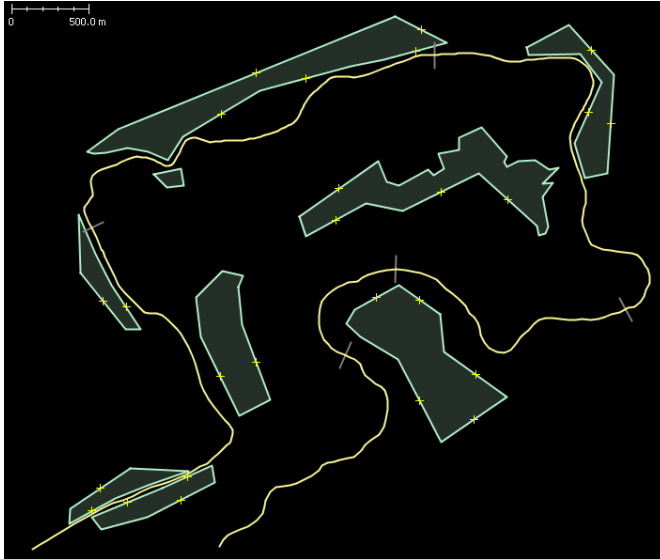


Abbildung 3: Die Strecke mit Übergabe und Übernahme Toren (HCI2B Group, 2019)

Die befahrene Strecke ist acht km lang und hat als erhöhte Schwierigkeit einige Kurven. Die Probanden haben während der Fahrtests durchgehend eine eingeschränkte Sicht. Das Tempolimit liegt bei 75 km/h und die Minimalgeschwindigkeit bei 60km/h. Insgesamt fährt der Proband in zwei Durchgängen zwölf Minuten manuell und acht Minuten autonom.

Um ein Vibrationssignal zu erzeugen wurde anfänglich ein Bluetooth Vibrationskissen eingeplant. Dieses hat sich jedoch durch eine ausschließliche Ansteuerung per App und der Platzierung eines Alarms nur im Minutentakt selbst disqualifiziert. Stattdessen wurde der Vibrationsmotor zweier Controller mit einem separaten Programm zu dem gewünschten Zeitpunkt angesteuert. Dies ermöglichte eine genaue Erfassung des Zeitpunktes der Übermittlung des Signals. Die Controller befanden sich hierbei zwischen Sitz und Rückenlehne.



Abbildung 4: Darstellung des haptischen Signals (HCI2B Group, 2019, Danke für die Bilder an A. Cin)

Das Spiel DOTS zählt zur Kategorie der Knobelspiele und soll den Probanden während der autonomen Fahrt beschäftigen. Das Ziel ist es den Fahrer und dessen Aufmerksamkeit von der Verkehrssituation und dem Fahren auf das Lösen des Spiels zu fokussieren. In dem Spiel muss man Reihen mit den gleichen Farben bilden. Wenn man erfolgreich ein Viereck schließt, werden alle Punkte der gleichen Farbe gewertet. Die Konzentration, die man auf das Spiel anwenden muss, steigt mit der Anzahl an vorausgeplanten Zügen.

1.7 Durchführung

Die Durchführung geschieht in Zusammenarbeit mit einer Bachelorarbeit zum Thema Motion Sickness von A. Cin. Die Daten werden für eine Performance Modellierung für die HCI2B Group erhoben.

Der Proband erhält eine drei minütige Eingewöhnungszeit, um die Steuerung und die Handhabung des Fahrsimulators zu üben und die Signalformen kennenzulernen. Anschließend beginnt das Testszenario bestehend aus zwei Fahrten auf der Teststrecke. Der Proband beginnt die Fahrt im manuellem Modus und gibt nach drei Minuten die Kontrolle ab, so dass das Fahrzeug autonom über die Landstraße geführt wird. Während der Fahrt ist der Proband mit dem Lösen von dem Spiel "DOTS" beschäftigt. Nun soll der Proband auf akustische oder haptische Signale speziell im Sitzbereich reagieren, die Kontrolle vom Fahrzeug übernehmen und dabei auf die Verkehrssicherheit achten. Dieser Prozess erfolgt viermal innerhalb der Studie. Ziel des Experiments ist es Aufschluss über die TOR Zeiten bei unterschiedlichen Signalen zu erhalten und das wirksamste Signal zu bestimmen.

In der Studie wollen wir haptisches Feedback und dessen Wirkung auf Probanden im Fahrsimulator testen. Dabei erwarten wir ähnliche Erfolge wie beim Spurhalteassistenten, die bereits mit Vibrationen im Lenkrad gearbeitet haben (siehe Signalauswahl). Gleichzeitig vergleichen wir die ermittelten Werte mit Reaktionszeiten, die auf einem akustischen Signal beruhen. Akustische Signale sind in Warnsystemen der Automobile bereits weit verbreitet und sollen nun auf ihre Kompatibilität bei einer "TOR" getestet werden.

Um eine ausreichende Variation in dem Versuch zu haben, werden die Signalgruppen A (akustischer Ton) und B (Vibrationsalarm) bei der Hälfte der Probanden vertauscht. Dies soll verhindern, dass sich Probanden auf ein Signal einstellen können und der Versuchsaufbau sich im Detail unter den Versuchspersonen herumspricht. Zusätzlich wird im Anschluss an die Fahrsimulation mit Hilfe eines Fragebogens die subjektive Meinung und die Präferenz zu den unterschiedlichen Signalen ermittelt. Außerdem sollen die Probanden bewerten inwiefern die Signale sie bei der Aufgabenbewältigung unterstützt haben. Das Ziel

ist eine konkrete Aussage treffen zu können welches Signal im Gesamttest besser abgeschnitten hat.



Abbildung 5: Proband bei der Fahrtenbewältigung (HCI2B Group, 2019)

Daraus ergibt sich im Detail folgender Ablauf:

Der Proband startet nach der Einführung in den Simulator und das Spiel mit der Fahrt AB. Nach einer drei minütigen Fahrt erfolgt die erste Übergabe und der Proband erhält die Aufgabe innerhalb von zweieinhalb Minuten seine 30 Züge im Spiel DOTS auf dem Tablet zu verbrauchen und eine möglichst hohe Punktzahl zu erreichen. Nach dieser Zeitperiode gibt es die erste Übernahme der Kontrolle. Diese erfolgt auf einem geraden Streckenabschnitt nach dem akustischen Signalton. Nun ist der Proband weitere zweieinhalb Minuten manuell auf der Strecke unterwegs bevor eine weitere Übergabe geschieht. Nach dieser beschäftigt sich die Versuchsperson ein weiteres Mal mit dem Spiel, diesmal für anderthalb Minuten. Nach dieser Zeitspanne gibt es eine erneute Kontrollübernahme mit akustischem Signal und zu einem erhöhten Schwierigkeitsgrad in einer leichten Kurve (siehe Abb. 3).

Anschließend wird ein Fragebogen zum Thema Motion Sickness und Wahrnehmung der Signalformen ausgefüllt. Dann erfolgt das gleiche Prozedere erneut mit der Abweichung, dass das haptische Signal genutzt wird, um eine Kontrollübernahme zu signalisieren. Nach dem erfolgreichen Abschließen der Fahrt B wird erneut ein Fragebogen ausgehändigt mit der Frage: "Welche Signalform haben Sie schneller wahrgenommen?". Zudem werden mit einer Bewertungsskala von eins bis neun die

Aspekte der Unterstützung bei der Kontrollübernahme und die Präferenz bestimmt.

Um möglichst gute Ergebnisse zu erzielen, werden die Probanden mit einem zehn Euro Gutschein vergütet. Zusätzlich werden die Highscores aus dem Spiel DOTS erfasst und zur Schau gestellt, um ein kompetitives Umfeld zu erzeugen.

1.8 Datenerfassung

Die Datenerfassung fand in zwei separaten Aufzeichnungen der Fahrt statt. Es wurde jeweils eine CSV- Datei für die komplette Fahrt mit ausgegeben (Time in Seconds, AbsSpeedKmh, LaneDeviation, Takeover, ToAuto, ToManual). Diese Aufzeichnung wurde per Timer gesteuert und liefert zehn Werte pro Sekunde. Wenn man diese Werte nach den Übernahme-Flags sortiert, ergibt sich folgendes Bild. Die Übernahme Flags sind jeweils von Auto zu Manuell und haben in der Tabelle eine 1 in der Spalte Takeover.

Tabelle 1: Zeitpunkt in Sekunden für die Übernahme

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6
TimeSeconds	AbsSpeedKmh	LaneDeviation	Takeover	ToAuto	ToManual
416.342133	75.050483703613	10.386644363403	1	1	0
563.632690	70.420829772949	-12.366195678711	1	0	1
707.788208	74.490798950195	45.37621307373	1	1	0
800.256042	72.09342956543	47.455703735352	1	0	1

Die Time in Seconds markieren hier jeweils die TOR's. "AbsSpeedKmh" zeigt die Geschwindigkeit zum besagten Zeitpunkt und "LaneDeviation" gibt die Abweichung in Zentimetern zu der Ideallinie auf der simulierten Straße zurück. Die letzten drei Spalten sind die gesetzten Flags einer Übergabe oder Übernahme.

Für die Auswertung der Reaktionszeiten wurde noch eine Zweite CSV-Datei mit folgenden Werten angelegt (Time in Seconds, AbsSpeedKmh, LaneDeviation, Steer, Engine, Brakes)

Diese wurden Frame für Frame aufgezeichnet, also 60 Werte pro Sekunde. Ein Vorteil bei dieser Vorgehensweise ist, dass durch die diskreten Zustände pro Frame eine physikalische Grundlage geschaffen wird. Diese Werte wurden jeweils bei und kurz vor der Übernahme des Fahrzeugs für ca. 10 Sekunden erfasst.

Hier ein Ausschnitt als Beispiel:

Tabelle 2: 60 Werte pro Sekunde werden aufgezeichnet

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6
TimeSeconds	AbsSpeedKmh	LaneDeviation	Steer	Engine	Brakes
800.205017	72.160919189453	48.236400604248	-0.11624145507813	0.70562297105789	1.5259021893144e-05
800.21344	72.157646179199	48.031280517578	-0.1102294921875	1.5259021893144e-05	1.5259021893144e-05
800.221985	72.154670715332	47.810470581055	-0.11062622070313	1.5259021893144e-05	1.5259021893144e-05
800.230408	72.146102905273	47.975379943848	-0.11062622070313	1.5259021893144e-05	1.5259021893144e-05
800.239014	72.132637023926	47.581829071045	-0.10848999023438	1.5259021893144e-05	1.5259021893144e-05

Die Messungen von Steer, Engine und Brakes ermöglichen es, die Reaktion des Probanden zu bestimmen. Mit der ersten Eingabe an einer von diesen Messpunkten wird die Reaktion in Sekunden gemessen. Gleichzeitig kann anhand der Lane-Deviation gegengeprüft werden, ob ein aktives Einlenken des Probanden passiert ist und ein Ausschlusskriterium festlegen.

1.9 Lane Deviation

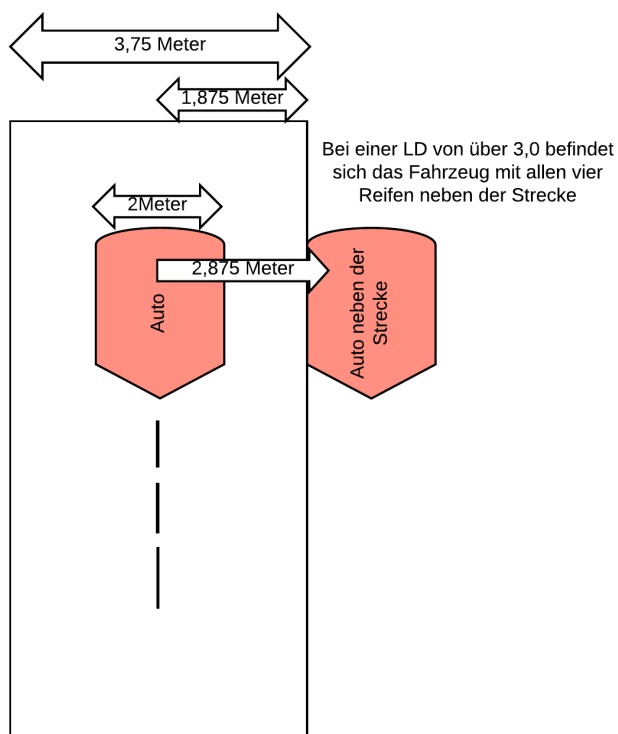


Abbildung 6: Lane Deviation als zusätzliches Kriterium für die Auswertung erklärt an einer Skizze

Diese Abbildung verdeutlicht bei welcher Abweichung vom Wert LD das Fahrzeug komplett von der Strecke abgekommen ist. Das ist relevant für eine mögliche Auswertung einer Gruppe, die es jeweils geschafft hat, das Fahrzeug nicht vollständig von der Strecke abkommen zu lassen (siehe Auswertung). Die LD wird dabei immer von der Ideallinie in der Mitte der Straße zum Mittelpunkt des Fahrzeuges gemessen und in Zentimeter angegeben.

1.10 Reaktionszeit in einem Liniendiagramm

Um erstmal einen Überblick über die Reaktionszeiten zu bekommen, wurden Graphen, wie folgendes Beispiel, mit den oben genannten Werten erstellt.

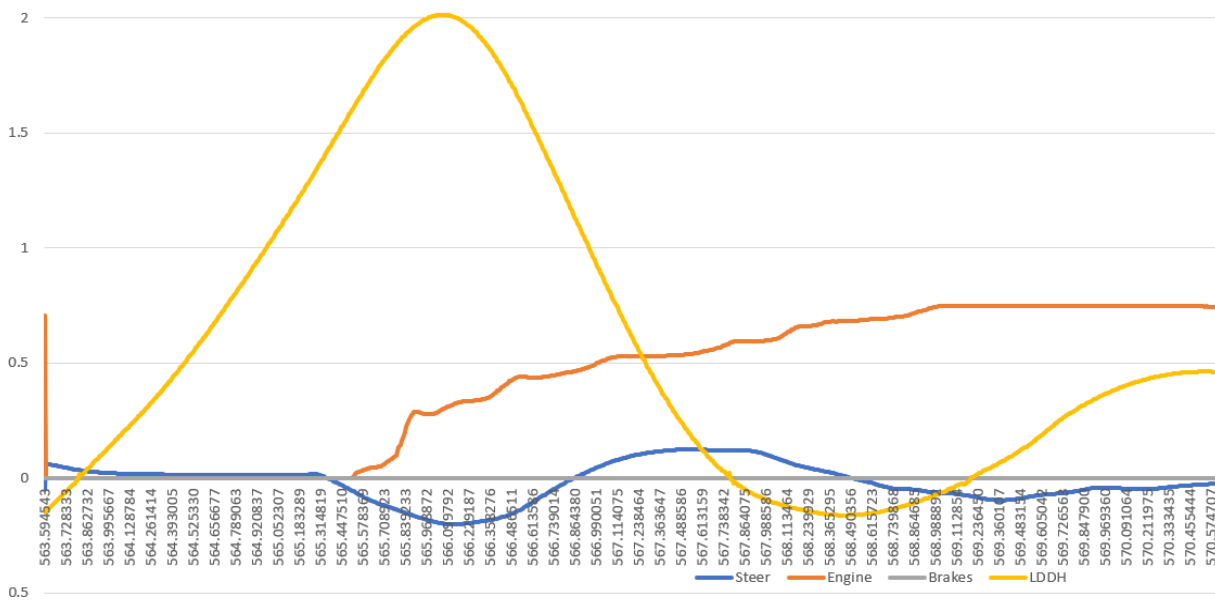


Abbildung 7: Liniendiagramm zur Bestimmung der Reaktionszeit

Anhand des Graphen lässt sich der Verlauf einer Kontrollübernahme nachvollziehen und eine eindeutige Reaktionszeit bei der Lenkung und des Gaspedals bestimmen. Der Anfang der blauen Kurve ist auf das Force Feedback und Spring Force zurückzuführen. Der Wert steht bildlich für das Zurückfedern des Lenkrades und geht gegen Null. Die Reaktion des Probanden setzt dort ein wo die Kurve null verlässt und einen Wert zwischen eins und minus eins annimmt. An der X- Achse lässt sich der Zeitpunkt in Sekunden ablesen. Der Engine Wert verändert sich beim Gas geben nach der Übernahme.

Um nun zu überprüfen, ob eine aktive Lenkbewegung stattgefunden hat, ist die Lane-Deviation (Lane-Deviation div. hundert kurz LDDH) zu betrachten. In diesem Beispiel führt der Proband das Fahrzeug wieder näher zum Wert der Ideallinie, der zwischen -0,8 und 0,8 liegt hin. Somit hat hier eine aktive Reaktion stattgefunden und es können beide Reaktionen eingetragen werden. Die höchste Abweichung von der Ideallinie war knapp 2,0 umgerechnet 200 cm. Das bedeutet, der Proband hat sich noch auf der Straße befunden. Im späteren Verlauf wird deutlich, dass der Proband nach der Übernahme keine großen Probleme hatte, das Fahrzeug in der Nähe der Ideallinie zu halten.

1.11 Technische Schwierigkeiten

Bei der Begutachtung wurden im voraus elf Probanden ausgeschlossen. Zudem wurde ein immer wiederkehrender Fehler bei der Spring Force des Force Feedbacks festgestellt. Die Zurückfederung des Lenkrades vor der Übernahme wird hier als Steer-Problem (kurz SP) aufgeführt. Insgesamt waren von 31 Fahrten 13 ohne Probleme. Für 23 Fahrten konnte bei allen Durchläufen eine genaue Reaktionszeit bestimmt werden. Zusätzlich weichen diese Fahrten nicht von einem kritischen Wert bei der LD (Lane-Deviation) ab. Ausgeschlossen wurden Durchgänge mit mindestens zweimal auftretenden SP. Bei Fahrten mit hoher LD ist jedoch auch ausschlaggebend, ob eine Reaktionszeit gemessen werden konnte und diese klar widerlegt, dass das Abkommen des Fahrzeuges von der Strecke vom Probanden unabhängig war und auf ein SP zurückzuführen ist. Insgesamt wurden 20 Probanden, jeweils zehn Fahrten AB und BA ausgewertet und die Reaktionszeiten in folgenden Gruppen betrachtet.

2 Auswertung

Alle Werte werden im Text auf Zwei Nachkommastellen gekürzt.

2.1 Akustik im Vergleich zu Haptik

Die Reaktionszeiten können in mehrere Gruppen unterteilt werden. Zum einen findet eine Unterteilung in Reaktionszeiten an den Messorten Lenkrad und Gaspedal statt. Dann wird noch zwischen der Platzierung des Signals unterschieden. Damit ist das jeweilige Auftreten des Signals bei der ersten oder zweiten Fahrt gemeint (AB oder BA). Die letzte Unterteilung wird bei der Nummerierung der

Übergaben gemacht. Das heißt: die erste und die zweite Übergabe auf einer Fahrt werden noch unterschieden.

Der Mittelwert des akustischen Signals Gesamt beläuft sich auf 1,80 Sekunden. Der Mittelwert des haptischen ist 2,38 Sekunden und ist somit um mehr als eine halbe Sekunde höher. Beim Mittelwert von Steer ist der Unterschied sogar 0,65 Sekunden und bei Engine beläuft er sich auf ca. 0,5 Sekunden. Somit ist auf dieser Grundlage die Annahme zu treffen, dass das akustische Signal eine kürzere Reaktionszeit hervorruft.

2.2 Gruppe Mittelwerte aller Messgrößen

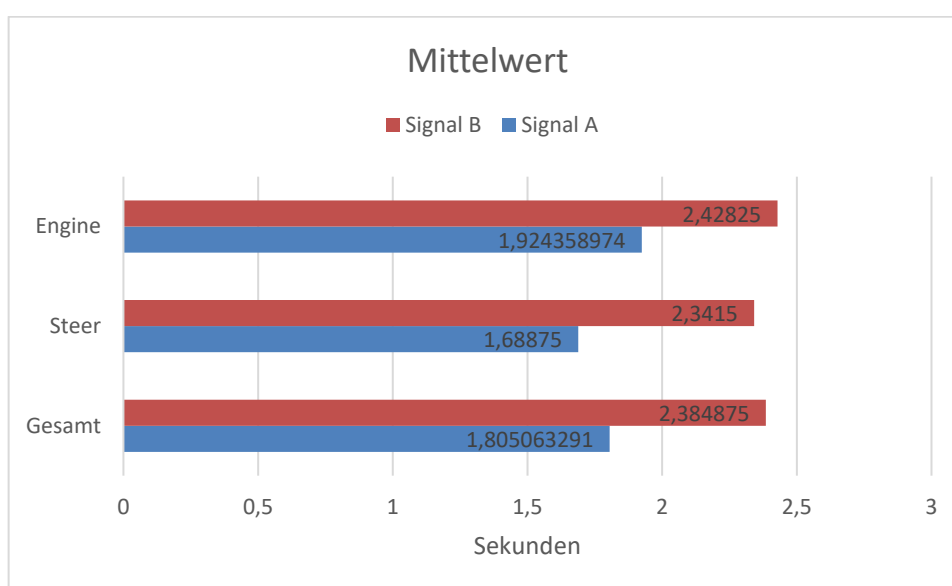


Abbildung 8: Vergleich der Mittelwerte von Gesamt, Steer und Engine Reaktionen

Aus dem Graphen lässt sich auch ablesen, dass in den meisten Fällen zuerst eine Lenkbewegung stattgefunden hat und dann Gas gegeben wurde. Die Ursache liegt in dem Streckenabschnitt und der autonomen Steuerung. Das Fahrzeug ist nämlich während der Übergabe auf einem leicht abdriftenden Kurs hin zum Seitenstreifen. Somit haben die Probanden die Notwendigkeit erkannt und zuerst das Fahrzeug in Richtung Ideallinie geführt bevor wieder die Richtgeschwindigkeit zwischen 60 und 75 km/h angepeilt wurde.

In den nächsten Balkendiagrammen (Abb.9) vergleichen wir nun die Reaktionen bei Fahrt AB und BA separat. Hier wollen wir feststellen, ob eine verbesserte Reaktionszeit vorliegt, wenn der Proband bereits den ersten Teil der Fahrten abgeschlossen hat.

2.3 Gruppe: Vgl. Der Signale bei Fahrt AB und BA

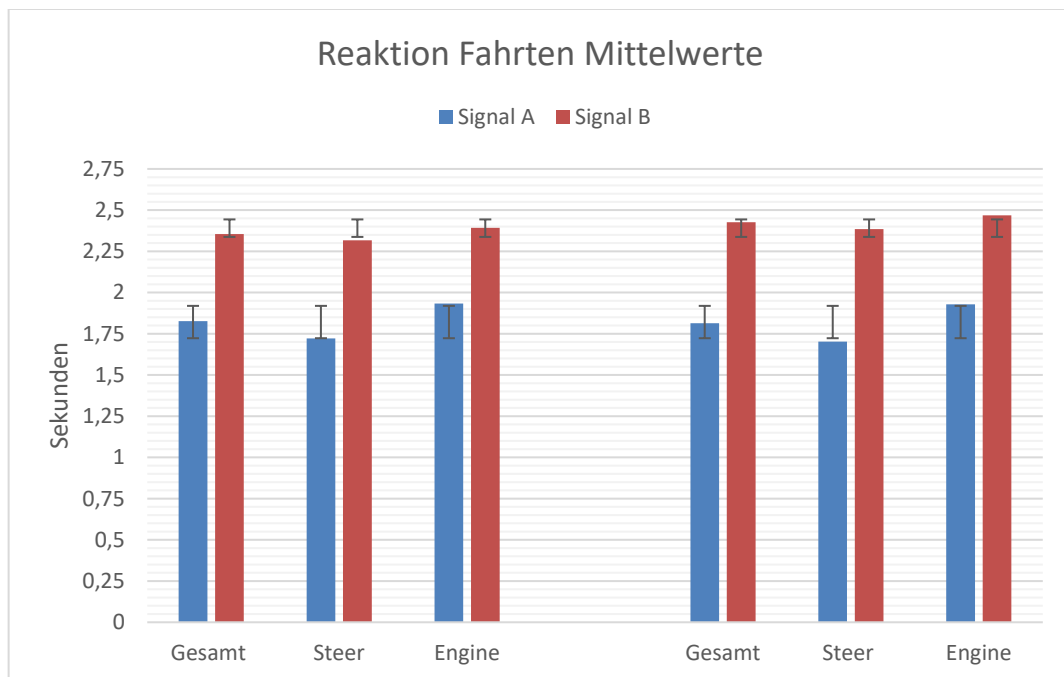


Abbildung 9: Diagramm mit Reaktionszeiten Fahrten AB und BA mit Standardabweichung

Aus diesem Diagramm wird deutlich, dass trotz der Platzierung des Signals B in der zweiten Fahrt der Fahrtenreihe das akustische Signal A eine durchschnittlich bessere Reaktionszeit erzeugt. Wenig verwunderlich schneidet das Signal A auch besser ab, wenn es erst in der zweiten Fahrt platziert wird. Der Unterschied bei Steer beläuft sich auf 0,02 Sekunden im Durchschnitt.

Um einen noch besseren Eindruck zu bekommen wie die Signale auf der jeweils gleichen Fahrtennummer abgeschnitten haben und um das Zwischenergebnis zu kontrollieren, vergleichen wir die Signale erneut auf ihren Mittelwert bei der Fahrt (AB, BA) und (BA, AB). (Abb.10&11)

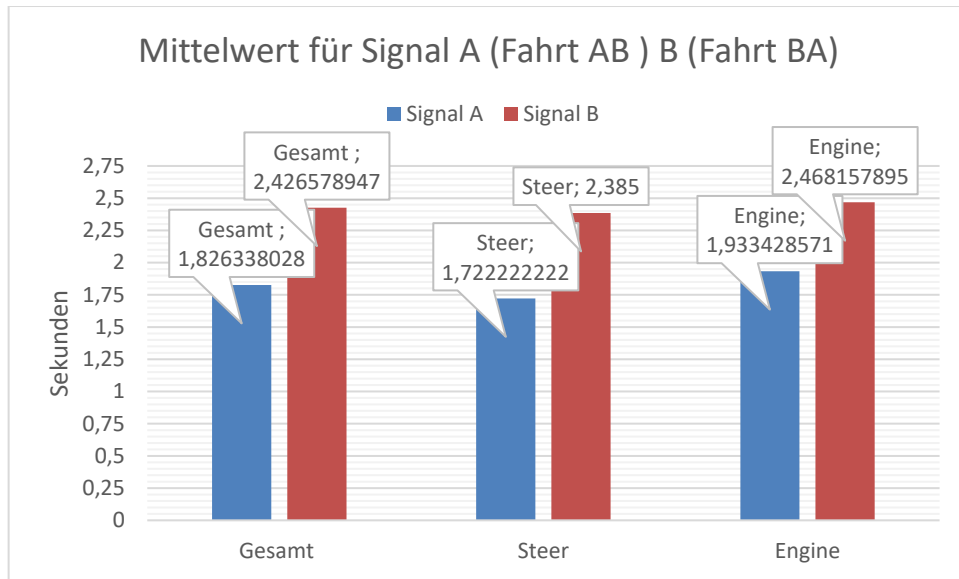


Abbildung 10: Signal A (Fahrt AB) im Vgl. Signal B (Fahrt BA)

Dieses Diagramm zeigt beide Signale und die Reaktionszeiten bei der ersten Fahrt. Auch hier sticht ein deutlicher Unterschied von ca. 0,5 Sekunden bei den Reaktionszeiten hervor.

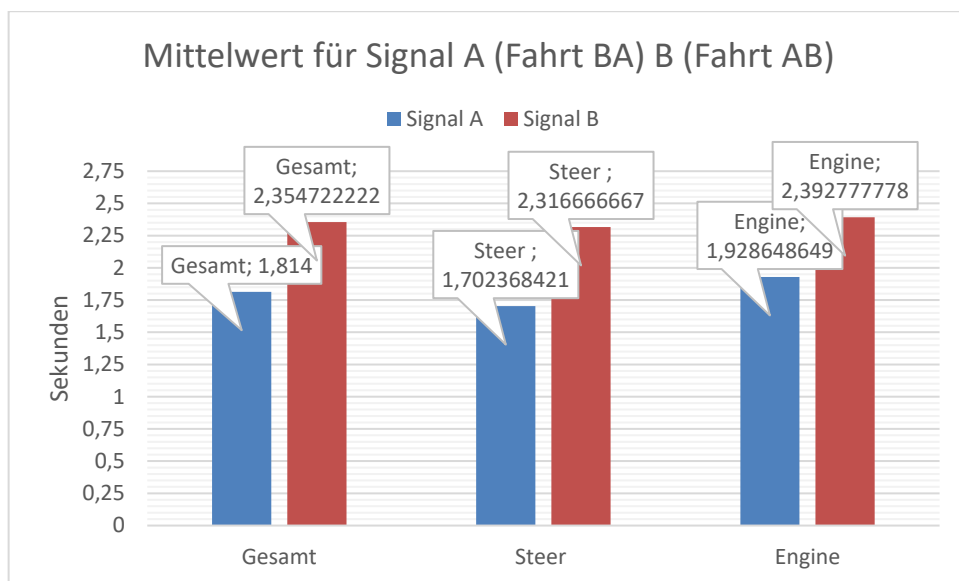


Abbildung 11: Signal A (Fahrt BA) im Vgl. Signal B (Fahrt AB)

Beim Vergleich der Signale, siehe Abbildung 11, verändert sich nur wenig am Gesamtbild. Die Unterschiede zwischen Signal A und B sind zwischen 0,5 und 0,6 Sekunden. Interessant ist noch der Vergleich der Signalpositionen. Die Reaktion auf Signal B ist an zweiter Position 0,07 Sekunden besser was die Lenkung und Engine betrifft. Währenddessen verbessert sich Signal A nur um 0,02 Sekunden.

Aus dieser Konstellation wird deutlich, dass Signal A schneller die Aufmerksamkeit des Probanden erzeugt als Signal B. Jedoch ist bei diesen Werten ein möglicher Lerneffekt schwer zu belegen, auch wenn in beiden Fällen zur zweiten Fahrt eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit dies vermuten lässt.

2.4 Gruppe: Vergleich der Signale mit Berücksichtigung der Nummer der Übergabe

Um einen Lerneffekt sicher nachweisen zu können, müsste zwischen jeder Übergabe eine Steigerung der Reaktionszeit feststellbar sein. Bei diesem Vergleich werden die durchschnittlichen Reaktionszeiten bei Steer und Engine bei beiden Fahrtenmustern zu den definierten Übergabe-Nummern (0,1) getrennt angeschaut. Die null steht für die erste Übergabe und die eins für die zweite.

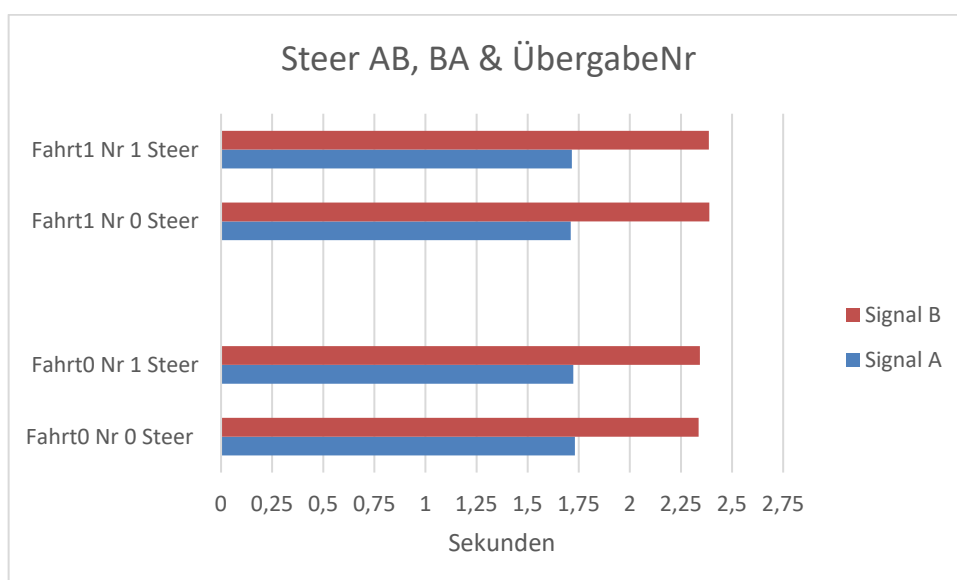


Abbildung 12: Steer Fahrt AB = 0, BA= 1 mit Übergabe-Nr. (0,1)

Bei Betrachtung der einzelnen Werte von Signal A gibt es eine geringe Steigerung von Übergabe null zu eins, von 1,73 Sekunden runter auf 1,72. Signal B verschlechtert sich von 2,33 auf 2,34 Sekunden (Fahrt 0, Nr. 0 & Fahrt 0, Nr. 1).

Die Fahrt eins hat keine Steigerung der Reaktionszeiten. Signal A beträgt in beiden Fällen 1,71 Sekunden und Signal B 2,38 Sekunden. Somit ist für Signal A anzunehmen, dass eine Reaktionszeit von 1,71 Sekunden im Durchschnitt nah am Optimum liegt. Die letzte Frage, die es jetzt noch zu beantworten gilt, lautet: Kann ein Lerneffekt hiermit nachgewiesen werden und hat dieser einen Einfluss auf die Auswertung der Studie?

Um diese Werte nochmals zu überprüfen, werden die gemessenen Reaktionen am Gaspedal erneut betrachtet.

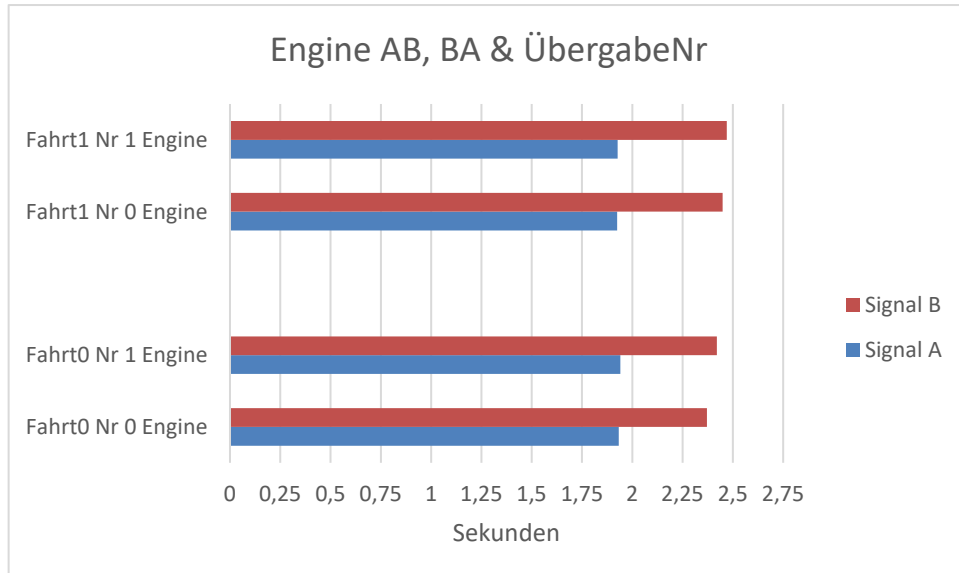


Abbildung 13: Engine Fahrt AB = 0, BA= 1 mit Übergabe-Nr. (0,1)

Die Werte liegen bei Signal A zwischen 1,94 und 1,92 und weisen von Übernahme zu Übernahme keine Verbesserung auf. Das gleiche gilt auch für Signal B, das von 2,37 auf 2,46 sich sogar verschlechtert. Jedoch ist dies der Tatsache geschuldet, dass die zweite Übernahme jeweils in einer leichten Kurve erfolgt ist und somit eine Korrektur der Fahrlinie nötig wurde. Eine direkte Beschleunigung hätte einen negativen Effekt auf diese Korrektur gehabt.

Es ist schwierig nur anhand von Mittelwerten einen Lerneffekt zu erkennen oder auszuschließen.

2.5 Gruppe: Elite Reaktionszeiten mit einer LD von weniger als 200 cm

Hier werden die Reaktionszeiten auf den Aspekt untersucht, ob das Fahrzeug weniger als 200 Zentimeter von der Ideallinie abgekommen ist. Zusätzlich kann auch hier bei den besonders schnellen Probanden nachgemessen werden, ob ein Lerneffekt besteht. Wenn die schnellsten Reaktionen bei dem akustischen Signal in Fahrt BA gemessen wurden und die vorangegangenen Fahrten mit Signal B rund

eine Sekunde langsamer sind, kann die Annahme getroffen werden, dass Probanden sich auf die Aufgabe eingestellt haben und somit auch schneller reagiert haben.

Die schnellste gemessene Reaktion war bei Proband Nr. 6 in der Fahrtenreihenfolge BA bei der zweiten Übergabe mit 0,82 Sekunden. Bei der ersten Übernahme brauchte er noch knapp über eine Sekunde. In beiden Fällen befand sich das Auto jedoch nur zwischen 100 und 150 Zentimeter von der Ideallinie entfernt.

Tabelle 3: Schnellsten Reaktionszeiten mit akustischen Signal

Nr	Column2	Column3	Fahrten	Column5	Column6	Column7
0,1	Steer R Sekunden	Engine R Sekunden	AB 0, BA 1	Brakes	Proband	Nr Proband
1	0.95	2.61	1		6	4
1	0.82	0.82	1		8	6
1	0.88	0.88	1		10	10
1	0.98	2.73	1	2.98	14	18
1	0.96	1.71	1		19	26

Jede schnelle Reaktionszeit von unter einer Sekunde wurde in Fahrt BA zur zweiten Übergabe gemessen. Zudem wird beim Vergleich der Lane Deviation deutlich, dass trotz schnellerer Reaktionszeit am Steuer ein unterschiedlicher Lenkeinschlag und andere Faktoren dafür gesorgt haben, dass eine Überschreitung trotz schnellem Eingreifen auch von diesen Faktoren beeinflusst wird.

Tabelle 4: Schnellsten Reaktionszeiten mit haptischen Signal

Nr	Column2	Column3	Fahrten	Column5	Column6	Column7
0,1	Steer R Sekunden	Engine R Sekunden	AB 0, BA 1	Brakes	Proband	Nr Proband
0	1.35	1.73	0		5	5
1	1.33	1.12	0	1.33	5	5
1	1.32	1.32	0		11	11

Die schnellsten Reaktionen bei Signal B sind knapp über 1,3 Sekunden. Der Proband mit der Nummer 5 hat bei beiden Übergaben in der Fahrtenreihenfolge AB diesen Wert geschafft. Er zählt auch mit Werten im Bereich von einer Sekunde bei Signal A zu den reaktionsschnellsten Teilnehmern dieser Studie.

Ein Lerneffekt ist auch hier nicht von der Hand zu weisen. Die schnellsten Reaktionen wurden jeweils bei der zweiten Fahrt gemessen. Somit wird deutlich, dass eine Verringerung der Reaktionszeiten vorhanden war.

3 Auswertung Fragebogen

Es wurden alle 28 Teilnehmer der Studie ausgewertet. Die Pre-Tester konnten bei dieser Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Dieses Kreisdiagramm stellt die vom Probanden empfundene Unterstützung bei der Kontrollübernahme des Fahrzeugs dar. Rot ist das akustische Signal A und Blau ist das Vibrationssignal B.

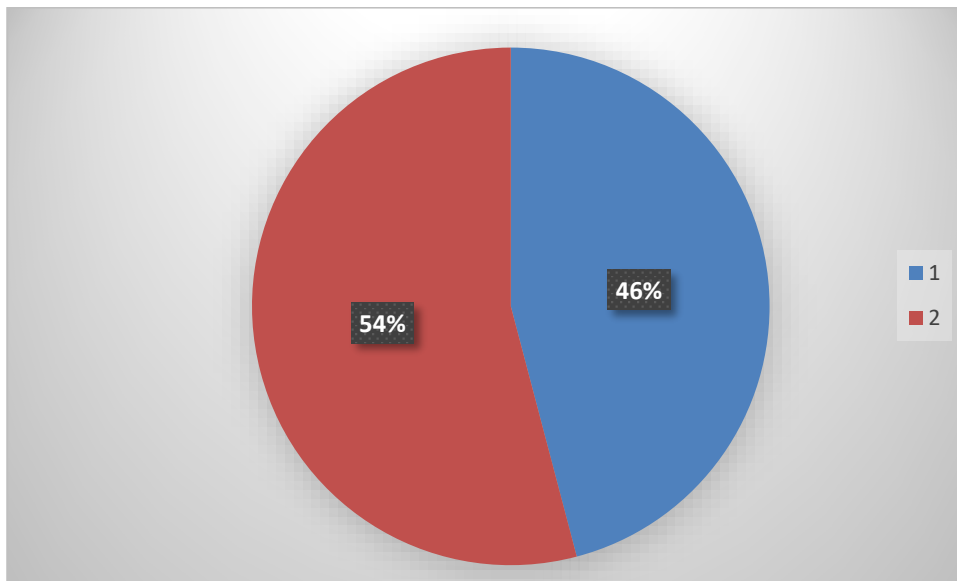


Abbildung 14: Vgl. wie unterstützend wurde das Signal empfunden

Die Mehrheit hat das Signal unterstützender empfunden, das kontinuierlich die besseren Reaktionszeiten gezeigt hat. Somit wird das bessere Abschneiden des Signals A durch die subjektive Einschätzung der Probanden untermauert. Bei dem haptischen Signal ist der $SD = 1,64$ und bei dem akustischen $SD = 2,4$.

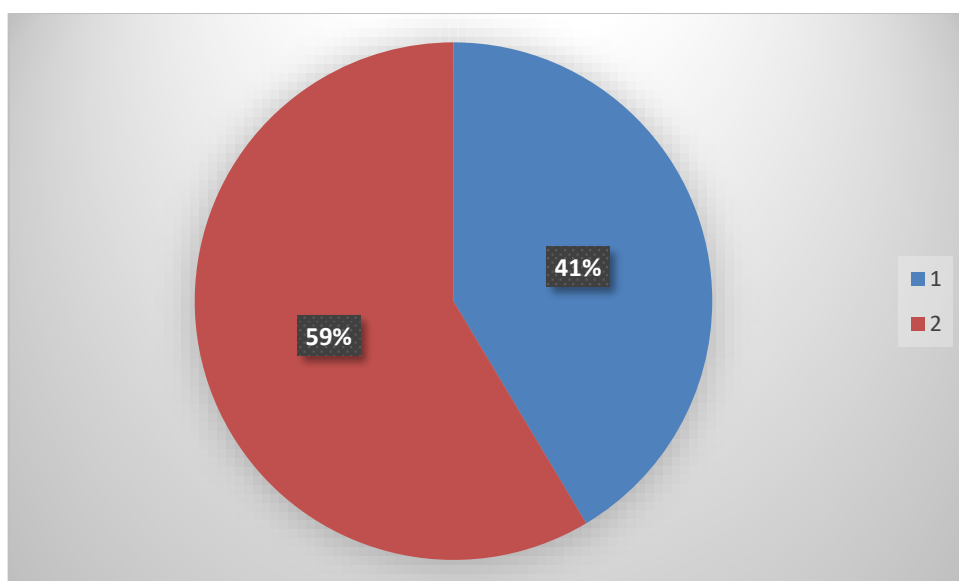


Abbildung 15: Vgl. Beliebtheit der Signale

Auch im Vergleich der Beliebtheit punktet das akustische Signal, hier Rot dargestellt. Die Standardabweichung liegt bei Signal A bei 2,4 und bei Signal B bei 2,7. Somit haben die Probanden größtenteils sehr praktisch entschieden und das effektivere Signal auch bevorzugt. Erstaunlich, da in Richtlinien zu Warnsignalen oftmals akustische Signale als störender und nerviger empfunden werden.

4 Fazit und Ausblick

Das Offensichtliche zuerst: Das akustische Signal hat in allen Vergleichen deutlich besser abgeschnitten. In dieser Studie zeichnete sich das Signal als das bessere und bevorzugte Signal aus und konnte mit durchschnittlich kürzeren Reaktionszeiten überzeugen.

Das Ergebnis dieser Studie wird jedoch auch maßgeblich von der Stärke der Vibration beeinflusst. Die Probanden wurden zwar stets gefragt, ob sie eine Vibration am Sitzpolster spüren können, jedoch ist die Umsetzung eines haptischen Signals mit zwei Controllern keine optimale Lösung. Deswegen und auf Grund der in anderen Studien getroffenen Annahmen und Ergebnisse, dass ein Verbund aus Haptik und Akustik und/oder visuellen Feedback bessere Reaktionszeiten ermöglicht, kann diese Studie als Basis für weitere Studien verwendet werden. In diesen sollten dann auch mögliche Kombinationen mit hier erarbeiteten Einzelwerten verglichen werden. Des Weiteren hat die Beschäftigung in Form eines Tablet Spiels nicht die Maße an Ablenkung gebracht, die notwendig gewesen wäre, um den Fahrer komplett aus dem „Loop“ zu nehmen. Hier würde ich ein Szenario

mit Beifahrer und vielleicht auch mit erheblich mehr Geräuschkulisse empfehlen. Bei dieser Versuchsreihe sollte dann ein schnelles, auf Reaktion und Konzentration basierendes Tablet Spiel gegen den Beifahrer gespielt werden. Zusätzlich zu diesen Reizen könnte akustisch noch mit Radiomusik nachgelegt werden. In einem solchen Szenario sind die Sinneskanäle des Fahrers durch Umgebung und Aktivität so stark überladen, dass ein haptisches Signal wahrscheinlich effektiver abschneiden könnte als ein rein akustisches. Um den Versuch noch realitätsnaher zu machen, würde ich auch ein größeres Time Budget nach der TOR einplanen. Innerhalb von vier bis sechs Sekunden könnte dieses Zeitfenster liegen. Wenn nach dem Ablauf dieser Zeit noch keine Kontrollübernahme stattgefunden hat, ist das Signal oder der Verbund der Signale gescheitert.

Allgemein lässt sich aus dieser Studie ableiten, dass das effektivere Signal auch präferiert wird. Das macht akustische Warnungen bei reaktionsbedingten Verkehrssituationen zum besseren Mittel solange die Sinneskanäle des Fahrers nicht durch andere Umstände überreizt sind. In diesem Fall reden wir aber über Fahrassistenzsysteme und nicht über autonomes Fahren der Stufe Vier. Denn es ist anzunehmen, dass bei einer völlig autonomen Fahrt ganz andere Ablenkungen möglich sind. Meiner Meinung nach kann dieses Ergebnis nicht vorbehaltlos für die Erstellung eines TOR genutzt werden. Stattdessen sollten zusätzlich Signalkombinationen getestet werden und mit den hier ermittelten Werten verglichen werden.

5 Anhang A:

5.1 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich,

[Christoph [Hein] [874286],

ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Projektarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt haben und keine anderen als in der Abhandlung angegebenen Hilfen benutzt haben; Alle Quellen, die genutzt wurden sind wie vorgeschrieben nach der Zitierweise APA markiert.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben kann.

6 Literaturverzeichnis

Beiker, S. (2015). Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge. In M. Maurer, J. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.) *Autonomes Fahren Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. (S. 200). Springer Verlag.

Campbell, J. Richard, C. Brown, J. McCallum, M. (2007). *Crash Warning System Interfaces: Human Factors insights and Lessons Learned*. US Department of Transportation.

Dietmayer, K. (2015). Prädiktion von maschineller Wahrnehmungsleistung beim automatisierten Fahren. In M. Maurer, J. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.) *Autonomes Fahren Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. (S. 420). Springer Verlag.

Gold, C. Damböck, D. Lorenz, L. & Bengler, K. (2013). *Take over! How long does it take to get the driver back into the loop?. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 57, S. 1938-1942.*

Johanning, V. & Mildner, R. (2015). *Car IT kompakt*. Springer Verlag.

Mann, M. (2008). *Benutzerorientierte Entwicklung und fahrergerechte Auslegung eines Querführungsassistenten*. Cuvillier Verlag.

Maurer, M. Gerdes, J. Lenz, B. & Winner, H. (2015). *Autonomes Fahren Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer Verlag.

Ovcharova, N. (2013). *Methodik zur Nutzenanalyse und Optimierung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme*. KIT Scientific Publishing. Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik Band 21.

Walch, M. Lange, K. Baumann, M. & Weber, M. (2015). *Autonomous Driving: investigating the Feasibility of Car-Driver Handover Assistance. AutomotiveUI '15. Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, S. 11-18*

Internetquellen:

Fehlverhalten der Fahrer bei Unfällen mit Personenschaden 2018, *Destatis*
Letzter Zugriff 06.2019. Verfügbar unter

https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/_inhalt.html;jsessionid=5C916E86F0720517BC8D630FD984D284.internet721#sprg229230

Sokolov, D. (2015, Juli 28). Die sieben Hürden zum selbstfahrenden Auto, *heise online* Letzter Zugriff: Juli 21. Verfügbar unter <https://www.heise.de/ct/artikel/Die-sieben-Huerden-zum-selbstfahrenden-Auto-2764145.html>

cfr. (2019 April 3). Erste Testfahrten VW fährt in hamburg jetzt autonom, *Spiegel online*

Letzter Zugriff: Juli 21. Verfügbar unter <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/hamburg-volkswagen-testest-autonomes-fahren-in-deutscher-grossstadt-a-1251825.html>

Die Fünf Stufen zum autonomen Fahren, *BMW*

Letzter Zugriff: Juli 21. Verfügbar unter <https://www.bmw.com/de/automotive-life/autonomes-fahren.html>

Kampara, J. & Purwar, S. (Februar 7.) How Haptics changed the game of usability, *Uxplanet*

Letzter Zugriff Juli 21. Verfügbar unter <https://uxplanet.org/how-haptics-changed-the-game-of-usability-3ff3ae2c22e4>

K3F Komponenten und Aufbau, *HCI2B Group*

Letzter Zugriff 21. Juli. Verfügbar unter <https://hci.hs-kl.de/k3f-konzept-simulator/>