



PHILIPP QUINZ, BSC
ENTWICKLUNG EINES MMS KONZEPTS FÜR EINEN
VOLL AUTOMATISIERTEN
FAHRSTREIFENWECHSELASSISTENTEN

Masterarbeit

Technische Universität Graz

Institut für Fahrzeugtechnik
Institusvorstand: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Fischer

Betreuer:
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Arno Eichberger
Co-Betreuer:
Dipl.-Ing. Branko Rogic

Graz, Oktober 2016

TITEL DER ARBEIT:

Entwicklung eines MMS Konzepts für einen voll automatisierten Fahrstreifenwechselassistenten

EINGEREICHT VON:

Philipp Quinz, BSc

Matrikelnummer: 0831857

STUDIUM:

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

Kennzahl: F 066 482

BETREUER:

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Arno Eichberger

CO-BETREUER:

Dipl.-Ing. Branko Rogic

KURZFASSUNG

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für einen vollautomatisierten Fahrstreifenwechselassistenten. Die für die Entwicklung einer solchen Schnittstelle wichtigen Prinzipien werden ausführlich erläutert. Der Fahrstreifenwechselassistent stellt ein hoch automatisiertes System dar, daher werden die mit der Automation einhergehenden Herausforderungen für die Entwicklung von Assistenzsystemen behandelt.

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche und Forschungen zum *Horse Mode* und *Conduct-by-Wire*, wurden drei Konzepte für ein mögliches MMS-Design erarbeitet. In Zusammenarbeit mit *Magna Steyr* wurde eine Nutzwertanalyse zu den drei Varianten der MMS durchgeführt, deren Ergebnisse präsentiert werden.

Da aus der Nutzwertanalyse kein eindeutiger Favorit hervor ging, wurde eine Schnittstelle entwickelt, welche die Vorteile aller drei Varianten bestmöglich in sich vereint. Je nach Bedarf greift das System stärker oder schwächer in die Fahrzeugführung ein, das Design und die Funktionsweise werden im Detail erläutert. Das gefundene Konzept muss noch ausführlich getestet werden, daher werden vier Manöver und ein möglicher Versuchsablauf für eine Probandenstudie in einem Fahrsimulator vorgestellt.

ABSTRACT

This thesis deals with the development of a Human-Machine Interface for a fully automated lane change assistant. The key principles for the development of such an interface are explained in detail. The lane change assistant is a highly automated system, therefore, the challenges which are associated with the development of automated assistance systems are discussed.

Based on the findings from the literature research and research on the *Horse Mode* and *Conduct-by-Wire*, three concepts for a possible HMI design were developed. In cooperation with *Magna Steyr* a cost-benefit analysis of the three variants of the HMI was conducted, which results are presented here.

The cost-benefit analysis showed no clear favorite, therefore an interface was designed, which combines the advantages of all three variants. Depending on the drivers performance, the system takes more or less control of the vehicle, the design and operation are explained in detail. The concept found still needs to be tested thoroughly, hence four maneuvers and a possible test procedure for a volunteer study in a driving simulator will be presented.

DANKSAGUNGEN

Mein erster Dank gilt meinem Betreuer dieser Arbeit, Arno Eichberger. Er ist mir stets mit gutem Rat zur Seite gestanden und hatte immer ein offenes Ohr für meine Anliegen.

Bei Branko Rogic bedanke ich mich ebenfalls für seine Unterstützung während der Entstehung dieser Arbeit.

Ioana Koglbauer hat mich mit ihrem Fachwissen zur Mensch-Maschine Interaktion unterstützt und mir bei der Planung der Probandenstudie geholfen, wofür ich mich herzlich bedanke.

Ein besonderer Dank gilt Dusan Malic, da er mir mit seinen Programmierkenntnissen zur Seite stand und dabei half das entwickelte MMS-Konzept in die Praxis umzusetzen.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, für das Ermöglichen meines Studiums durch ihre großherzige Unterstützung und für alles, was sie für mich getan haben.

DEUTSCHE FASSUNG:

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG¹

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht haben. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Graz, am _____

Datum

Unterschrift

ENGLISCHE FASSUNG:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present Master's thesis.

date

signature

¹ Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008; Genehmigung des Senates am 1.12.2008

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziel der Arbeit	2
2	MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE	3
2.1	Fahrer-Fahrzeug-Umwelt System	3
2.2	Gestaltung einer MMS	4
2.2.1	Arbeitsmodell einer MMS	4
2.2.2	Gestaltungsleitsätze	7
2.2.3	Gestaltungsprinzipien	8
2.2.4	Gestaltungsprozess	9
2.3	Medien der Informationsübertragung	10
2.3.1	Übersicht	12
2.4	Alternative Ansätze zu Mensch-Maschine-Schnittstellen	12
2.4.1	Horse Mode	14
2.4.2	Probandenstudie zum H-Mode	15
2.4.3	Conduct-by-Wire	15
3	AUTOMATION	18
3.1	Level der Automation	18
3.2	Bestimmung des Levels der Automation	20
3.3	SAE Skala für Fahrzeugautomation	22
3.4	Autopilot von Tesla	23
4	ERARBEITUNG VON KONZEPTIDEEN	25
4.1	Konzept A: Informativer und warnender FWA	26
4.2	Konzept B: Halb-automatisierter FWA	27
4.2.1	Tight Rein	28
4.2.2	Loose Rein	28
4.2.3	Secured Rein	28
4.3	Konzept C: Voll-automatisierter FWA	29
4.3.1	Automated Mode	29
4.3.2	Confirm Mode	30
4.3.3	Warning Mode	30
5	KONZEPTAUSWAHL	31
5.1	Festlegung und Gewichtung der Kriterien	31
5.1.1	Gewichtung	33
5.2	Bewertung der Konzepte	33
5.3	Interpretation	35
6	DETAILLIERTE KONZEPTENTWICKLUNG	37
6.1	Bedienelemente	37
6.2	Anzeige	38
6.3	Funktionsweise	40
6.3.1	Manual Mode	40

6.3.2	Semi Automated Mode	41
6.3.3	Automated Mode	41
6.4	Geplante Erweiterungen	42
7	KONZEPTVALIDIERUNG	43
7.1	Manöver	43
7.1.1	Manöver 1	43
7.1.2	Manöver 2	44
7.1.3	Manöver 3	45
7.1.4	Manöver 4	45
7.2	Testablauf	47
7.2.1	Messung der mentalen Belastung	47
7.3	Fragebogen	50
8	ZUSAMMENFASSUNG	52
	Abbildungsverzeichnis	54
	Tabellenverzeichnis	55
	LITERATURVERZEICHNIS	56

ABKÜRZUNGEN

MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
FWA	Fahrstreifenwechsellistent
LKA	Lane Keeping Assist
BSM	Blindspot Monitoring
ACC	Adaptive Cruise Control
AEB	Automated Emergency Break
FTG	Institut für Fahrzeugtechnik Graz
HUD	Head-Up Display
FAS	Fahrerassistenzsystem
GUI	Graphical User Interface
CbW	Conduct-by-Wire
EPS	Electronic Power Steering
ESC	Electronic Stability Control
LED	Licht emittierende Dioden
LCA	Lane Change Assist

EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION

Heutzutage werden Fahrerassistenzsysteme immer mehr zur Selbstverständlichkeit. Tempomat, Navigationssystem, Spur- und Abstandhalteassistent wie *Adaptive Cruise Control (ACC)* oder *Lane Keeping Assist (LKA)*, *Blindspot Monitoring (BSM)* und Einparkhilfe, um nur einige zu nennen, haben sich längst auf dem Markt etabliert. Diese Systeme sollen zum einen das Autofahren sicherer machen und zum anderen einen Komfortgewinn für den Fahrer erzielen. Mit zunehmender Komplexität und Automatisierung dieser Systeme müssen sowohl die technischen Voraussetzungen für eine einwandfreie Funktion geschaffen, als auch die rechtlichen Rahmenbedingungen geklärt werden.

Der *Fahrstreifenwechsellassistent (FWA)* ist eine der nächsten Automatisierungsfunktionen die auf den Markt gebracht werden. Beim Überholvorgang handelt es sich um ein komplexes Manöver, welches hohe Ansprüche an die Fähigkeiten des Fahrers stellt. Die Umgebung muss gut wahrgenommen, Geschwindigkeiten und Entfernungen richtig eingeschätzt und schließlich das Manöver in einem bestimmten Zeitfenster durchgeführt werden. Dabei kann es leicht zu einer Fehleinschätzung mit fatalen Folgen kommen. Ziel des *FWA* ist es, den Fahrer vor Fehleinschätzungen zu bewahren und einen möglichen Unfall zu verhindern. Des Weiteren wird eine weitgehende Automatisierung des Fahrstreifenwechsellvorgangs angestrebt. Dadurch soll der Fahrer auf monotonen Strecken entlastet und die Sicherheit im Falle einer Ablenkung gewährleistet werden.

Um die Sicherheit des Fahrers zu erreichen ist es wichtig, dass die *Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS)* so konzipiert ist, dass sie vom Fahrer akzeptiert wird, wodurch eine Reihe von Anforderungen an das System gestellt werden. Es soll intuitiv verständlich und leicht zu bedienen sein, die Informationen müssen schnell erfassbar und die Kontrolle über das Fahrzeug jederzeit zurück zu erlangen sein. Da es bereits eine Vielzahl von Assistenzsystemen gibt, wird nach einem Gesamtkonzept für eine *MMS* gesucht, welches alle Systeme intelligent miteinander verbindet.

1.2 ZIEL DER ARBEIT

Diese Arbeit befasst sich mit der Erstellung und der Umsetzung eines Konzeptes einer **MMS** für einen vollautomatisierten **FWA**. Die **MMS** wird am *Institut für Fahrzeugtechnik Graz (FTG)* in den Fahrsimulator implementiert, woran in weiterer Folge Testläufe mit Probanden durchgeführt werden können.

Als erstes wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zum momentanen Stand der Technik durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf Gestaltungsleitsätzen für die Umsetzung einer **MMS** und Beispielen von Assistenzsystemen aus Industrie und Forschung. Im Kapitel 3 wird das Thema Automation näher betrachtet, da es für die Entwicklung eines **FWA** von entscheidender Bedeutung ist.

Aus den aus der Recherche gewonnen Erkenntnissen wurden in Zusammenarbeit mit *Magna Steyr* drei mögliche Konzepte erarbeitet. Diese werden in dem Kapitel 4 vorgestellt und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile betrachtet. Der wesentliche Unterschied der verschiedenen Umsetzungen liegt dabei im jeweiligen Grad der Automatisierung. Im Zuge der Zusammenarbeit wurde auch eine Nutzwertanalyse durchgeführt, um das geeignetste Konzept zu bestimmen. Die Ergebnisse der Analyse werden ebenfalls in diesem Kapitel zusammengefasst.

Nachdem das Konzept festgelegt war, wurde es noch weiter verfeinert. Das finale Design wird im Kapitel 6 erläutert. Es werden die Bereiche Anzeige und Bedienelemente, sowie zukünftige Erweiterungen betrachtet. Zuletzt wird ein Vorschlag zur Konzeptvalidierung vorgestellt, worin vier Manöver und ein Fragebogen zur Bewertung des Systems beschrieben werden. Der Testablauf für die Probandenstudie wird darin ebenfalls erläutert.

Zu Beginn der Arbeit soll die Basis für die Entwicklung einer guten **MMS** geschaffen werden. Dazu wird zunächst das System Fahrzeug, Fahrer und Umwelt betrachtet, um die Rolle der **MMS** richtig einordnen zu können. Danach wird auf wichtige Gestaltungsleitsätze und Prinzipien eingegangen, sowie der Gestaltungsprozess an sich beschrieben. Beispiele aus der Fahrzeugindustrie sollen Anregungen für eine mögliche Umsetzung des **FWA** im Fahr Simulator liefern. Zuletzt werden zwei alternative Ansätze eines Schnittstellendesigns betrachtet, welche in weitere Folge die Grundlage für die Erarbeitung der Konzeptideen lieferten.

2.1 FAHRER-FAHRZEUG-UMWELT SYSTEM

Bevor die **MMS** (und deren Gestaltung) im Detail betrachtet wird ist es hilfreich einen Überblick über den Kontext zu bekommen in dem diese steht. Ein Fahrzeug stellt an und für sich schon ein hoch komplexes System aus einer Vielzahl von mechanischen und elektronischen Bauteilen, sowie implementierter Software, dar. In Abbildung 1 ist das Zusammenspiel der involvierten Komponenten und deren Wechselwirkung untereinander ersichtlich. Des Weiteren kommt in der Gesamtbeurteilung noch der Fahrer und die Umwelt hinzu, welche wiederum untereinander interagieren.

Der Fahrer nimmt im wesentlichen drei Haupttätigkeiten wahr: die Kursplanung, die Kursführung und die Stabilisierung des Fahrzeugs. Fahrdynamikregelsysteme und Fahrerassistenzsystem (**FAS**) nehmen entweder direkt über die Fahrzeugaktuatorik oder indirekt über die **MMS** Einfluss auf die Stabilisierung des Fahrzeugs. Über die **MMS** interagieren die **FAS** auch warnend, informierend oder empfehlend mit den drei Tätigkeiten des Fahrers. Die **MMS** ist auch das Medium für die Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug. Durch das Lenkrad und die Pedalerie übt der Fahrer die Steuerung des Fahrzeugs unmittelbar aus. Diverse **FAS** oder Infotainmentsysteme, Radio, Klimatisierung usw. werden mittels unterschiedlicher Bedienelementen wie Knöpfe, Hebel oder einem Touchscreen bedient. Schließlich dient die **MMS** auch als Informationsmedium für den Fahrer.

Die Umwelt, charakterisiert durch die Verkehrssituation, Wetter- und Fahrbahnbedingungen sowie das Straßensystem, wirkt unmittelbar auf den Fahrer ein und beeinflusst ihn bei allen Tätigkeiten die er wahr nimmt. Durch Sensoren kann das Fahrzeug die Umwelt erkennen und die Informationen in weiterer Folge in verschiedenen **FAS** verarbeiten. Die C2X Kommunikation, also Informationen, welche unter verschiedenen Verkehrsteilnehmern, oder zwischen dem Fahrzeug und der Infrastruktur ausgetauscht werden, wird in Zukunft eine wesentliche Rolle spielen.

In diesem Kontext gilt es nun eine möglichst ausgereifte **MMS** zu entwickeln, wel-

che zum einen als Bedienelement und zum anderen als Informationsmedium für den Fahrer fungiert. Die Wechselwirkung mit Fahrerassistenzsystemen im allgemeinen und mit einem FWA im speziellen wird dabei im Fokus dieser Arbeit stehen. Bei der Auslegung der Schnittstelle gibt es zahlreiche Faktoren zu beachten, welche im Folgenden näher betrachtet werden.

2.2 GESTALTUNG EINER MMS

Die MMS dient als Vermittler zwischen Mensch und Maschine. Nach dem aus der Psychologie stammenden dreistufigen Reiz-Reaktions-Modells [2], bekommt der Mensch durch die MMS Informationen (Informationsaufnahme), welcher er daraufhin verarbeitet (Informationsverarbeitung) und entsprechend handelt (Handlung), wie in Abbildung 2 dargestellt. Idealerweise erfolgt daraufhin eine Rückmeldung, über die erfolgreiche Durchführung der Handlung. Aufgabe der MMS ist es dem Menschen zu helfen, die Fahrzeugführung effizienter und effektiver zu bewältigen.

Bei der Interaktion zwischen Mensch und Maschine gibt es zahlreiche Faktoren, welche beachtet werden müssen. Der Mensch soll bei der Gestaltung der Schnittstelle immer im Mittelpunkt stehen. Im Folgenden wird ein Modell für eine MMS vorgestellt und auf wichtige Richtlinien für eine gelungene Gestaltung eingegangen.

2.2.1 Arbeitsmodell einer MMS

Als Basis für weitere Überlegungen soll ein vereinfachtes Modell dienen, welches den Zusammenhang zwischen der Umgebung, dem Menschen und dem Fahrzeug abbildet [2], mit Schwerpunkt auf der Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Das Fahrzeug beinhaltet Schnittstellen, welche dem Menschen einerseits über diverse Anzeigen Informationen liefern und es ihm andererseits ermöglichen, durch Bedienelemente mit dem Fahrzeug zu interagieren. Die beiden Elemente einer Schnittstelle, Bedienelemente und Anzeige, sollen nun genauer betrachtet werden.

BEDIENELEMENTE Um Bedienelemente zu klassifizieren gibt es unterschiedliche Ansätze. Exemplarisch werden jene von Rühmann [3] und Eckstein [4] angeführt. Beide Ansätze haben gemeinsam, dass sie fünf Ordnungssysteme für die Klassifizierung der Bedienelemente definieren. Bei Rühmann sind diese *Bedienung*, *Bewegungsart*, *Wirkungsweise*, *Dimensionalität* und *Integration*; bei Eckstein *Zahl der Stellteile*, *Zahl der Freiheitsgrade eines Stellteils*, *Sollwertvorgabe*, *Rückmeldung* und *Stellteilart*.

Beide Klassifizierungsansätze stellen in den Mittelpunkt ihrer Betrachtung die Bedienelemente und nicht den Menschen. Bei der Entwicklung einer MMS, ist die Betrachtung von Seiten des Fahrers aber unumgänglich. Eine menschenzentrierte Klassifizierung könnte nach Unterscheidung der Eingabemodalitäten erfolgen [2]. Bei der Fahrzeugführung erfolgt der Großteil der Eingabe mittels der Arme und

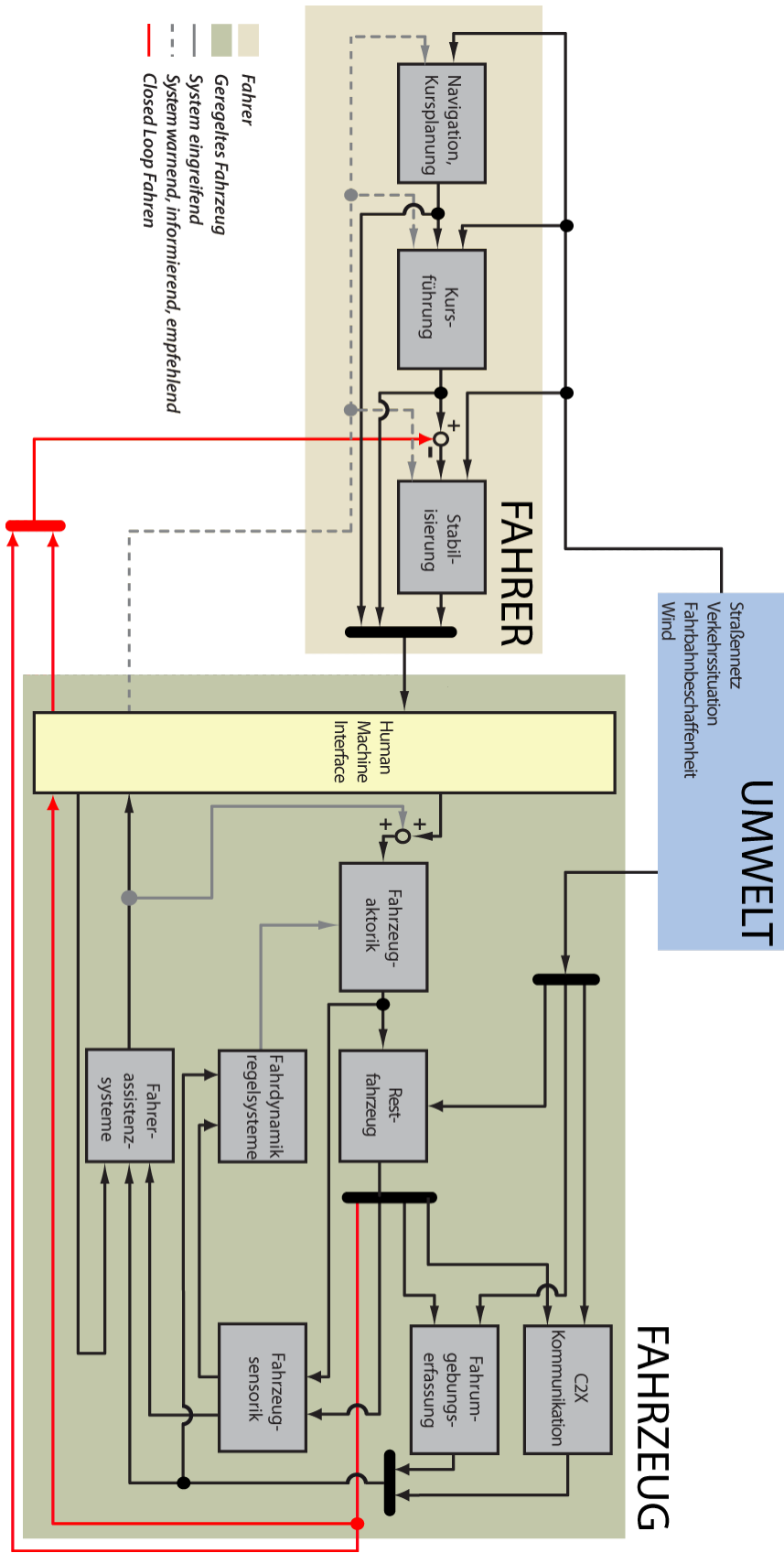


Abbildung 1: Darstellung des Gesamtsystems aus Fahrer, Fahrzeug und Umwelt [1]

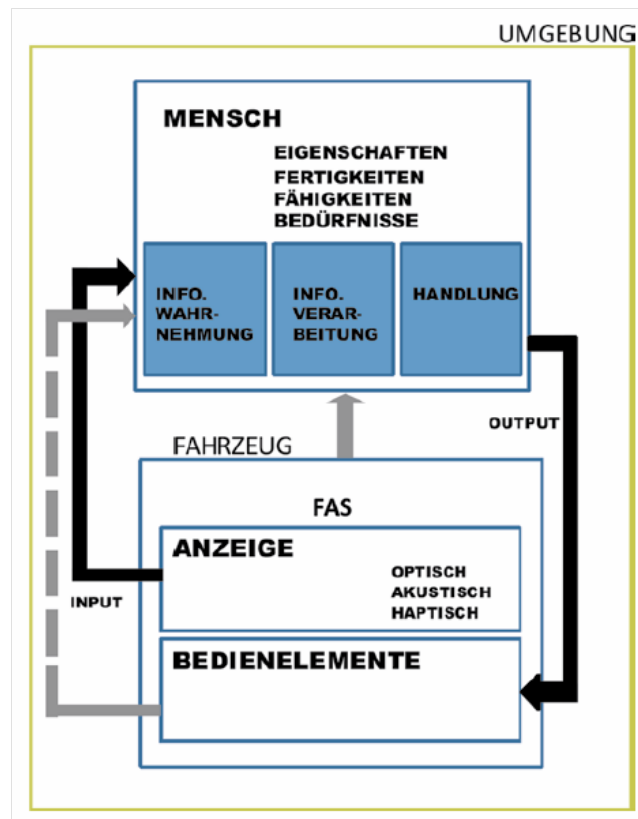


Abbildung 2: Modell der Interaktionen zwischen Mensch und Schnittstellen im Fahrzeug [2]

der Hände. Die Führung des Fahrzeugs mittels des Lenkrads, die Bedienung diverser Hebel und Schalter und die Interaktion mit dem Infotainmentsystem werden dadurch realisiert. Bein- und Fußbewegungen sind notwendig, um die Pedalerie zu bedienen. Auch die Spracheingabe findet vermehrt Anwendung bei Infotainmentsystemen und ist in der Mensch-Computer Interaktion bereits Standard. Bedienung durch Augenbewegung oder Mimik und Gestik sind momentan noch nicht realisierbar, könnten aber in Zukunft durchaus eine Rolle spielen.

ANZEIGE Die Anzeige dient primär dazu, dem Fahrer die für die Fahrzeugführung notwendigen Informationen zu liefern und darf nicht als rein optisches Instrument verstanden werden. Für die Gestaltung der Anzeige sind drei Fragen entscheidend [5]:

- Welche Information soll vermittelt werden („Informationsinhalt“)?
- Wie soll diese Information übermittelt werden („Darstellungsform“)?
- Wo wird die Information präsentiert („Darstellungsort“)?

Bei der Darstellungsform kann von einer Schnittstellen basierten oder einer Mensch zentrierten Sicht ausgegangen werden. Von Seiten der Schnittstelle stellt sich die Frage, ob die Information *optisch*, *akustisch* oder *haptisch* vermittelt wird. Auf diese drei Darstellungsformen wird unten noch genauer eingegangen, da sie

für das MMS Design entscheidend sind.

Aus Sicht des Menschen kann eine differenziertere Betrachtung angestellt werden. Dabei stehen die unterschiedlichen Wahrnehmungsformen des Menschen und die damit verbundenen menschlichen Leistungen im Vordergrund [2]. Über den visuellen Kanal nimmt der Mensch seine Umgebung, andere Verkehrsteilnehmer und unterschiedliche Anzeigen des Fahrzeugs, wie zum Beispiel das Kombiinstrument, wahr. Er ist mit Sicherheit der am meisten geforderte Kanal beim Autofahren. Der auditive Kanal wird vor allem für Warnungen gebraucht, oder um tertiäre Tätigkeiten wie das Bedienen des Navigationsgeräts auszuführen. Durch die vestibuläre Wahrnehmung kann der Fahrer Beschleunigungen erkennen. Bei verschiedenen FAS wie zum Beispiel dem ACC kommt das schon zum Einsatz. Wird die Geschwindigkeit verringert, so weiß der Fahrer, dass das System ein voran fahrendes Fahrzeug erkannt hat. Die taktile Wahrnehmung ist wichtig, um Feedback über eine gelungene Eingabe zu erhalten (Vibration bei Touchscreens), die kinästhetische Wahrnehmung spielt bei größeren Beschleunigungen oder Bewegungen, wie der Bedienung des Lenkrads, eine Rolle.

Für die Entwicklung zukünftiger FAS wird es entscheidend sein beide Ansätze, also technische und menschliche Eigenschaften gegenüberzustellen und so neue Lösungswege zu finden [2]. Vor allem die Entlastung des optischen Kanals ist sehr wichtig, da zahlreiche Informationen von verschiedenen FAS verarbeitet werden müssen und eine Überlastung vermieden werden soll. Daher wird es auch eine entscheidende Frage sein, wie sich die Vielzahl der Systeme intelligent kombinieren lässt, um eine Informationsflut zu vermeiden.

Die Fragen nach dem Informationsinhalt und dem Darstellungsort lassen sich mit der Darstellungsform nicht beantworten. Diese müssen im Zuge eines ganzheitlichen Gestaltungsprozesses geklärt werden.

2.2.2 Gestaltungsleitsätze

Für die erfolgreiche Gestaltung einer MMS sowie für die Entwicklung von FAS ist es wichtig, gewisse Richtlinien zu beachten. Diese sollen gewährleisten, dass die Schnittstellen der Maschine, also Bedienelemente und Anzeigen, optimal an den Menschen und die zu erfüllende Aufgabe angepasst sind. In der Norm DIN EN ISO 9241-110 [6] sind ergonomische Leitsätze und Anforderungen, welche bei der Gestaltung von MMS zu berücksichtigen sind, festgelegt. Folgende sechs Gestaltungsleitsätze gilt es bei der Entwicklung von Schnittstellen zu beachten [2]:

A AUFGABENANGEMESSENHEIT Die Schnittstelle soll den Fahrer dabei unterstützen die spezifische Aufgabe sicher, effizient und effektiv auszuführen. Dabei sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Eine sinnvolle *Funktionszuweisung* verteilt die Funktionen zwischen Mensch und Maschine entsprechend der jeweiligen Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen. Eine möglichst *geringe Komplexität* ist erstrebenswert und wird durch eine aufgabenorientierte *Gruppierung* der Bedienelemente und Anzeigen erreicht. Dabei soll auf die *Unterscheidbarkeit* und eine Anordnung nach *funktionellem Zusammenhang* geachtet werden.

B SELBSTBESCHREIBUNGSFÄHIGKEIT Mit Selbstbeschreibungsfähigkeit einer Schnittstelle ist gemeint, dass der Fahrer jederzeit, ohne Fehler oder Zweifel, die Anzeigen und Bedienelemente erkennen und verstehen kann. In dem Zusammenhang ist auch die *Informationsverfügbarkeit* wichtig, welche dem Fahrer Auskunft über den Zustand des Systems und eine erfolgreiche Handlung gibt.

C STEUERBARKEIT Der Benutzer muss in der Lage sein zu bestimmen, wie er die gesamte Aufgabe durchführen möchte, wobei nicht das System den Nutzer, sondern der Nutzer das System beherrschen soll.

D ERWARTUNGSKONFORMITÄT Der Fahrer hat gewisse Erwartungen an die Funktionsweise einer Schnittstelle. Diese stammen zum einen aus Erfahrungen mit ähnlichen Systemen und zum anderen aus erlernten Stereotypen, wie zum Beispiel dem Drehen im Uhrzeigersinn. Die Erwartungen müssen erfüllt sein um der Erwartungskonformität gerecht zu werden.

E FEHLERTOLERANZ Eine Fehlertoleranz ist gegeben, wenn kleine Fehler bei der Handhabung nur geringe oder überhaupt keine Korrektur des Systems nach sich ziehen. Im Zusammenhang mit **FAS** können folgende Fehler auftreten und sind daher bei der Gestaltung einer Schnittstelle zu berücksichtigen: *Informationsmangel, fehlende Wahrnehmung, Fehlinterpretation, Fehlentscheidung, fehlerhafte Ausführung.*

F INDIVIDUALISIERBARKEIT UND LERNFÖRDERLICHKEIT Unterschiedliche Fahrer haben unterschiedliche Fähigkeiten und Fertigkeiten, sowie unterschiedliche Erwartungen an ein **FAS**. Die Schnittstelle sollte daher idealerweise so gestaltet sein, dass eine Individualisierung seitens des Fahrers vorgenommen werden kann oder eine automatische Individualisierung des Systems entsprechend der Bedürfnisse des Nutzers erfolgt. Des weiteren sollte die Zeitspanne von der ersten Nutzung bis zur vollen Beherrschung des Systems möglichst kurz sein.

2.2.3 Gestaltungsprinzipien

Die sechs oben erklärten Gestaltungsleitsätze stellen übergeordnete Ziele bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen dar. In Bezug auf **FAS** kommen noch sechs Prinzipien zur Anwendung, welche entscheidend zum Erfolg eines Assistenzsystems beitragen [2]. Die vier wichtigsten, in Hinblick auf die Entwicklung einer **MMS** für einen Fahrstreifenwechselassistenten, werden hier in einer kurzen Übersicht erläutert.

A KONSISTENZ Kommen in einem Fahrzeug mehrere Assistenzsysteme zum Einsatz, sollten diese hinsichtlich Design und Schnittstellengestaltung konsistent sein. Dies verringert die Lernzeit, führt zu weniger Fehlern und beschleunigt Prozesse welche ausgeführt werden müssen. Ein Beispiel für eine konsistente Gestaltung ist die Ansicht des EGO Fahrzeugs. Wird dieses bei einem **ACC** System in der Heckansicht dargestellt, so soll dies auch für alle anderen Systeme bei denen eine

Darstellung des Fahrzeugs notwendig ist übernommen werden, um Verwirrung seitens des Nutzers zu vermeiden.

B BALANCE ZWISCHEN UNTERFORDERUNG UND ÜBERFORDERUNG Besonders bei Assistenzsystemen, welche große Bereiche der Fahrzeugführung übernehmen und diese automatisiert durchführen, ist es wichtig den Fahrer stets „In the Loop“ zu halten. Bei einem Fahrstreifenwechsellistenten heißt dies, dass der Nutzer jederzeit genügend Informationen zur Verfügung haben muss, um die Kontrolle des Fahrzeugs erneut problemlos übernehmen zu können. Dabei ist es besonders wichtig die Balance zwischen Unter- und Überforderung zu finden, da es bei zu vielen Informationen zu einer Überforderung des Fahrer kommen kann und der Vorteil des FAS, nämlich die Entlastung des Fahrers, verloren geht.

C ERZEUGUNG VON KOMFORT, ZUFRIEDENHEIT, JOY OF USE Die Interaktion des Nutzers mit einem FAS soll bei ihm Komfort und Zufriedenheit auslösen. Dabei ist besonders die Schnittstellengestaltung von entscheidender Bedeutung. Ist der Kontakt zu der Schnittstelle angenehm und die Bedienung intuitiv und leicht verständlich wird sich beim Fahrer ein Gefühl von „Joy of Use“ einstellen. Das ist besonders bei Systemen, welche vom Fahrer freiwillig aktiviert werden von entscheidender Bedeutung. Sollte der Fahrer keine Freude an der Benutzung des FAS haben, wird er es nur selten anwenden und das System wird keine Akzeptanz seitens des Nutzers erreichen.

D BETRACHTUNG DES GESAMTSYSTEMS Das Prinzip der Betrachtung des Gesamtsystems wird in Zukunft immer wichtiger werden, da der Trend dahin geht, immer mehr FAS in ein Fahrzeug zu integrieren. Es darf zu keinen Interferenzen zwischen den Schnittstellengestaltungen unterschiedlicher Assistenzsysteme kommen. Hinsichtlich der aktuellen Forschung am FTG ist dies ein besonders wichtiger Punkt, da zurzeit am Fahrsimulator schon mehrere Systeme, wie zum Beispiel ACC, LKA und FWA umgesetzt wurden.

2.2.4 Gestaltungsprozess

Basierend auf den erarbeiteten Gestaltungsleitsätzen und den Prinzipien zur Gestaltung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle kann nun der Gestaltungsprozess beginnen. War zuvor noch eine differenzierte Betrachtung von Bedienelementen und Anzeige möglich, so muss nun das System als ganzes betrachtet werden, um eine Gestaltung zu gewährleisten, welche dem Menschen und seinen komplexen Anforderungen gerecht wird. DIN EN ISO 9241-210 [7] liefert einen Leitfaden für die Entwicklung von MMS, welcher als iterativer Prozess durchlaufen werden kann.

Die Schritte 1 und 2 aus Abbildung 3 wurden in Zusammenarbeit mit dem FTG erarbeitet und festgelegt, Magna Steyr war in den Prozess auch maßgebend involviert. In Kapitel 4 werden die drei Varianten, welche im Rahmen dieser Arbeit für den FWA erarbeitet wurden, erläutert. Die Evaluation der unterschiedlichen Lösungen erfolgte im Rahmen einer Nutzwertanalyse deren Ergebnis im Kapitel

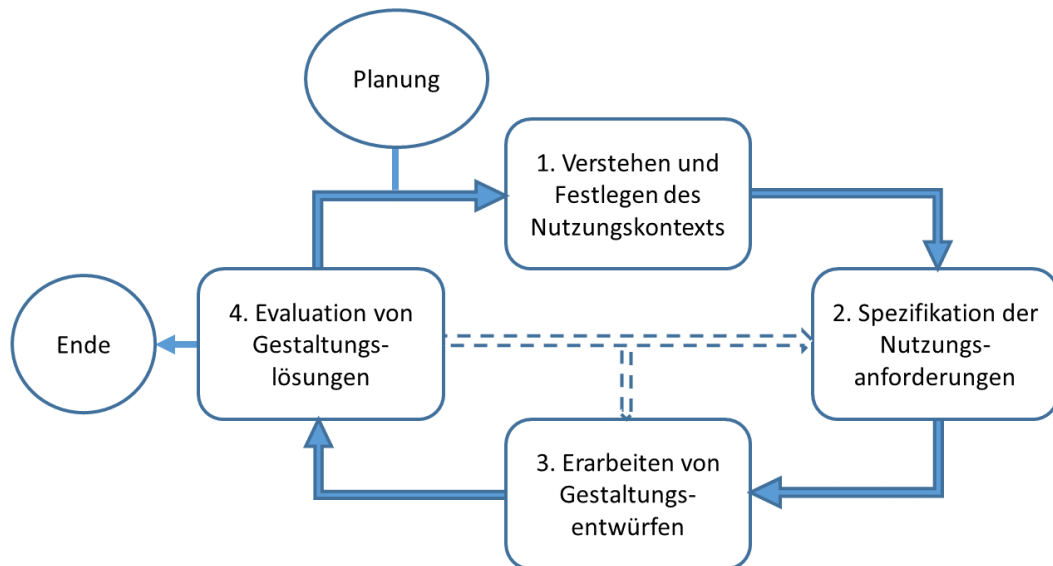


Abbildung 3: Darstellung des Gestaltungsprozesses interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 9241-210 [7]

5 beschrieben wird. Eine detaillierte Beschreibung des überarbeiteten Konzepts erfolgt in Kapitel 6. Probandenstudien im Fahrsimulator werden notwendig sein, um die gefundene Lösung weiter zu verbessern und ein möglichst optimal an den Menschen angepasstes Assistenzsystem zu entwickeln.

2.3 MEDIEN DER INFORMATIONSTRANSFER

Wie bereits oben (2.2.1) erwähnt, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten die Anzeige einer MMS zu gestalten und damit Informationen an den Fahrer zu übermitteln. Die drei Hauptkategorien sind dabei *visuell*, *auditiv* und *haptisch*. Im Folgenden wird auf Beispiele verschiedener FAS aus der Industrie und aus der Forschung eingegangen.

VISUELLE UMSETZUNG Der Sehsinn ist beim Autofahren sehr stark beansprucht, da der Fahrer bei der Fahrzeugführung vor allem auf den visuellen Kanal angewiesen ist. Für die Darbietung von Informationen bieten sich daher verschiedene Arten von Displays an. Das Kombiinstrument stellt dabei einen guten Platz für die Positionierung dar, so zum Beispiel bei dem *Active Lane Assist* von Audi [8], oder dem Autopiloten von Tesla [9]. BMW hat seinen *Driving Assistant* über einen eigenen Monitor in der Mittelkonsole verwirklicht [10], was den Vorteil von mehr Anzeigeraum mit sich bringt. Allerdings muss der Fahrer den Blick weiter abwenden, um auf das Display zu schauen.

Eine weitere Möglichkeit eine visuelle Anzeige zu verwirklichen ist mittels *Head-Up Display (HUD)*, welches die Informationen auf die Windschutzscheibe projiziert. Diese Technik kommt bereits bei einzelnen Herstellern zum Einsatz um die Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Navigationshinweise und verschiedene Informatio-

nen zu Assistenzsystemen anzuzeigen [11, 12]. Die Vorteile und das große Entwicklungspotential von HUDs werden in mehreren Studien dargelegt [13, 14]. Der Fahrer muss den Blick nicht mehr von der Fahrbahn abwenden und bekommt alle relevanten Informationen direkt im Blickfeld präsentiert. Es sieht so aus, als würden diese in einer Entfernung von etwa 2 Meter über der Fahrbahn schweben. Wichtig bei der Gestaltung von Schnittstellen welche ein HUD verwenden ist darauf zu achten, nur die wichtigsten Informationen einzublenden, um den Fahrer nicht negativ in der Fahrzeugführung zu beeinträchtigen. Durch HUDs können visuelle, mentale und manuelle Ablenkungen (durch notwendige Interaktionen) entstehen, welche immer gegenüber dem Sicherheits- und Komfortgewinn abgewogen werden müssen [15].

Bestimmte Warnsignale werden auch häufig visuell umgesetzt. Dafür bieten sich neben oben erwähnten Displays auch *Licht emittierende Dioden (LED)* an, welche in einer Gefahrensituation aufleuchten. Bereits Standard sind dabei Warnelemente welche im Seitenspiegel installiert sind (zum Beispiel ein rotes Dreieck) und den Fahrer auf gefährliche Situationen aufmerksam machen. Warnelemente in den Seitenspiegeln sind Teil des *Blind Spot Information System* von Volvo, des *Totwinkel Assistenten* von Mercedes Benz und des *Audi Side Assist*, um einige exemplarisch zu nennen [16, 17, 18, 19]. Ein interessanter Ansatz wurde auf der Technischen Universität Darmstadt im Rahmen des PRORETA 3 Projekts gewählt [20]. Dabei wurde eine ganze Reihe von LEDs in die Seitentüren des Fahrzeugs verbaut, um die Aufmerksamkeit des Fahrers ganz gezielt in Richtung der Gefahrenquelle zu lenken.

Optische Warnsignale sind allerdings mit Bedacht einzusetzen und gegebenenfalls durch akustische Warnsignale zu ergänzen. Im Forschungsprojekt *MueGenDriving* der Technischen Universität Graz wurde die relativ schlechte Eignung von optischen Warnsignalen bei Assistenzsystemen wie ACC und Automated Emergency Break (AEB) aufgezeigt [21].

AUDITIVE UMSETZUNG Akustische Signale eignen sich besonders gut um den Fahrer vor einer gefährlichen Situation zu warnen. Dafür werden sogenannte „Auditory Icons“ verwendet, zum Beispiel ein spezifischer Signalton oder ein Nagelbandrattern [16]. Vor allem wenn die visuelle Warnung nicht eindeutig ist, oder vom Fahrer leicht übersehen werden kann, darf nach ISO 17361 zusätzlich eine auditive Fahrerinformation erfolgen. Es wäre auch denkbar Warntöne auf Basis von Surround Sound einzuspielen, wodurch der Fahrer unmittelbar auf die Richtung aufmerksam gemacht wird, aus der sich die Gefahr nähert. Zum Beispiel wenn sich ein Auto im toten Winkel befindet und der Fahrer den Blinker setzt, könnte eine Warnung in Form eines Signaltons von links hinten ertönen.

Natürlich kann ein auditives Medium auch verwendet werden, um den Fahrer Anweisungen und Handlungsempfehlungen zu geben. Bei Navigationsgeräten ist das bereits allgemein üblich. Sollte es auch bei Assistenzsystemen zum Einsatz kommen, muss darauf geachtet werden, dass die Anweisungen auch gut verständlich sind. Eine Kopplung mit dem Infotainmentsystem wäre sinnvoll, um die Musik

eventuell leiser zu stellen oder abzuschalten, wenn wichtige Informationen auditiv übermittelt werden.

HAPTISCHE UMSETZUNG Haptische Fahrerinformationen können über verschiedenste Weise an den Fahrer übermittelt werden. Über einen aktiven Lenkeingriff mittels *Electronic Power Steering (EPS)* oder *Electronic Stability Control (ESC)*, durch eine Lenkradvibration, einen Ruck am Gurt oder sogar durch eine Vibration des Sitzes [16]. Der Vorteil dabei ist, dass das Signal sehr gut wahrgenommen wird und den Fahrer sofort in Aufmerksamkeit versetzt. Komplexe Informationen, zum Beispiel über die Kursführung, lassen sich dadurch jedoch nicht vermitteln.

Ein interessantes Forschungsgebiet bietet die Verwendung von haptischen Signalen für die Informationsübermittlung vom Fahrer an das Fahrzeug beziehungsweise das Assistenzsystem. Über Lenkrad, Hebel, Knöpfe und Touchscreens ist das bereits zu einem großen Teil verwirklicht. Am *Christian Doppler Laboratory* wird der Bereich auf der Rückseite des Lenkrads erforscht. Durch kapazitive Sensoren ist es möglich durch Menüs zu navigieren, zu schreiben und über verschiedenste Gesten spezifische Inputs zu geben [22, 23]. Der Fahrer muss die Hände dafür nicht vom Lenkrad nehmen und den Blick nicht von der Fahrbahn abwenden. Besonders in Kombination mit einem HUD birgt das Konzept ein großes Potential in sich das Ausführen von sekundären und tertiären Tätigkeiten deutlich sicherer zu machen. Takata setzt ebenfalls auf das Lenkrad als zentrale MMS und entwickelte daher ein interaktives Lenkrad, welches mit ergonomischen Schaltern und einem Touchpad die Bedienung einer zunehmenden Anzahl an Assistenz- und Infotainmentsystemen erleichtern soll [24].

2.3.1 Übersicht

In der nachfolgenden Tabelle 1, welche aus dem Handbuch für Fahrerassistenzsysteme [16] entnommen wurde, sind alle Varianten der Informationsübermittlung noch einmal übersichtlich zusammengefasst. Sie bezieht sich dabei ausschließlich auf den Informationsfluss vom Fahrzeug zum Fahrer und unterscheidet dabei ob die Information *deutlich*, *intuitiv*, *seiten-selektiv* und *exklusiv*, also nur für den Fahrer wahrnehmbar, ist. Dabei bedeutet „+“, dass das jeweilige Kriterium *gut erfüllt*, „o“ *bedingt erfüllt* und „-“ *nicht erfüllt* ist.

2.4 ALTERNATIVE ANSÄTZE ZU MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLEN

Neben den bereits aufgezeigten klassischen Umsetzungen von MMS gibt es auch technisch komplexere Ansätze, welche allerdings noch in der Erprobungsphase sind. Sowohl bei dem *Horse Mode* [25, 26] als auch bei *Conduct-by-Wire* [25, 27] wird versucht den Menschen gezielt in die zunehmende Automatisierung des Fahrzeugs einzubinden. Ein intelligentes System zu entwickeln, welches es dem Menschen je nach Bedarf ermöglicht aktiv in die Fahrzeugführung einzugreifen, oder nur als Passagier die Aktionen des FAS zu überwachen, ist das Ziel.

Dabei ist es besonders wichtig, wie bereits oben erwähnt (2.2.3), eine gute Balance

Fahrerinformation							
Art	Medium	Aktor	deutlich	intuitiv	seiten-selektiv	exklusiv	
Haptisch	Querführungseingriff	EPS-Lenkung	+	+	+	0	
		ESC	+	+	+	-	
	Lenkrad-Vibration	EPS-Lenkung	+	+	-	+	
		Vibrator	+	+	-	+	
	Gurt-Ruck	Gurtstraffer	+	0	-	+	
	Sitz-Vibration	Vibrator	0	0	+	+	
Auditiv	"Nagelband-Rattern"		+	+	+	-	
	spez. Info-Ton	Lautsprecher	+	0	+	-	
	Surround Sound		+	+	+	-	
	Gong, Summer	Kombiinstrument	+	0	-	-	
Visuell	Bild, Symbol		-	+	+	+	
	Kombiinstrument / Monitor		-	+	+	+	
	Head-up-Display		-	+	+	+	
		LED Seitenspiegel	-	+	+	-	

Tabelle 1: Übersicht aller möglichen Medien eine Fahrerinformation weiterzugeben [16]

zwischen Über- und Unterforderung zu finden. Der Fahrkomfort soll steigen, komplexe Manöver für den Nutzer übernommen werden und ein Gefühl von „Joy of Use“ entstehen. Gleichzeitig muss der Fahrer stets „In the Loop“ gehalten werden, das heißt er muss jederzeit in der Lage sein das System zu übersteuern und die volle Kontrolle über das Fahrzeug (zurück) zu erlangen.

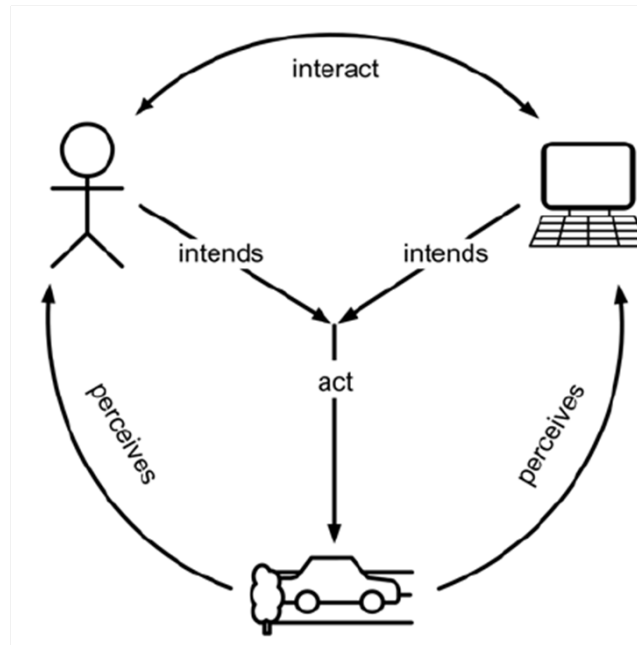


Abbildung 4: Veranschaulichung des Konzepts von *cooperative guidance and control* [28]

Ein Begriff der in diesem Zusammenhang besonders wichtig ist, ist *cooperative guidance and control* [25]. Damit ist gemeint, dass in dem System von Fahrer, Computer (FAS) und Fahrzeug, der Mensch und der Computer Partner in der Fahrzeugführung sind, das Zusammenspiel ist in Abbildung 6 ersichtlich. Je nach Erfordernissen der Situation übernimmt einer von beiden mehr Verantwortung in der Erfüllung der Fahraufgabe. Sowohl der Mensch als auch das Assistenzsystem können Impulse in der Lenkung des Fahrzeugs übernehmen, wobei der Mensch stets das FAS übersteuern kann. Im Folgenden werden zwei Ansätze betrachtet, die versuchen all diesen komplexen Anforderungen gerecht zu werden.

2.4.1 Horse Mode

Der *Horse Mode* bedient sich der Metapher vom Zusammenspiel des Kutschers mit dem Karren samt Pferd [25]. In dem Bild entspricht der Kutscher dem Lenker des Fahrzeugs, der Karren dem Fahrzeug und das Pferd stellt das Assistenzsystem mit einem gewissen Grad an Intelligenz dar. So ist das Pferd in der Lage die Spur zu halten, auch wenn der Kutscher die Zügel aus der Hand gibt.

Entsprechend der Metapher wurden drei Zustände definiert, welche das Verhältnis zwischen dem Fahrer und dem FAS, basierend auf dem momentanen Aktivitätsstatus des Fahrzeuglenkers, beschreiben [25]. Vor allem das haptische Feedback

seitens des Fahrers (Druck auf das Lenkrad) dient dem System dazu festzustellen, wie „fest der Fahrer die Zügel in der Hand“ hat [26]. Im Zuge dieser Arbeit wurden daraufhin drei Modi für einen Fahrstreifenwechselassistenten erarbeitet, welche die drei Zustände *Tight Rein*, *Loose Rein* und *Secured Rein* definieren (4.2). Abbildung 5 gibt eine Übersicht über die Einordnung der drei Modi hinsichtlich des Automationsgrades, von nieder- bis hoch-automatisiert. Die Idee ist, dass das System am Verhalten des Fahrers erkennt, wie aktiv dieser momentan in der Fahrzeugführung ist und welchen Grad an Assistenz er in der jeweiligen Situation benötigt. In Kapitel 4 wird noch näher auf die Unterscheidung und die Bedeutung der einzelnen Modi eingegangen.

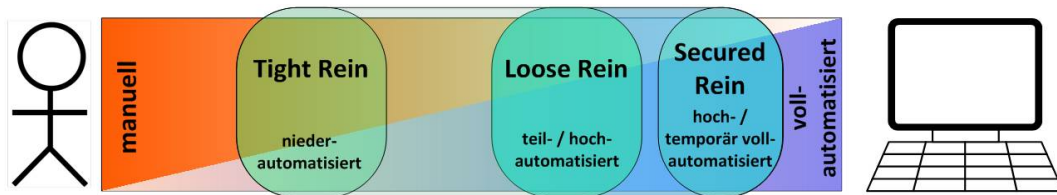


Abbildung 5: Graduelle Einteilung der Automation [29]

2.4.2 Probandenstudie zum H-Mode

Eine Studie mit 10 Probanden hat ergeben, dass das Konzept sehr gut von Nutzern angenommen wird [25]. Die Versuchsteilnehmer beschrieben das System als leicht zu erlernen und zu verstehen. Es wurde auf wichtige Aspekte wie mentale Belastung, Ausübung sekundärer Fahraufgaben und Durchführung von Überholmanövern geachtet. Die Ergebnisse zeigten, dass eine deutliche Entlastung der mentalen Beanspruchung im *Tight Rein* und noch stärker im *Loose Rein* Modus auftrat. So konnten sich die Fahrer besser auf die sekundären Fahraufgaben konzentrieren. Obwohl der Fahrer mehr mentale Kapazität zur Verfügung hat und sich nicht allzu stark auf die Lenkung des Fahrzeugs an sich konzentrieren muss, ist er dennoch stets „In the Loop“. Vor allem im Vergleich zu anderen vollautomatisierten Systemen ist die Reaktionszeit des Fahrer im Falle eines Ausfalls des Assistenzsystems auch im *Loose Rein* Modus deutlich kürzer.

2.4.3 Conduct-by-Wire

Conduct-by-Wire (CbW) basiert auf der Idee, dass die Fahrzeugführung mittels eines Manöverkatalogs umgesetzt wird [27]. Durch eine übersichtliches Graphical User Interface (GUI), wie in Abbildung 6 dargestellt, können vom Fahrer verschiedene Manöver ausgewählt werden, welche vom Assistenzsystem daraufhin automatisch durchgeführt werden. Im Lenkrad ist ein Touchscreen eingebaut, welcher alle Manöver darstellt und mittels welchem der Nutzer das gewünschte Manöver auswählen kann. Die Auswahl wird durch ein Vibrationsfeedback bestätigt.



Abbildung 6: Darstellung des GUI von *Conduct-by-Wire* [27]

2.4.3.1 Vorteile

Das Konzept der Autoführung mittels dem Auswählen von Manövern bringt einige Vorteile mit sich. Zum einen ist das Prinzip der *Konsistenz* perfekt erfüllt; alle Assistenzsysteme und jede Fahraufgabe sind in einem Interface zusammengefasst, wodurch der Fahrer einen guten Überblick behält. Durch die sinnvolle Gruppierung in einem GUI muss der Nutzer nicht erst überlegen, wo er welches Assistenzsystem aktiviert und wie es bedient wird. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Fahrer von allen stabilisierenden Tätigkeiten weitgehend befreit wird [27]. Vor allem wenn der Fahrer müde, unkonzentriert, unaufmerksam oder auf eine andere Weise beeinträchtigt ist, reduziert die Manöver-basierte-Steuerung das Unfallrisiko deutlich.

Durch *CbW* werden auch die hohen Ansprüche an die motorischen und kognitiven Fähigkeiten des Menschen bei der Steuerung eines Fahrzeugs deutlich reduziert. In einer perfekten Version von *CbW*, ist keine lange Lern- und Eingewöhnungszeit für das Autofahren mehr notwendig. Allerdings birgt das auch die Gefahr in sich, dass der Fahrzeuglenker im Falle eines Versagens des Systems mit der Situation überfordert sein könnte.

Der letzte Vorteil besteht darin, dass Autofahrer grundsätzlich in Zielen denken und nicht in motorischen Tätigkeiten, die es auszuführen gilt. Die Übersetzung von meinem Ziel (ich möchte rechts abbiegen) in die motorische Tätigkeit (Fuß vom Gaspedal nehmen, Blinker setzen und Lenkrad einschlagen) fällt also weg. Dadurch fühlt sich die Interaktion mit dem *FAS* und die Steuerung des Fahrzeugs sehr natürlich an.

2.4.3.2 Beispiel: Fahrstreifenwechsel nach rechts

Anhand des Beispiels „Fahrstreifenwechsel nach rechts“ [27] soll veranschaulicht werden wie das System als ganzes funktioniert. In der Abbildung 6 ist das GUI mit allen Manövern abgebildet, das mittlere, „Spur halten“ ist dabei durch einen leuchtenden Rahmen hervorgehoben. Befindet sich das System in diesem Status, wird einfach die Spur und die Geschwindigkeit gehalten, alle anderen Manöver, symbolisiert durch die Icons, sind inaktiv gesetzt. Nun läuft im Hintergrund in einer Schleife permanent die Überprüfung, ob ein rechter Fahrstreifen vorhanden ist. Sollte sich das als „wahr“ herausstellen, so wird das Icon für den „Fahrstreifenwechsel nach rechts“ (rechts neben „Spur halten“ abgebildet) aktiv gesetzt.

Der Fahrer kann sich nun entscheiden, einen Fahrstreifenwechsel nach rechts durchzuführen. Möchte er dies tun, muss er den Wunsch für den Fahrstreifenwechsel durch einen Druck auf das betreffende Icon dem Assistenzsystem mitteilen. Ist dies erfolgt, beginnt ein Timer zu laufen, welcher von Null beginnend die Sekunden zählt. Gleichzeitig wird in einer Schleife immer wieder überprüft, ob der rechte Fahrstreifen frei ist und eine gefahrloser Fahrstreifenwechsel möglich ist. Sind sieben Sekunden seit dem äußern des Wunsches für den Fahrstreifenwechsel vergangen und das Wechseln der Spur war noch nicht möglich, beginnt ein neuer Timer, welcher zehn Sekunden zählt. Auf einem HUD wird das Fahrstreifenwechselsymbol nun blinkend dargestellt, womit dem Fahrer signalisiert wird, dass er seinen Wunsch für den Fahrstreifenwechsel erneut bestätigen muss. Geschieht dies nicht innerhalb der zehn Sekunden wechselt das Assistenzsystem wieder in den „Spur halten“ Modus, bis weiter Anweisungen seitens des Fahrers kommen.

Erkennt das System innerhalb der vorgegebenen Zeit, dass der rechte Fahrstreifen frei ist, so wird der Fahrstreifenwechsel automatisch durchgeführt. Nun wird das Symbol für den „Fahrstreifenwechsel nach rechts“ für die Zeit des Fahrstreifenwechsels leuchtend umrandet dargestellt. Nach Beenden des Fahrstreifenwechsels wechselt das System wieder in den „Spur halten“ Modus.

AUTOMATION

Mit immer weiter entwickelten FAS nimmt die Automation des Fahrzeugs stark zu und wird in Zukunft ein großes Thema in der gesamten Automobilindustrie sein. Tesla hat bereits seinen ersten Autopiloten auf den Markt gebracht, Google arbeitet an der Entwicklung des voll automatisierten Fahrzeugs. Assistenzsysteme spielen auf dem Weg hin zur vollen Automation eine zentrale Rolle, Schritt für Schritt übernehmen sie vermehrt Aufgaben welche früher vom Fahrer ausgeführt werden mussten. Das bedeutet zum einen einen großen Komfortgewinn für den Fahrer, birgt zum anderen aber auch eine Gefahr in sich. Im Sinne einer menschenzentrierten Automation gilt es die Frage zu klären, wie entschieden werden kann, welche Bereiche in der Fahrzeugführung und bis zu welchem Grad diese automatisiert werden können und sollen. Im Hinblick auf die Entwicklung der MMS für den FWA spielt das Thema Automation eine zentrale Rolle und wird daher im Folgenden genauer betrachtet.

3.1 LEVEL DER AUTOMATION

Zunächst soll Automation definiert werden, und zwar als *ein System, welches Funktionen welche vormals von einem Menschen ausgeführt wurden teilweise oder ganz übernimmt* [30]. Des Weiteren werden zehn Level der Automation festgelegt, um den fließenden Übergang von geringer bis zu sehr hoher Automation zu veranschaulichen [31]. Die zehn Level sind in Abbildung 7 erklärt.

Automation Level	Automation Description
1	The computer offers no assistance: human must take all decision and actions.
2	The computer offers a complete set of decision/action alternatives, or
3	narrows the selection down to a few, or
4	suggests one alternative, and
5	executes that suggestion if the human approves, or
6	allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
7	executes automatically, then necessarily informs humans, and
8	informs the human only if asked, or
9	informs the human only if it, the computer, decides to.
10	The computer decides everything and acts autonomously, ignoring the human.

Abbildung 7: Darstellung der 10 Level der Automation nach Sheridan und Verplank [32]

Bei Level 1 hat der Mensch die volle Kontrolle, das System bietet keinerlei Unterstützung an. Mit steigendem Level der Automatisierung nimmt der Einfluss des Systems immer mehr zu und die Handlungsspielraum des Menschen immer mehr ab (siehe 7). In den mittleren Level werden Entscheidungen bereits vom System getroffen und ausgeführt, solange der Nutzer kein Veto einlegt. Hat die Automation ein sehr hohes Level erreicht wird der Mensch lediglich noch über die Handlungen des Systems informiert, auf dem höchsten Level findet nicht einmal mehr die Information des Nutzers statt.

Im Zuge dieser Arbeit wurde ein Assistenzsystem entwickelt, welches eine Automation des Levels 7 aufweist. Davor galt es zu klären, welche Teilbereiche des FWA bis zu welchem Grad automatisiert werden sollten. Die Aufgaben die ein Assistenzsystem übernehmen kann wurden dabei mit Hilfe eines Modells in vier Bereiche aufgeteilt, und zwar in *Informationsbeschaffung*, *Informationsanalyse*, *Entscheidung* und *Aktion* [31].

A INFORMATIONSBESCHAFFUNG Mit Informationsbeschaffung ist das Wahrnehmen, Speichern und Präsentieren von bestimmten Daten gemeint. Bei einem FAS könnte dies das Erkennen des Fahrstreifenverlaufs und anderer Verkehrsteilnehmer sowie Verkehrszeichen sein. Auf einem niedrigen Level der Automation werden diese Daten lediglich gespeichert oder dem Fahrer ungefiltert zur Verfügung gestellt. Auf höheren Level kann bereits eine Reihung nach Priorität der Informationen, ein Hervorheben oder eine Gruppierung nach deren Art erfolgen. Mit zunehmenden Grad der Automatisierung werden Informationen auch gefiltert und der Fahrer erhält nicht den vollen Umfang aller zur Verfügung stehender Daten.

B INFORMATIONSANALYSE Automation der Informationsanalyse meint, dass Daten automatisch analysiert werden und darauf basierend mit zunehmender Automatisierung auch Vorhersagen getroffen werden. Erhält das Assistenzsystem zum Beispiel Positions-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsdaten eines vorbeifahrenden Autos, kann dessen voraussichtliche Fahrbahn bestimmt werden. Ein anderes Beispiel wäre ein Navigationsgerät, welches aufgrund von Durchschnittsgeschwindigkeit, aktueller Verkehrslage und Zielort eine Ankunftszeit für den Fahrer errechnet.

C ENTSCHEIDUNG Dieser Bereich der Automatisierung lässt sich sehr gut mit der Tabelle von Sheridan 7 beschreiben. Auf einem sehr hohen Level der Automation wird aus unterschiedlichen Handlungsalternativen, die vom System als beste Alternative erachtete ausgewählt. Ein Beispiel kann in der Routenplanung für Piloten gefunden werden, wo automatisch die bestmögliche Route zur Unwettervermeidung vorgeschlagen wird, der Pilot allerdings die Freiheit hat den Vorschlag zu ignorieren. Um gute Entscheidungen zu treffen, muss im System ein Rechenmodell integriert sein, mit welchem sich der Ausgang verschiedener Entscheidungen möglichst genau vorhersagen und der Schaden im Falle einer Fehlentscheidung berechnen lassen kann.

D AKTION Bei der letzten Stufe der Automation handelt es sich um die tatsächliche Ausführung der zuvor getroffenen Entscheidung. Dabei erfolgen maschinelle Handlungen, welche ansonsten typischerweise menschliche Handlungen, die mit der Hand oder im Falle von **FAS** auch mit dem Fuß ausgeführt werden, ersetzen. Klassische Beispiele wären der Tempomat oder auch das **ACC**, Systeme die die Geschwindigkeitsregelung übernehmen, welche ansonsten der Fahrer mit dem Fuß steuert. Der **LKA** hält die Spur und nimmt dem Menschen die manuelle Fahrzeugführung mittels Lenkrad ab. Im Bereich der automatisierten Aktion gibt es einen fließenden Übergang der Grade der Automatisierung, je nachdem wie stark das Assistenzsystem in die Fahrzeugführung eingreift und in welchem Maß es dem Mensch Aufgaben abnimmt.

3.2 BESTIMMUNG DES LEVELS DER AUTOMATION

In Abbildung 8 ist ersichtlich, wie die Level der Automation für ein bestimmtes System festgelegt werden und welche Kriterien zu einer fundierten Entscheidung führen können. Nachdem der Typ der Automation festgelegt wurde, werden bestimmte Kriterien angewandt, um zu bestimmen, ob das gewählte Level der Automation gut gewählt wurde. Parasuraman et al. [31] beschreiben vier primäre und zwei sekundäre Kriterien die berücksichtigt werden sollen, wobei die Liste nicht erschöpfend ist. Für die Entwicklung des **FWA** ist das sehr interessant, da in allen Teilbereichen der Automation geklärt werden muss, in wie weit diese automatisiert werden sollen. Vor allem die Bereiche *Entscheidung* und *Aktion* sind dabei zu beachten, da hier Fehler schwere Folgen nach sich ziehen können.

PRIMÄRE KRITERIEN Die primären Kriterien beschäftigen sich mit allen Auswirkungen die eine Automation auf die menschliche Leistungsfähigkeit haben könnte. Als erstes ist die *mentale Belastung* zu nennen, welche durch die Automatisierung deutlich verringert werden sollte, was normalerweise auch der Fall ist. Durch eine schlechte Umsetzung kann aber auch das Gegenteil eintreten, wenn der Mensch zum Beispiel mit Informationen überflutet wird, oder die Bedienung des Systems sehr aufwendig und schwer zu erlernen ist. Des Weiteren ist zu beachten, dass das *Situationsbewusstsein* nicht durch die Automatisierung verloren geht. Besonders wenn vom System viele Entscheidungen getroffen werden, ohne dem Fahrer genügend Informationen zu liefern diese nachvollziehen zu können, kann das zu einer mangelhaften Situationseinschätzung führen. Durch eine sehr starke Automatisierung kann es auch zu einer gewissen *Bequemlichkeit* seitens des Nutzers kommen. Vor allem wenn das System in den meisten Fällen sehr gut funktioniert und selten versagt besteht die Gefahr, dass der Fahrer nicht auf den Ausfall vorbereitet ist, da er sich zu sehr auf das System verlässt (*Complacency Effect*). Der letzte Punkt ist das *Verlernen von Fähigkeiten*, was wiederum durch ein sehr hohes Level an Automation eintreten kann. Werden die meisten Entscheidungen permanent von einem Assistenzsystem getroffen und auch ausgeführt, könnte der Fahrer auf

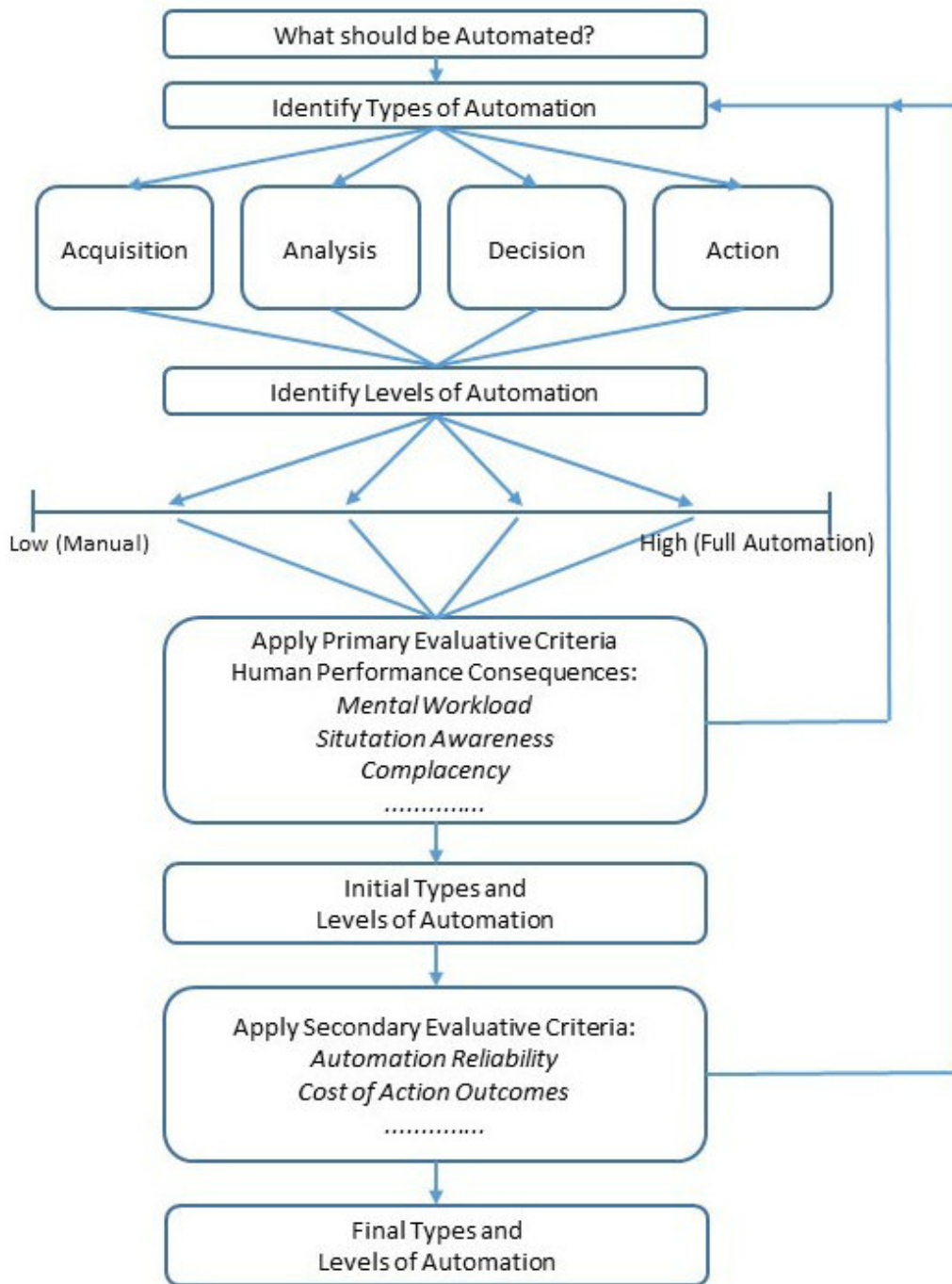


Abbildung 8: Prozess zur Festlegung des Levels der Automation [31]

Dauer Defizite in der Fahrzeugführung aufweisen und mit schwierigen Situation überfordert sein, da ihm die nötige Praxis fehlt.

SEKUNDÄRE KRITERIEN Als sekundäre Kriterien sind *Verlässlichkeit der Automation* und *Folgen von Fehlentscheidungen und Fehlaktionen* zu nennen, welche sich beide auf die Automation an sich beziehen. Alle oben erwähnten primären Folgen können außer Acht gelassen werden, wenn die Automation an und für sich nicht verlässlich ist. Der Nutzer wird kein Vertrauen in das System entwickeln und es daher auch nicht benutzen, wenn es nicht verlässlich ist. Eng damit zusammen hängen die Folgen von Fehlentscheidungen und fehlerhaft ausgeführten Aktionen. Gerade im Bereich der **FAS** ist es von enormer Wichtigkeit, dass die Folgen im Falle einer Versagens des Systems nicht schwerwiegende Konsequenzen für den Nutzer haben. Daher bedarf es vieler Studien und einer ausführlichen Testphase, um Fehler zu vermeiden und die Schwere der Folgen zu minimieren.

3.3 SAE SKALA FÜR FAHRZEUGAUTOMATION

In Abbildung 9 ist die spezifische Einteilung in die Level der Automation nach der SAE Skala zu sehen, welche seit Jänner 2014 gilt. Diese Skala ist auf Fahrerassistenzsysteme zugeschnitten und bietet eine gute Möglichkeit für eine automationsbezogene Klassifizierung verschiedener Assistenzsysteme [33]. Der große Vorteil daran ist, dass ein Diskurs über Automation über die Grenzen der Industrie in Politik, Medien und Gesellschaft leicht möglich ist. Durch die Festlegung der einzelnen SAE Level ist eindeutig definiert, zu welchem Grad ein System automatisiert ist. Der ihm Rahmen dieser Arbeit entwickelte **FWA** wäre auf dieser Skala dem Level 3 zuzuordnen.

Die Klassifizierung erfolgt nach vier Unterscheidungsebenen, welche entweder vom Fahrer oder vom System übernommen werden. Diese Ebenen sind die *Quer- und Längsführung*, die *Umgebungsbeobachtung*, die *Rückfallebene* und *Systemverantwortlichkeit*. Ein entscheidender Schritt hin zur Automation erfolgt von Level 2 auf Level 3. Auf Stufe 3 übernimmt das System sowohl die Quer- und Längsführung des Fahrzeugs, als auch die Umgebungsbeobachtung. Der Fahrer stellt noch die Rückfallebene dar, was in Level 4 und 5 auch nicht mehr der Fall ist. Level 5 stellt die vollständige Automation dar, das System ist für alle Fahrtätigkeiten verantwortlich.

Ein Nachteil an dieser Skala ist, dass der Verlauf der Automation linear dargestellt wird, wonach bestimmte Aufgaben der Fahrzeugführung sukzessive vom **FAS** übernommen werden. In der Praxis tritt aber zumeist kein fließender Verlauf der Automation so wie er hier dargestellt wird ein. Wie bereits oben beschrieben gibt es unterschiedlichste Bereiche in der Fahrzeugführung welche zu einem unterschiedlichen Grad automatisiert werden können. Daher muss bei der Entwicklung und vor allem beim Zusammenspiel mehrerer, unterschiedlicher **FAS** auf das Gesamtbild, im Sinne einer menschenzentrierten Automation, geachtet werden. Für eine allgemeine, auch branchenübergreifende Verständigung ist die Skala jedoch sehr gut geeignet.

SAE Level	SAE name	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving enviroment	Fallback performance of dynamik driving task	System capability (driving modes)
<i>Human driver monitors the driving enviroment</i>		Human driver	Human driver	Human driver	n/a
0	No Automation				
1	Driver Assistance	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
<i>Automated driving system monitors the driving enviroment</i>		System	System	Human driver	Some driving modes
3	Conditional Automation				
4	High Automation	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	System	System	System	All driving modes

Abbildung 9: Level der Automation nach der SAE Skala [34]

3.4 AUTOPILOT VON TESLA

Mit den Modellen S und X bietet Tesla [9] Fahrzeuge mit integriertem Autopiloten an. Damit sind sie Pioniere auf dem Weg zur Vollautomatisierung des Autos. Vom Hersteller wird allerdings ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei dem angebotenen Assistenzsystem lediglich um eine Beta Version handelt und das Auto noch nicht komplett autonom fährt, beziehungsweise fahren kann. Nach den Level der Automation nach Sheridan (siehe Abbildung 7) handelt es sich hierbei um eine Automation des Levels 7, das Fahrzeug übernimmt selbständig Aufgaben der Fahrzeugführung. Auf der SAE Skala (siehe Abbildung 9) ist das FAS schwer einzuordnen, da es eine sehr kurze Übernahmezeit hat. Es wird sich daher zwischen Level 2 und 3 befinden.

Auf der Autobahn vereint das Fahrzeug gleich mehrere Assistenzsysteme im Autopiloten. Zum einen wird die Wunschgeschwindigkeit gehalten und bei hoher Verkehrsdichte entsprechend angepasst. Zum anderen werden die Spur und der Abstand zum Vorderfahrzeug gehalten. Der Autopilot wird durch zweimaliges ziehen am Tempomat-Hebel eingeschaltet und funktioniert bis zu einer Geschwindigkeit von 150 km/h. Möchte der Fahrer einen Fahrstreifenwechsel durchführen, so muss er lediglich den Blinker betätigen und das Lenkrad einen kurzen Moment berühren.

MMS DESIGN Das zentrale Bedienelement für diverse Fahrzeugfunktionen und Infotainmentsysteme stellt ein mittig montierter 17-Zoll-Touchscreen dar (siehe Abbildung 10). Über diesen werden auch wichtige Fahrzeuginformationen übermit-

telt. Navigationsinformationen und Informationen zum Verkehr sowie zu den FAS werden auch über das als Display verwirklichte Kombiinstrument dargestellt.

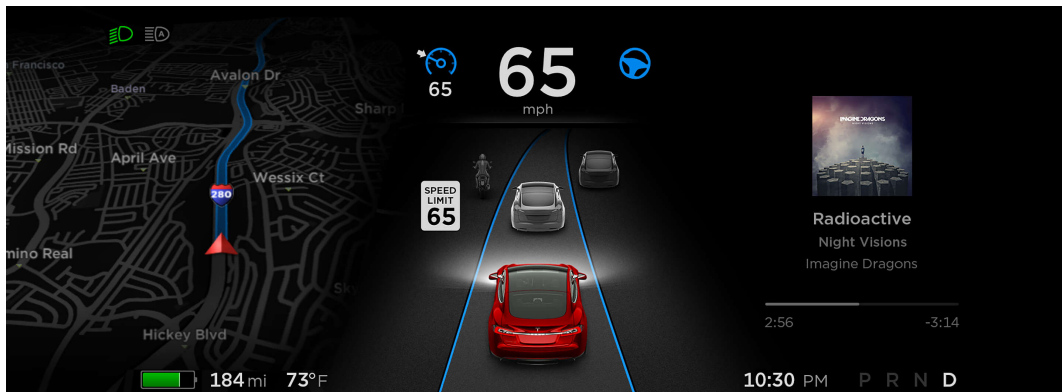


Abbildung 10: Design des Kombiinstrument von Tesla [9]

OFFENE FRAGEN Anfang Mai 2016 gab es einen tödlichen Unfall in Florida [35], wobei der Autopilot des Modell S aktiviert war. Das Assistenzsystem erkannte auf einer Kreuzung einen abbiegenden LKW nicht und fuhr unter den Anhänger des Fahrzeugs. Die weiße Seite des LKWs wurde Ermittlungen zur Folge für ein hoch hängendes Autobahnschild gehalten und daher nicht erkannt. Der Fahrer reagierte in der Situation auch in keiner Weise.

Kritiker sagen Tesla solle den Autopiloten vom Markt nehmen, da er sich noch in der Beta Phase befindet und keine ausreichende Sicherheit gewährleisten kann. Es wurden noch keine Milliarde Meilen unter normalen Straßenbedingungen mit dem Assistenzsystem gefahren. Obwohl der Fahrer immer wieder aufgefordert wird die Hände am Lenkrad zu halten und den Verkehr zu beobachten zeigt die Praxis, dass allgemein ein zu großes Vertrauen in die Technik vorherrscht. Der irreführende Name *Autopilot* verleitet auch zu der Annahme, dass das Fahrzeug bereits vollkommen autonom fahren kann und keine Leistung seitens des Nutzers mehr erbracht werden muss. In Zukunft wird bei der Entwicklung immer automatisierterer Assistenzsysteme besonders auf den Sicherheitsaspekt und eine ganzheitliche Einbindung des Fahrers geachtet werden müssen. Dieser soll jederzeit in der Lage sein erneut die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen und muss sich stets der Situation bewusst sein, in der er sich momentan befindet.

Google hat sich bewusst für einen anderen Ansatz auf dem Weg hin zum voll automatisierten Fahren entschieden [36]. In der Vergangenheit wurde erkannt, dass sich Fahrer trotz Warnungen viel zu schnell auf die Automatik verlassen und die Hände vom Lenkrad nehmen (*Complacency-Effekt*). Daher möchte Google nicht mit einem halbautomatischen System in die Beta-Test-Phase gehen, sondern zuerst ein voll automatisiertes Fahrzeug entwickeln und erst dann auf den Markt bringen. Zu diesem Zweck werden unter Verwendung eines Testfahrers ständig Fahrerprobungen durchgeführt und die Assistenzfunktionen laufend verbessert.

ERARBEITUNG VON KONZEPTIDEEN

Die aus der Literaturrecherche gewonnenen Erkenntnisse wurden bei einem ersten Brainstorming mit *Magna Steyr* präsentiert. Bei diesem Treffen wurde die weitere Vorgehensweise besprochen und verschiedene Klassen von **FWAs** definiert. Diese unterscheiden sich je nach dem Grad der Automatisierung. Der entscheidende Unterschied zwischen einem *LCA I* und einem *LCA II* System besteht darin, dass bei einem *Lane Change Assist (LCA)* vom Typ II bereits ein *decision making modul* integriert sein muss. Das System beobachtet also nicht mehr lediglich die Umgebung und warnt den Fahrer gegebenenfalls, sondern trifft auch Entscheidungen über die Durchführung möglicher Fahrstreifenwechsel. Je nach Unterkategorie agiert das Assistenzsystem dabei mehr oder weniger autonom. In Tabelle 2 wird ein Überblick der Klassifikation gegeben wie sie von *Magna Steyr* und dem **FTG** vorgenommen wurde, *LCA* steht dabei für die englische Bezeichnung *Lane Change Assist*.

LCA I	Kombination aus Blindspot-monitoring und Closing Vehicle Warning. Warnt den Fahrer wenn dieser einen Spurwechsel durchführen möchte, obwohl die Gefahr einer Kollision besteht.
LCA II	
A	Gibt Vorschläge für den Fahrstreifenwechsel.
B	Gibt Vorschläge für den Fahrstreifenwechsel und führt diese, nach Bestätigung des Fahrers, autonom aus.
C	Informiert den Fahrer über Fahrstreifenwechselmanöver und führt diese ohne Bestätigung autonom aus.

Tabelle 2: Überblick der verschiedenen Arten von **FWAs**

Basierend auf der getroffenen Klassifikation wurden drei Konzepte für eine **MMS** eines **FWA** ausgearbeitet. Hierbei wurde nur der Typ II behandelt, da dieser am fortschrittlichsten und für zukünftige Projekte am attraktivsten ist. Der wesentliche Unterschied der drei Konzepte besteht im Grad der Automatisierung und im Design der **MMS**. Hierbei gibt es starke Anlehnungen an den bereits beschriebenen *Horse Mode* und verschiedene Forschungen zu **CbW**.

Die Konzepte wurden nicht bis ins letzte Detail ausgearbeitet, da es in erster Linie darum ging eine Vorstellung von möglichen Lösungen für die **MMS** zu bekommen. Die erarbeiteten Varianten wurden in weiterer Folge einer Nutzwertanalyse unterzogen und dienten als Basis für das finale Konzept. Im Folgenden werden die drei Konzepte beschrieben.

4.1 KONZEPT A: INFORMATIVER UND WARNENDER FWA

Das erste und einfachste System erfüllt eine rein informative und warnende Aufgabe, das Funktionsschema wird in Abbildung 11 dargestellt. Ein *Head-Up Display (HUD)* gibt allgemeine Informationen über die Verkehrssituation um das Ego-Fahrzeug. Andere Verkehrsteilnehmer werden dabei durch blaue Felder vor, hinter und seitlich des Zentrums angezeigt. Das Design ist angelehnt an Stefan Habenicht, welches er in seiner Dissertation [37] näher beschreibt. Mögliche Fahrstreifenwechselmanöver werden durch einen Pfeil links oder rechts des Zentrums angezeigt. Ein Doppelpfeil vor und hinter dem Oval welches das Ego-Fahrzeug symbolisiert gibt Auskunft über das notwendige Beschleunigungsverhalten in Längsrichtung, sodass der Fahrstreifenwechsel erfolgreich durchgeführt werden kann.

LCA VARIANTE A

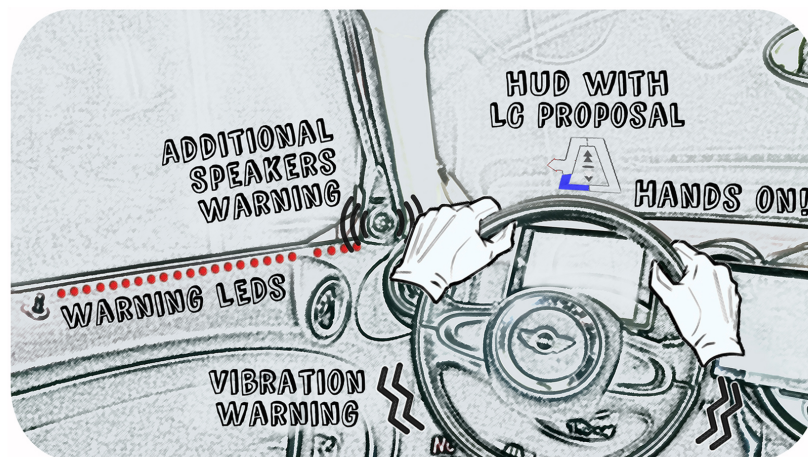


Abbildung 11: Komponenten der Variante A für das MMS Konzept

Sollte ein Fahrstreifenwechsel nicht gefahrlos möglich sein und der Fahrer lenkt dennoch in die entsprechende Richtung, erfolgt eine Warnung an den Fahrer. Diese erfolgt auf visueller, haptischer und auditiver Ebene. Gemäß ISO 17361 „(...) ist eine einfach wahrnehmbare haptische und/oder akustische Warnung vorzusehen. (...) Falls die haptische und/oder akustische Warnung nicht dazu konzipiert ist, eine Richtung anzuzeigen, dann darf ein visueller Hinweis genutzt werden, um die Warnung zu ergänzen.“ [16].

Die Lautsprecher geben einen gut wahrnehmbaren Ton von sich und das Lenkrad vibriert gleichzeitig. Dadurch ist gewährleistet, dass der Fahrer sicher auf die Situation aufmerksam gemacht wird. Das akustische Signal kann Seiten-selektiv wahrgenommen werden. Sollte der Fahrer allerdings schwerhörig oder anderweitig in seiner Wahrnehmung beeinträchtigt sein, könnte er mit der Zuordnung Probleme haben. Daher unterstützt das HUD die Warnung. Der Pfeil, welcher normalerweise einen möglichen Fahrstreifenwechsel anzeigt, färbt sich in einer Gefahrensituation rot und ermöglicht somit eine eindeutige Zuordnung der Gefahrenquelle. Zusätz-

lich leuchten eine Reihe von roten LEDs auf der betreffenden Seite auf. Der Vorteil dabei ist, dass der Blick des Fahrers sogleich in die Richtung der drohenden Gefahr, in diesem Fall ein herannahendes Fahrzeug, gelenkt wird [38].

4.2 KONZEPT B: HALB-AUTOMATISIERTER FWA

Das zweite Konzept ist in der Automatisierung schon weit fortgeschritten. Es basiert sehr stark auf einer Studie zum *Horse Mode* [39], welche beschreibt wie mehrere Assistenzsysteme in einer Gesamtlösung eines intelligenten Systems zusammengeführt werden können. Das Konzept ist in Abbildung 12 ersichtlich.

LCA VARIANTE B

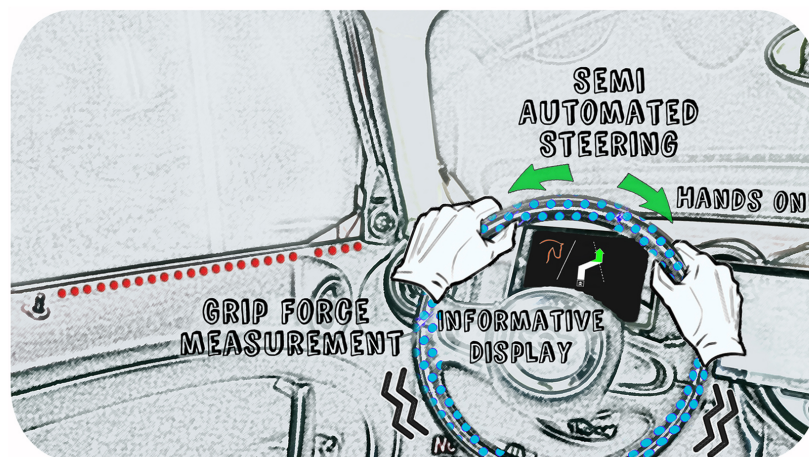


Abbildung 12: Komponenten der Variante B für das MMS Konzept

Die zugrundeliegende Idee ist, dass das System automatisch erkennt wie aktiv der Fahrer momentan in der Fahrzeugführung ist - basierend auf der Analogie vom Kutscher und dem Pferd. Das Auto entspricht in diesem Bild dem Pferd, welches eine gewisse Intelligenz hat und in der Lage ist von alleine eine bestimmte Richtung zu halten. Hat der Kutscher, im übertragenen Sinne also der Fahrer, die Zügel locker in der Hand, hält das Auto einfach die Spur und fährt gerade aus. Ist der Fahrer aktiver in der Spurführung und möchte zum Beispiel einen Fahrstreifenwechsel durchführen, so folgt das System den Vorgaben des Fahrers. Wie aktiv der Fahrer momentan ist könnte beispielsweise zum einem am aufgebrachten Druck am Lenkrad, zum anderen am Lenkmoment und der Drehwinkeländerung festgestellt werden.

Für die Variante B wurden im weiteren drei einfach zu unterscheidende Aktivitätsstadien des Fahrers definiert und ihnen jeweils ein Modus zugeteilt. Entsprechend des jeweiligen Modus greift das System in die Längs- und Querführung des

Fahrzeugs ein. Der Fahrer wird also je nach momentaner Notwendigkeit vom Assistenzsystem in der Fahrzeugführung unterstützt. Im Folgenden werden die drei Modi *Tight Rein*, *Loose Rein* und *Secured Rein* erläutert.

4.2.1 *Tight Rein*

In diesem Modus hat der Fahrer "die Zügel fest in der Hand". Ziel war es in allen drei Fällen ein möglichst klare Definition für den jeweiligen Modus zu finden. Für *Tight Rein* lautet diese, dass der Fahrer beide Hände am Lenkrad hat. Im Zuge weitere Forschung könnte noch eine feinere Definition vorgenommen werden, welche zum Beispiel auch den aufgebrachten Druck und das Lenkmoment beinhaltet.

Das Assistenzsystem übernimmt hierbei ähnlich wie oben bei Variante A beschrieben lediglich eine informative und warnende Aufgabe. Die Verkehrssituation wird allerdings nicht mehr mittels HUD, sondern auf einem Display am Armaturenbrett dargestellt. Die informative und auch die warnende Komponente bleiben dabei vollauf erhalten (das gilt für alle drei Modi). Eine zusätzliche Erweiterung besteht in einem leichten Lenkeingriff im Falle einer drohenden Kollision. Möchte der Fahrer in einer gefährlichen Situation trotz Warnung einen Fahrstreifenwechsel durchführen, wird automatisch ein leichtes Gegenlenkmoment vom Assistenzsystem aufgebracht.

4.2.2 *Loose Rein*

Wiederum galt es ein möglichst einfache und dennoch klare Definition für diesen Modus zu finden. Der Fahrer hat nun "die Zügel locker in der Hand". Das bedeutet, er übt die Fahrzeugführung nicht sehr aktiv aus. Im Sinne einer leichten Unterscheidbarkeit zum *Tight Rein* Modus wurde festgelegt, dass der Fahrer in diesem Fall nur eine Hand am Lenkrad hat. Nun greift das System noch bestimmter in die Querführung des Fahrzeugs ein. Wurde mittels Tempomat eine Wunschgeschwindigkeit definiert, werden unter gewissen Voraussetzungen automatisch Fahrstreifenwechsel initiiert und durchgeführt. Das stellt große technische Anforderungen an das System, da es erkennen muss wann ein Fahrstreifenwechsel sinnvoll und auch sicher durchführbar ist.

Der Fahrzeuglenker hat hier allerdings noch die volle Kontrolle über das Fahrzeug und ein "Vetorecht". Sollte das System einen Fahrstreifenwechsel initiieren den der Fahrer aus bestimmten Gründen nicht durchführen möchte, kann er den Vorgang durch Aufbringen eines Gegenlenkmoments leicht unterbinden.

4.2.3 *Secured Rein*

Der dritte Modus tritt ein, wenn der Fahrer beide Hände vom Lenkrad nimmt. Da es sich dabei um eine gefährliche Situation handelt, wird er aufgefordert die Führung des Fahrzeugs wieder zu übernehmen. Es ertönt ein kurzes Warnsignal und ein blinkendes Symbol erscheint, welches auf die erneute Übernahme der

Kontrolle hinweist. In diesem Modus wird die Spur und der Abstand zum voran fahrenden Fahrzeug automatisch gehalten. Die Geschwindigkeit wird je nach Straße auf die gesetzliche Höchstgeschwindigkeit reduziert, sollte sie davor höher gewesen sein. Es handelt sich hierbei um einen sicheren Modus, da kein Risiko eingegangen wird bis der Fahrer erneut zumindest eine Hand am Lenkrad und damit die Kontrolle übernommen hat.

4.3 KONZEPT C: VOLL-AUTOMATISIERTER FWA

Bei diesem Konzept hat der Fahrer nur mehr eine überwachende und bestätigende Funktion inne. Angelehnt an eine Studie an der *University of California* [27], bestätigt der Fahrer die vom System vorgeschlagenen Manöver per Knopfdruck (siehe Abbildung 13). Es besteht wiederum die Möglichkeit aus drei verschiedenen Modi zu wählen (dies geschieht per direkter Auswahl und nicht wie bei Variante B automatisch durch das System). Zwei dieser Modi weisen einen sehr hohen Grad an Automatisierung auf, der dritte Modus ist ähnlich konzipiert wie der **Tight Rein** Modus der Variante B. Das Assistenzsystem nimmt dabei lediglich eine informative und warnende Funktion ein. Die drei Modi *Automated*, *Confirm* und *Warning* werden unten beschrieben.

LCA VARIANTE C

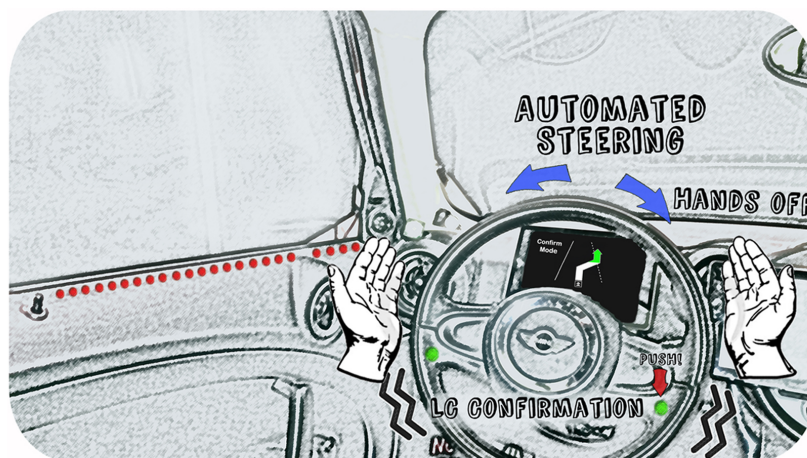


Abbildung 13: Komponenten der Variante C für das **MMS** Konzept

4.3.1 *Automated Mode*

Das Assistenzsystem übernimmt die volle Kontrolle über das Fahrzeug, Längs- und Querdynamik werden automatisch gesteuert. Um beim Fahrer eine hohe Akzeptanz für das System zu erreichen, werden ihm permanent Informationen über die Verkehrssituation geliefert. Dies geschieht wie schon bei Variante B, über das Display am Armaturenbrett. So ist es nachvollziehbar, warum das System ein

Manöver wie zum Beispiel einen Fahrstreifenwechsel einleitet. Hier gelten höchste technische Anforderungen an das System, da komplexe Manöver automatisiert durchgeführt werden.

4.3.2 *Confirm Mode*

Wenn der Fahrer selbst entscheiden möchte, ob eine Fahrstreifenwechsel durchgeführt wird oder nicht, hat er die Möglichkeit in den *Confirm Mode* zu wechseln. Dieser Modus ist grundsätzlich gleich aufgebaut wie der *Automated Mode*, mit der Ausnahme, dass vor Beginn eines Manövers die Bestätigung seitens des Fahrers notwendig ist.

4.3.3 *Warning Mode*

Im *Warning Mode* hat der Fahrer die volle Kontrolle über das Fahrzeug. Er entspricht im wesentlichen dem **Tight Rein** Modus der Variante B, mit dem Unterschied, dass das System so lange in dem Modus bleibt, bis der Fahrer manuell einen anderen auswählt.

KONZEPTAUSWAHL

Nachdem die drei Konzepte für die *MMS* ausgearbeitet waren, wurde ein weiteres Brainstorming bei *Magna Steyr* abgehalten. Ziel des Treffens war es, eine Nutzwertanalyse durchzuführen und so die beste Variante auszuwählen, um diese dann im Fahrsimulator zu implementieren. Die Aufbereitung, Durchführung und die Ergebnisse der Nutzwertanalyse werden in diesem Kapitel dargelegt.

5.1 FESTLEGUNG UND GEWICHTUNG DER KRITERIEN

Bereits beim ersten Brainstorming wurde eine Reihe von möglichen Kriterien festgelegt, welche dann am *FTG* noch genauer definiert und auf insgesamt elf erweitert wurde. In Grafik 3 sind alle Kriterien ersichtlich. Diese wurden auch in einzelnen Übergruppen zusammengefasst, um ein besseres Verständnis der Einflussfaktoren zu bekommen.

Das erste und wichtigste aller Kriterien ist die Sicherheit eines Assistenzsystems. Sowohl für den Benutzer im Zuge der Bedienung, als auch auf Gesamtebene als Sicherheitsgewinn für alle Verkehrsteilnehmer. Komfort und Akzeptanz sind sehr wichtig, da ein System welches vom Fahrer nicht akzeptiert wird, von ihm auch nicht verwendet wird. Die Projektkriterien sind für die Umsetzung und für die Zusammenarbeit mit *Magna Steyr* ausschlaggebend.

Nr	Übergruppe	Kriterium
1		<i>Bedienungssicherheit</i>
2		<i>Rückholstrategie</i>
3	Sicherheit	<i>Verkehrssicherheitsgewinn</i>
4		<i>Geringes Ablenkungspotential</i>
5	Komfort und Akzeptanz	<i>Fahrkomfort</i>
6		<i>Niedrige Komplexität des Systems (Entwicklersicht)</i>
7		<i>Absicherungsaufwand</i>
8		<i>Relevanz für Magna Steyr</i>
9		<i>Innovationsgrad</i>
10	Projektkriterien	<i>Umsetzbarkeit im laufenden Projekt</i>
11		<i>Empfundener Zusatznutzen aus Konsumentensicht</i>

Tabelle 3: Übersicht aller Kriterien der Nutzwertanalyse

Die einzelnen Kriterien werden nun genauer erläutert.

BEDIENUNGSSICHERHEIT Meint die Sicherheit bei der Bedienung des Systems. Um diese zu gewährleisten sollte das System möglichst intuitiv gestaltet und einfach zu bedienen sein.

RÜCKHOHLSTRATEGIE Sobald das Assistenzsystem einen gewissen Grad an Automation erreicht hat und die Fahrzeugführung größtenteils übernimmt, braucht es eine gute Rückhohlstrategie. Im Falle eines Defekts des Systems muss der Fahrer alarmiert werden und unmittelbar wieder die Kontrolle übernehmen.

VERKEHRSSICHERHEITSGEWINN Damit ist der Sicherheitsgewinn für den Fahrer, aber auch für alle anderen Verkehrsteilnehmer gemeint. Inwiefern kann das Assistenzsystem dazu beitragen, dass Unfälle vermieden und das Autofahren sicherer wird.

GERINGES ABLENKUNGSPOTENTIAL Ähnlich der Bedienungssicherheit darf der Fahrer durch das System nicht von der eigentlichen Aufgabe der Fahrzeugführung abgelenkt werden. Dies kann zum Beispiel durch schlechte Positionierung von wichtigen Informationen außerhalb des primären Sichtfeldes des Fahrers passieren.

FAHRKOMFORT Ein gutes Assistenzsystem steigert den subjektiv empfundenen Fahrkomfort des Nutzers. Durch die Übernahme von schwierigen Aufgaben in Zusammenhang mit der Fahrzeugführung wird der Fahrer entlastet und der Komfort steigt.

NIEDRIGE KOMPLEXITÄT DES SYSTEMS Hierbei geht es vor allem um die Komplexität aus Entwicklersicht. Weniger komplexe Systeme sind einfacher zu entwickeln und umzusetzen und haben dadurch niedrigere Kosten.

ABSICHERUNGS-AUFWAND Je komplexer und automatisierter ein Assistenzsystem ist, desto höher ist der Absicherungsaufwand. Besonders wenn sicherheitskritische Aufgaben in der Fahrzeugführung übernommen werden.

RELEVANZ FÜR *magna steyr* Wie attraktiv ist die Entwicklung des Systems aus Sicht von *Magna Steyr*.

INNOVATIONS-GRAD Es gibt schon eine Vielzahl unterschiedlicher Assistenzsysteme, daher ist es wichtig etwas Neues zu entwickeln. Ansonsten wird das System auf dem Markt keine Relevanz haben.

UMSETZBARKEIT IM LAUFENDEN PROJEKT Im Rahmen der Diplomarbeit stehen nur begrenzte Mittel zu Verfügung. Daher ist es wichtig gut abzuwägen ob das Konzept auch tatsächlich umgesetzt werden kann.

EMPFUNDENER ZUSATZNUTZEN AUS KONSUMENTENSICHT Ein trivialer und dennoch sehr wichtiger Grund. Stellt das System keinen Zusatznutzen für den Konsumenten dar, hat es auch keine Berechtigung entwickelt zu werden.

5.1.1 Gewichtung

Auf Basis der getroffenen Auswahl und Definition der Kriterien wurde eine Gewichtung vorgenommen. Zu diesem Zweck wurden drei Gruppen aus Vertretern von *Magna Steyr* und dem FTG gebildet. Jede Gruppe vergab Punkte von 1 bis 10 für jedes einzelnen Kriterium. Der Mittelwert aus den drei Wertungen, dividiert durch die Summe aller Mittelwerte, ergibt die Gewichtung des Kriteriums. Die Einzelbewertungen der Gruppen, der sich ergebende Mittelwert und die daraus folgende Gewichtung sind in Tabelle 4 ersichtlich.

Kriterium	Gr 1	Gr 2	Gr 3	Mittelwert	Gewichtung
Bedienungssicherheit	10	10	10	10,00	12,15%
Rückholstrategie	9	8	9	8,50	10,32%
Verkehrssicherheitsgewinn	9	7	5	7,00	8,50%
Geringes Ablenkungspotential	9	8	8	8,33	10,12%
Fahrkomfort	8	5	7	6,50	7,89%
Niedrige Komplexität des Systems	6	8	8	7,33	8,91%
Absicherungsaufwand	7	7	8	7,33	8,91%
Relevanz für <i>Magna Steyr</i>	7	7	5	6,33	7,69%
Innovationsgrad	7	6	4	5,67	6,88%
Umsetzbarkeit im laufenden Projekt	6	8	8	7,33	8,91%
Empfundener Zusatznutzen	8	8	8	8,00	9,72%

Tabelle 4: Übersicht über die Gewichtung der Kriterien

Eindeutig am wichtigsten wurde die *Bedienungssicherheit* empfunden, alle drei Gruppen vergaben 10 Punkte. Sowohl eine gute *Rückholstrategie*, als auch ein *geringes Ablenkungspotential* wurden ebenfalls als sehr wichtig eingestuft. Die Sicherheitskriterien sind also sehr Ausschlag gebend für ein gutes MMS-Konzept. Alle anderen Kriterien haben eine annähernd ähnliche Gewichtung. Der *empfundene Zusatznutzen* ist als etwas wichtiger und der *Innovationsgrad* als unterdurchschnittlich wichtig hervorzuheben. Bei manchen Kriterien gab es einen signifikanten Unterschied in den Bewertungen der einzelnen Gruppen, was aber nicht weiter stört.

5.2 BEWERTUNG DER KONZEPTE

Im nächsten Schritt hatten die drei Gruppen die Aufgabe die einzelnen Konzepte zu bewerten. Dabei wurden Punkte vergeben, je nachdem wie gut das jeweilige Konzept jedes einzelne der elf Kriterien erfüllt. Fünf Punkte waren dabei das Maximum, Tabelle 5 zeigt die Legende der Punkte.

Punkte	Bedeutung
5	Außerordentlich gut
4	Voll erfüllt
3	Größtenteils erfüllt
2	Mangelhaft
1	Nicht erfüllt

Tabelle 5: Legende der Punktevergabe

Aus den Wertungen der Gruppenmitglieder für jedes einzelne Kriterium wurde der Mittelwert errechnet. Die ermittelten Werte wurden mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert und aufaddiert. So ergab sich eine Gesamtpunktzahl, welche zwischen 1 und 5 lag. Multipliziert mit 20 ergab sich eine anschauliche Gesamtpunktzahl, welche im Verhältnis zu der möglichen Maximalpunktzahl von 100 Punkten interpretiert werden konnte.

Variante A				
Kriterium	Gewichtung	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
1	12,15%	5,00	5,00	5,00
2	10,32%	5,00	1,75	5,00
3	8,50%	3,00	2,25	4,00
4	10,12%	3,00	4,00	5,00
5	7,89%	3,00	1,00	3,00
6	8,91%	5,00	4,00	5,00
7	8,91%	5,00	3,25	5,00
8	7,69%	4,00	2,50	4,00
9	6,88%	2,00	2,00	2,00
10	8,91%	4,00	4,25	5,00
11	9,72%	3,00	1,50	4,00
	100,00%	78,06	59,26	87,53
Gesamtwertung		74,95		

Tabelle 6: Punktbewertungen für jedes Kriterium der Variante A

Auffallend bei der Bewertung der Variante A (Tabelle 6) ist, dass es starke Abweichungen in der Vergabe der Punkte zwischen den Gruppen gab. Vor allem Gruppe 2 hat diese Variante deutlich schlechter bewertet als die Gruppen 1 und 3. Der insgesamt sehr schlechte Gesamtwert von 59 Punkten der Gruppe 2 drückt das ansonsten sehr gute Ergebnis der Variante A deutlich nach unten. Mit 75 Punkten ist das dennoch die insgesamt beste Wertung der drei Varianten.

Variante B				
Kriterium	Gewichtung	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
1	12,15%	5,00	4,50	4,00
2	10,32%	4,00	2,75	4,00
3	8,50%	3,00	2,25	5,00
4	10,12%	2,00	4,50	4,00
5	7,89%	3,00	3,00	4,00
6	8,91%	4,00	3,00	3,00
7	8,91%	3,00	2,50	3,00
8	7,69%	4,00	3,00	2,00
9	6,88%	4,00	3,25	4,00
10	8,91%	3,00	3,50	4,00
11	9,72%	4,00	3,25	4,00
	100,00%	71,54	65,72	75,06
Gesamtwertung		70,77		

Tabelle 7: Punktbewertungen für jedes Kriterium der Variante B

Bei der Bewertung der Variante B (Tabelle 7) ist auffällig, dass alle drei Gruppen die Kriterien sehr ähnlich bewerteten. Es war die homogenste Verteilung der Punkte aller drei Varianten. Die Gesamtwertung ist mit 71 Punkten sehr nahe an der Variante A dran.

Die Bewertung der dritten Variante (Tabelle 8) fiel wieder ähnlich kontrovers aus wie jene bei Variante A. Die minimale Wertung von 65 Punkten liegt allerdings nicht ganz soweit von der maximalen mit 79 Punkten entfernt, wie dies bei Variante A der Fall war (59 zu 88 Punkten). Insgesamt liegt Variante C mit 70 Punkten knapp hinter Variante B.

5.3 INTERPRETATION

Alle drei Gruppen wiesen ein unterschiedliches Bewertungsschema auf. Gruppe 2 hat mit Abstand am schlechtesten bewertet, die Gruppen 1 und 3 haben insgesamt fast genau gleich viele Punkte vergeben. Alle drei Varianten liegen relativ nahe beieinander, wenn man bedenkt, dass es maximal 100 Punkte zu erreichen gab und die Bewertung sehr subjektiv erfolgte. Interessant ist, dass jede einzelne Gruppe eine andere Reihung der Varianten aufweist, wie in Tabelle 9 ersichtlich. Des Weiteren wurde jede Variante einmal auf den ersten, einmal auf den zweiten und einmal auf den dritten Platz gereiht. Dies veranschaulicht, wie ausgeglichen die einzelnen Konzepte empfunden wurden und dass es keinen eindeutigen Favoriten gab.

Aufgrund der Ergebnisse und mangels eines eindeutigen „Siegers“ wurde in weiterer Folge beschlossen ein Konzept zu entwickeln, welches die Stärken aller drei Varianten in sich vereint. Dieses Konzept wird im nächsten Kapitel erläutert.

Variante C				
Kriterium	Gewichtung	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
1	12,15%	4,00	2,75	4,00
2	10,32%	2,00	4,00	2,00
3	8,50%	5,00	4,00	5,00
4	10,12%	5,00	3,75	3,00
5	7,89%	5,00	4,00	5,00
6	8,91%	3,00	1,00	2,00
7	8,91%	2,00	0,25	2,00
8	7,69%	4,00	4,25	2,00
9	6,88%	5,00	4,25	5,00
10	8,91%	4,00	3,50	2,00
11	9,72%	5,00	4,50	5,00
	100,00%	79,15	65,24	66,68
Gesamtwertung			70,36	

Tabelle 8: Punktbewertungen für jedes Kriterium der Variante C

Reihung der Varianten nach Gruppen						
Platz	Gruppe 1	Punkte	Gruppe 2	Punkte	Gruppe 3	Punkte
1	Variante C	79	Variante B	66	Variante A	88
2	Variante A	78	Variante C	65	Variante B	75
3	Variante B	72	Variante A	59	Variante C	67

Tabelle 9: Gesamtwertungen der drei Gruppen

DETAILLIERTE KONZEPTENTWICKLUNG

Das im Detail betrachtete Konzept hat sich aus der Nutzwertanalyse unter weiterer Feinabstimmung mit dem FTG ergeben. Ausgegangen wurde von Konzept B, das auf dem *Horse Mode* basiert. Da alle drei Varianten in etwa gleich gut bewertet wurden, sind auch Elemente in das MMS Design eingeflossen, welche ursprünglich nicht für diese Variante geplant waren. Es wurde ein HUD implementiert, der *Secured Mode* modifiziert und Änderungen im Anzeigedesign vorgenommen. So konnte ein Konzept erstellt werden, welches die Stärken aller drei Varianten in sich vereint und insgesamt einen sehr hohen Grad an Automation aufweist.

In diesem Kapitel wird auf die Bedienelemente, die Anzeige und die allgemeine Funktionsweise der MMS eingegangen. Da der Gestaltungsprozess wie bereits oben erläutert ein iterativer Vorgang ist, bedarf es noch mehrerer Testläufe im Fahrsimulator und weiterer Optimierungen bis das Konzept praxistauglich ist. Es bietet allerdings eine gute Basis für weiterführende Forschungen.

6.1 BEDIENELEMENTE

Wie bereits oben beschrieben erfolgt die Bedienung über das Lenkrad mit Hilfe von Druckmesssensoren, wodurch es möglich ist festzustellen, wie viele Hände der Fahrer am Lenkrad hat. Zu Forschungszwecken wurde für die erste Probandenstudie auf einem Tablet ein GUI programmiert, mit dem der Nutzer den jeweiligen Modus manuell auswählen kann (Abbildung 14). Der aktive Modus wird dabei immer grün hinterlegt angezeigt und die Bezeichnung ist zusätzlich zum Symbol sichtbar. Mit einem Druck auf das LCA Symbol in der Mitte kann das Assistenzsystem ein- und ausgeschaltet werden.

Die drei Symbole für den jeweiligen Modus wurden so gestaltet (siehe Abbildung 14), dass sie für den Fahrer intuitiv verständlich sind und so dem Gestaltungsleitsatz der *Selbstbeschreibungsfähigkeit* gerecht werden. Oben in der Mitte befindet sich das Symbol für den voll automatischen Modus, welcher vormals als *Secured Mode* gedacht war. Das Zahnrad mit den freien Händen soll darauf hinweisen, dass dieser Modus eintritt sobald der Fahrer beide Hände vom Lenkrad nimmt. Es soll damit auch veranschaulicht werden, dass das Fahrzeug nun automatisch fährt. Auf der rechten Seite befindet sich das Symbol für den halbautomatischen Modus (*Loose Rein*), ein stilisierter Fahrer mit nur einer Hand am Steuer. Ist dieser Modus aktiv, ist unter dem Symbol der Schriftzug *Semi* zu lesen. Links der Mitte befindet sich schließlich das Symbol für den manuellen Modus (*Tight Rein*), symbolisiert durch einen Fahrer mit beiden Händen am Lenkrad und dem Schriftzug *Manually*.

Über den Touchscreen werden auch Teilbereiche von zwei anderen FAS gesteuert,

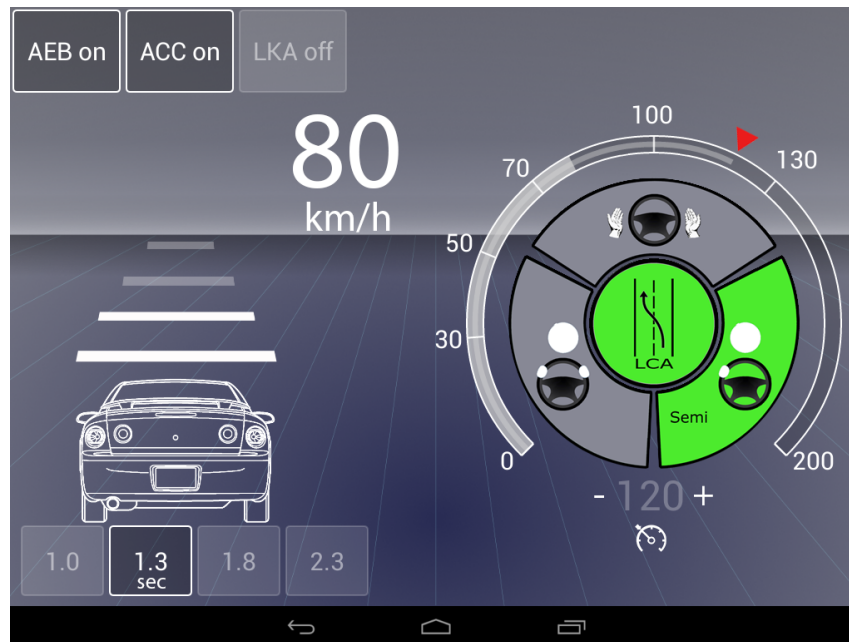


Abbildung 14: Benutzeroberfläche des rechten Tablets

nämlich dem **ACC** und dem Tempomat. Das Prinzip der *Konsistenz* wurde dabei durch eine sinnvolle Gruppierung mehrerer Assistenzsysteme gut erfüllt. Durch Druck auf das entsprechende Icon kann der gewünschte Abstand zum Vorderfahrzeug ausgewählt werden. Die Einheit beträgt dabei Sekunden und reicht von 1 bis 2,3. Über vier horizontale Balken ist der gewählte Abstand zum Vorderfahrzeug ersichtlich - je mehr Balken weiß ausgefüllt sind, desto größer ist das Zeitfenster zum voran fahrenden Fahrzeug. Mittels einer kreisförmiger Streichbewegung über das Display kann die Wunschkreisgeschwindigkeit festgelegt werden, was einerseits ein Gefühl von *Joy of Use* erzeugt und andererseits leicht verständlich ist.

6.2 ANZEIGE

Ein Teil der Anzeige wurde bereits oben bei der Beschreibung der Bedienelemente erläutert, da das rechte Display sowohl ein Bedienelement, als auch ein wichtiges Informationsmedium ist. Hinter dem Lenkrad, an der Stelle wo sich normalerweise das Kombiinstrument befindet, wurde ein zweites Tablet installiert (siehe Kapitel 4), welches eine rein informative Funktion erfüllt (Abbildung 15). Hier ist ebenfalls der aktive Modus und die aktuelle sowie die Wunschkreisgeschwindigkeit ersichtlich, ganz analog zum rechten Display.

Ebenfalls auf beiden Tablets sind drei Icons für unterschiedliche **FAS** ersichtlich - für **AEB**, **ACC** und **LKA**. Ist das jeweilige System aktiv, wird es dunkelgrau hinterlegt dargestellt und es steht „on“ dabei. Ziel der Arbeit war es auch, ein ganzheitliches Konzept zu entwerfen, welches die Vielzahl an Funktionen der verschiedenen **FAS** miteinander verbindet. Daher wird nicht jedes System für sich aktiviert, sondern ist die Aktivität an den jeweiligen Modus des **FWA** gebunden, wie noch weiter un-



Abbildung 15: Design im Kombiinstrument

ten erläutert wird.

In der Mitte des Displays befindet sich die Darstellung des Verkehrs und des EGO-Fahrzeugs, welches in der Heckansicht abgebildet ist. Die Straße wird je nach Umfeld, zwei- oder dreispurig mit den dazugehörigen Fahrstreifen dargestellt, angelehnt an das Design von Pinotti et al. [40]. Als Inspiration für die Darstellung des Verkehrs dienten die Entwürfe von Habenicht [37, 41] und ein Prototyp-Design der *Chalmers University of Technology* [42]. Andere Verkehrsteilnehmer werden über blaue Felder links, rechts, vor und hinter dem Fahrzeug symbolisiert. Diese Information ist sehr wichtig für den Fahrer, da so einerseits Fahrzeuge im toten Winkel erkannt und andererseits die Manöver des Assistenzsystems nachvollzogen werden können. So bleibt das Situationsbewusstsein des Fahrers erhalten und das Vertrauen in das System wächst mit jeder richtig von ihm getroffenen Entscheidung (zum Beispiel ein Überholmanöver durchzuführen).

Vom System empfohlene Spurwechsel werden durch einen weißen, grün umrandeten Pfeil dargestellt (siehe Abbildung 16), welcher links oder rechts des EGO-Fahrzeugs auf dem Display erscheinen. Führt das System einen Spurwechsel automatisch durch, wird der ganze Pfeil für die Dauer des Spurwechsel- beziehungsweise des Überholvorgangs grün (siehe Abbildung 17), fängt an zu blinken und es erscheint ein Zahnradsymbol, damit der Fahrer weiß, dass nun das System die Kontrolle über das Fahrzeug übernommen hat. Diese Informationen werden auch über ein HUD eingeblendet, damit der Fahrer möglichst selten den Blick von der Fahrbahn abwenden muss.

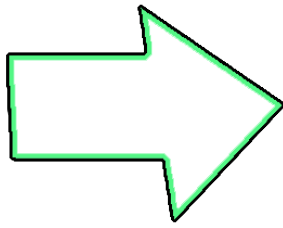


Abbildung 16: Symbol für einen empfohlenen Spurwechsel

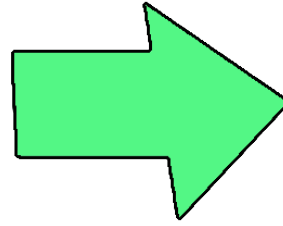


Abbildung 17: Symbol für einen automatisch durchgeführten Spurwechsel

6.3 FUNKTIONSWEISE

Die einzelnen Modi folgen einer bestimmten Logik und unterscheiden sich in der Bedeutung und in der Aufgabe die der Fahrer bei der Fahrzeugführung wahrzunehmen hat. Im wesentlichen sind sie den drei in 4.2 beschriebenen Modi sehr ähnlich, unterscheiden sich aber in ein paar wesentlichen Punkten. Wie die drei Modi im Detail funktionieren wird unten erläutert.

6.3.1 *Manual Mode*

Der *Manual Mode* entspricht dem in 4.2 beschriebenen *Tight Rein Mode*, der Fahrer hat also die volle Kontrolle über das Fahrzeug. Für ein besseres Verständnis wurde auf eine Nomenklatur nach der Anapher von Kutscher und Pferd verzichtet. Der Modus tritt ein sobald der Fahrer beide Hände am Steuer hat, beziehungsweise in der Testphase sobald der Fahrer den Modus per Touchscreen auswählt. Wird momentan ein automatischer Fahrstreifenwechsel oder ein Überholmanöver ausgeführt, so wird dieses zuvor beendet und dann übernimmt der Fahrer wieder die Fahrzeugführung.

Das FAS gibt in diesem Modus lediglich Empfehlungen für mögliche Fahrstreifenwechsel ab, es bleibt dem Nutzer überlassen, ob er diese auch durchführt oder nicht. Auch gibt das System Warnungen in gefährlichen Situationen, also wenn der Fahrer den Fahrstreifen wechseln möchte obwohl dies aufgrund eines anderen Verkehrsteilnehmers nicht möglich ist. Die Warnung erfolgt auf drei Ebenen, optisch, akustisch und haptisch. Das entsprechende Feld auf dem Anzeigedisplays färbt sich rot, es ertönt ein kurzer Warnton und ein leichter Lenkradeingriff korrigiert die Spur. In den Seitentüren sind wie in 4.1 schon beschrieben LEDs verbaut, welche im Falle einer Warnung auf der entsprechenden Seite ebenfalls rot aufleuchten.

Wie bereits oben erwähnt wurde beim Gestaltungsprozess des FWA darauf geachtet ein intelligentes Gesamtkonzept zu finden, welches alle bereits vorhandenen FAS in sich vereint. Für den *Manual Mode* bedeutet dies, dass sowohl die AEB, als auch der Tempomat aktiviert werden.

6.3.2 *Semi Automated Mode*

Analog zum ersten Modus wurde auch der *Semi Automated Mode* an einen in 4.2 beschriebenen Modus angelehnt und zwar an den *Loose Rein Mode*. Die Automation ist dabei schon weiter fortgeschritten, nach der Skala von Sheridan 7 befindet sie sich auf dem 5. Level. Das Assistenzsystem schlägt einen Spurwechsel vor, betätigt der Fahrer daraufhin den Blinker wird der Spurwechsel automatisch durchgeführt. Wiederum wird der Modus per manueller Auswahl aktiviert, in der endgültigen Fassung erfolgt der Wechsel in den Modus drei Sekunden nachdem der Fahrer nur mehr eine Hand am Lenkrad hat. Die Zeitspanne wurde festgelegt damit der *Automated Mode* nicht sofort aktiviert wird, sollte der Fahrer die Hand nur kurz vom Steuer nehmen, um zum Beispiel das Radio zu bedienen.

Der Fahrer muss in diesem Modus immer noch sehr aufmerksam sein und die Verkehrssituation überwachen, sowie die Fahrzeugführung zum größten Teil selbst wahrnehmen. Warnungen erfolgen auf die selbe Weise wie bereits oben beschrieben und die beiden *FAS*, *AEB* und *ACC*, sind in diesem Modus auch aktiv. Der Fahrer kann eine Wunschgeschwindigkeit und den gewünschten Abstand zum Vorderfahrzeug festlegen, sofern er das möchte. Zu Beginn werden die Geschwindigkeit bei einschalten des Systems als Wunschgeschwindigkeit und ein Standardabstand von 1,8 Sekunden festgelegt. Eine entscheidende Frage für zukünftige Studien wird sein, inwiefern der Fahrer in diesem Modus eine Entlastung der Fahraufgabe erfährt und ob sich durch den automatisierten Fahrstreifenwechsel ein Gefühl von *Joy of Use* einstellt.

6.3.3 *Automated Mode*

Der dritte Modus, wie auch der Name schon sagt, ist der in der Automatisierung am weitesten fortgeschrittene. Im *Automated Mode* übernimmt das *FAS* die volle Kontrolle über das Fahrzeug, der Fahrer wird über durchgeführte Manöver und die Verkehrssituation weiterhin informiert. Das entspricht genau der Definition einer Automation des Levels 7 nach Sheridan (siehe Abbildung 7), auf der SAE Skala (siehe Abbildung 9) wäre dieser Modus dem Level 3 zuzuordnen. Wiederum erfolgt die Auswahl des Modus per Berührung des Icons, beziehungsweise drei Sekunden nachdem der Fahrer keine Hand mehr am Lenkrad hat. Begonnene Fahrstreifenwechsel werden wie in allen drei Modi zu Ende gebracht bevor der Wechsel in den neuen Modus erfolgt.

Zusätzlich zu den beiden in den zwei andern Modi aktiven *FAS* wird im *Automated Mode* auch der *LKA* aktiviert. Nachdem das Fahrzeug nun also automatisiert fährt, bleibt es die Aufgabe des Fahrers den Verkehr und die Aktionen des Assistenzsystems weiterhin zu beobachten. Eine große Herausforderung wird es sein das System so zu gestalten, dass der Fahrer *In the Loop* gehalten wird. Bei Versagen des Systems kann ein schnelles Eingreifen des Fahrers erforderlich sein, das Situationsbewusstsein des Nutzers muss daher unbedingt erhalten bleiben. In der Testphase des *FWA* im Fahrsimulator wird also besonders die Optimierung der *MMS* für den

Automated Mode eine zentrale Rolle spielen, da ein hohes Maß an Sicherheit im Falle eines Ausfalls des Systems gegeben sein muss.

6.4 GEPLANTE ERWEITERUNGEN

Für das gesamte Konzept des FWA mit dazugehöriger MMS wurde eine Erfindungsmeldung eingereicht. Darin sind noch geplante Erweiterungen für das System beschrieben. Die automatische Erkennung des Aufmerksamkeitsgrades des Benutzers und der daraus resultierende beziehungsweise gewünschte Unterstützungsgrad soll noch verbessert werden. Dafür sind am Fahrsimulator des FTG bereits ein Herzfrequenzmesssensor und eine Blickrichtungserfassung installiert. Mit Hilfe der Daten der Messinstrumente sowie verfeinerter Druckmesssensoren, welche auch den Anpressdruck der Hände am Lenkrad messen können, soll die Einschätzung des Systems optimiert werden.

Die fürs Erste festgelegten drei Automationsmodi sollen ebenfalls weiter optimiert werden. Denkbar wäre ein fließender Übergang der Automation, von manuellem Fahren bis hin zu voll automatisiertem Fahren. Das Assistenzsystem soll also in jeder Situation in der Lage sein den Fahrer genau nach seinen Bedürfnissen und Wünschen zu unterstützen.

KONZEPTVALIDIERUNG

Nachdem das Konzept für die **MMS** des **FWA** nun im Detail ausgearbeitet wurde, muss dieses noch getestet werden. Dafür wird am **FTG** eine Studie mit 10 Probanden vom Institut durchgeführt werden. Dabei soll eruiert werden, ob das entwickelte Konzept für die Nutzer leicht verständlich und hilfreich ist und ob es beim Fahrer ein Gefühl von *Joy of Use* erzeugt. Des Weiteren sollen die drei entwickelten Modi, welche in 6.3 vorgestellt wurden, auf ihre Praxistauglichkeit und Funktionalität geprüft werden.

Zu diesem Zweck wird mit den Probanden jeder der drei Modi in vier unterschiedlichen Manövern im Fahrsimulator des Instituts getestet. Vor der Simulation wird es ein kurzes Briefing zur Erklärung des Assistenzsystems, des Fahrsimulators und des Testvorgangs im allgemeinen geben. Nachdem der Proband alle 12 Simulationen absolviert hat, wird er einen Fragebogen ausfüllen, welcher anschließend am Institut ausgewertet wird. Im Folgenden werden die drei Manöver vorgestellt, der Testablauf erklärt und das Briefing erläutert. Zuletzt wird der Fragebogen präsentiert und ein Ausblick zur Bewertung der Ergebnisse gegeben.

7.1 MANÖVER

Jedes der vier Manöver findet auf einer Fahrbahn mit drei Fahrstreifen statt. Dabei startet das EGO-Vehikel immer auf dem rechten Fahrstreifen, davor befindet sich bei jedem Manöver ein langsamer fahrendes Fahrzeug, welches überholt werden soll. Die Situationen unterscheiden sich dabei in der Anzahl der Fahrzeuge auf dem mittleren Fahrstreifen und deren Startposition sowie Geschwindigkeit; keines der simulierten Fahrzeuge weist eine Beschleunigung auf. In ihrer Komplexität nehmen die Manöver der Reihenfolge nach zu, ein detaillierter Überblick wird unten gegeben.

7.1.1 Manöver 1

Das erste Manöver ist das simpelste, neben dem EGO-Fahrzeug ist lediglich ein weiteres Fahrzeug involviert, welches sich auf der rechten Fahrspur befindet ($Lane_{T1}$). Es fährt mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h (v_{T1}), die Startgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs beträgt 130 km/h ($v_{egostart}$). Die Position des EGO-Vehikels ($x_{egostart}$) wird als Offset betrachtet auf den sich die Position des zweiten Fahrzeugs (x_{T1}) bezieht. Die genauen Daten können der Tabelle 10 entnommen werden. Sie stellen eine symptomatische Überholsituation mit einem langsam voran fahrenden Fahrzeug dar und können beliebig variiert werden. Der Proband hat nun die Aufgabe in jedem der drei möglichen Modi des **FWA** das

voran fahrende Fahrzeug zu überholen. Abbildung 18 veranschaulicht symbolisch den Überholvorgang des 1. Manövers.

Fahrzeugdaten für Manöver 1					
x_egostart [m]	v_egostart [km/h]	Lane_ego	x_T1 [m]	v_T1 [km/h]	Lane_T1
0	130	1	150	100	1

Tabelle 10: Fahrzeugdaten des 1. Manövers

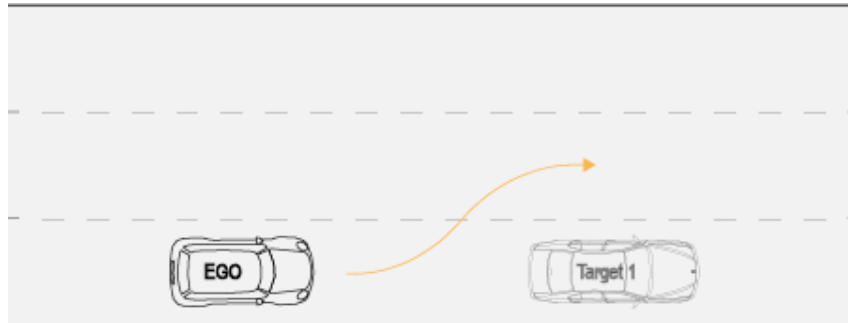


Abbildung 18: Veranschaulichung des 1. Manövers

7.1.2 Manöver 2

Beim 2. Manöver sind bereits drei Fahrzeuge involviert und auch die Überholspur ist befahren. Das Fahrzeug auf dem mittleren Fahrstreifen startet zu Beginn der Simulation 70 Meter vor (x_{T2}) dem EGO-Fahrzeug, der Fahrer braucht also im manuellen Modus durchaus etwas Geschick, um den Überholvorgang erfolgreich durchzuführen. Die genauen Daten der involvierten Fahrzeuge können erneut der Tabelle 11 entnommen werden, *Lane* steht dabei für den Fahrstreifen auf der sich das jeweilige Fahrzeug zu Beginn der Simulation befindet und der Index 2 steht für das Fahrzeug auf der Überholspur. Hier gilt wiederum, dass die Parameter gewählt wurden um ein klassisches Überholmanöver mit zwei involvierten Fahrzeugen zu simulieren. Entscheidend ist, dass sich das Fahrzeug auf der Überholspur deutlich vor dem EGO-Fahrzeug befindet und etwas langsamer fährt. In der Grafik 19 ist der gesamte Überholvorgang wiederum symbolisch dargestellt.

Fahrzeugdaten für Manöver 2					
x_egostart [m]	v_egostart [km/h]	Lane_ego	x_T1 [m]	v_T1 [km/h]	Lane_T1
0	130	1	150	100	1
x_T2 [m]	v_T2 [kmh]	Lane_T2			
70	120	2			

Tabelle 11: Fahrzeugdaten des 2. Manövers

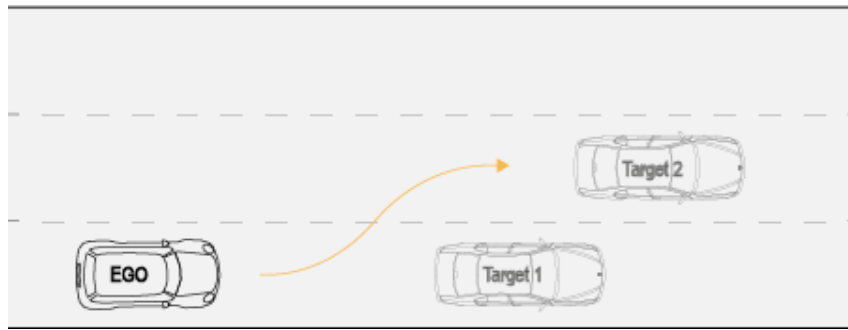


Abbildung 19: Veranschaulichung des 2. und 3. Manövers

7.1.3 Manöver 3

Bei dem dritten Manöver wurde lediglich die Startposition des Fahrzeugs am mittleren Fahrstreifen verändert. Die Parameter wurden so gewählt, dass sich das 2. Fahrzeug dem toten Winkel des EGO-Fahrzeugs nähert. Es startet nicht 70 Meter vor dem EGO-Fahrzeug, sondern 10 Meter dahinter. Das Schema ist in Abbildung 20 und die Fahrzeugdaten in Tabelle 12 ersichtlich. Durch das langsame Fahrzeug auf der rechten Fahrspur ist der Fahrer gezwungen entweder abzubremsen, das linke Fahrzeug vorbeifahren zu lassen und dann zu überholen, oder zu beschleunigen und den Überholvorgang sofort einzuleiten. Dieses Manöver ist recht anspruchsvoll und verlangt dem Fahrer sowohl eine gute Einschätzung der Situation, als auch ein gewisses Geschick in der Fahrzeugführung ab. Interessant wird bei diesem Manöver vor allem sein, wie der Fahrer auf das Überholverhalten des halbautomatischen *Semi Automated Mode* und des vollautomatischen *Automated Mode* reagiert.

Fahrzeugdaten für Manöver 3					
x_{egostart} [m]	v_{egostart} [km/h]	Lane_ego	x_{T1} [m]	v_{T1} [km/h]	Lane_T1
0	130	1	150	100	1
x_{T2} [m]	v_{T2} [kmh]	Lane_T2			
-10	120	2			

Tabelle 12: Fahrzeugdaten des 3. Manövers

7.1.4 Manöver 4

Das vierte Manöver ist das komplexeste, wobei vier Fahrzeuge involviert sind - zwei davon auf der Überholspur (Index T2 und T3). Das Fahrzeug auf der rechten Fahrspur startet wie immer 150 Meter vor dem EGO-Fahrzeug mit 100 km/h. Die zwei Fahrzeuge auf dem mittleren Fahrstreifen haben dabei die gleichen Anfangspositionen (x_{T2} und x_{T3}) und Geschwindigkeiten (v_{T2} und v_{T3}) wie die beiden Fahrzeuge in den Manövern 2 und 3 (in Tabelle 13 sind die Daten aufgelistet). Es ergibt sich also eine Lücke neben dem EGO-Fahrzeug, welche sich mit

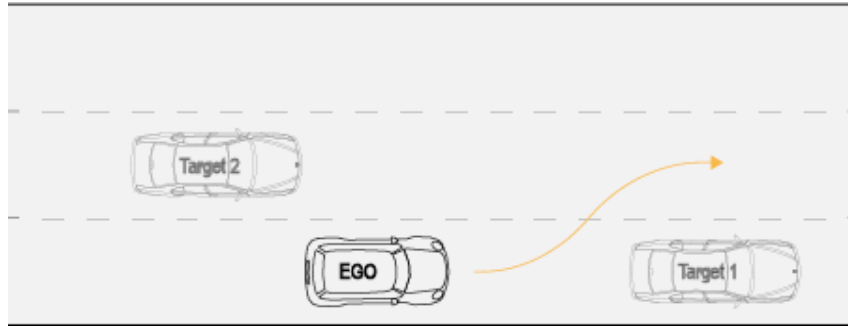


Abbildung 20: Veranschaulichung des 3. Manövers

120 km/h auf dem mittleren Fahrstreifen bewegt (wie in Abbildung 21 ersichtlich). Der Fahrer hat die Wahl, ob er das fahr-technisch anspruchsvollere Manöver durchführt und sich zum Überholen in die Lücke einordnet, oder ob er zunächst die Geschwindigkeit verringert, die beiden Fahrzeuge passieren lässt und dann das Überholmanöver durchführt.

An den FWA stellt dieses Manöver die höchsten Anforderungen. Sowohl der halb-automatische als auch der automatische Modus müssen den Überholvorgang einwandfrei und für den Fahrer zufriedenstellend durchführen. Dabei ist es besonders wichtig, dass sich der Fahrer während des gesamten Manövers sicher fühlt und die automatisierten Aktionen des Systems gut nachvollziehen kann. Mithilfe des Fragebogens kann dabei eruiert werden inwiefern diese Kriterien erfüllt wurden.

Fahrzeugdaten für Manöver 4

x_{egostart} [m]	v_{egostart} [km/h]	Lane_ego	x_{T1} [m]	v_{T1} [km/h]	Lane_T1
0	130	1	150	100	1
x_{T2} [m]	v_{T2} [kmh]	Lane_T2	x_{T3} [m]	v_{T3} [kmh]	Lane_T3
-10	120	2	70	120	2

Tabelle 13: Fahrzeugdaten des 4. Manövers

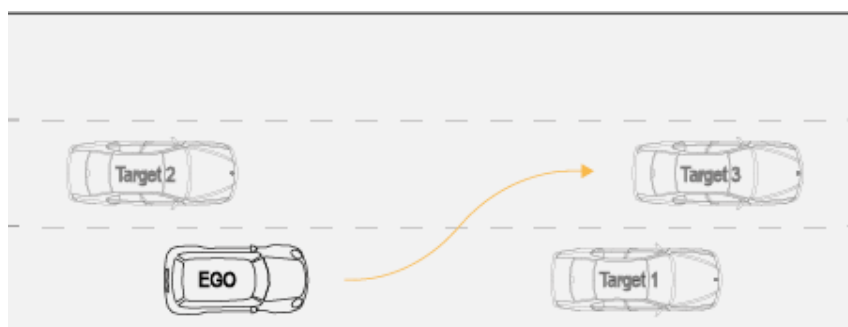


Abbildung 21: Veranschaulichung des 4. Manövers

7.2 TESTABLAUF

Als erstes werden dem Probanden die beiden Displays gezeigt und er hat die Möglichkeit die verschiedenen Modi auszuwählen und sich die Darstellungen genau anzusehen. Es wird ihm erklärt, dass es sich bei den beiden Tablets um ein MMS-Design für einen Fahrstreifenwechsellassistenten handelt. Danach wird der Proband um seine Einschätzung gefragt, was die verschiedenen Symbole bedeuten und wie man das System bedient. So kann festgestellt werden, ob das System selbsterklärend ist.

Nachdem der Fahrer sein Feedback gegeben hat, bekommt er ein Briefing in Form der Moditabelle 22. Auf dieser Tabelle sind alle drei Manöver mit dazugehörigem Symbol beschrieben. Der Proband erfährt wie ein Wechsel in den jeweiligen Modus erfolgt, was dieser bedeutet und welche Aufgabe der Fahrer im jeweiligen Modus wahrnehmen muss. Die Symbole für einen empfohlenen und einen automatisch ausgeführten Fahrstreifenwechsel werden ebenfalls in der Tabelle erläutert.

Nachdem der Fahrer die Tabelle studiert hat, beginnt der Testablauf im Fahrsimulator. Nach einer Eingewöhnungszeit von 10 Minuten durch Befahren einer leeren Autobahn im Simulator wird das 1. Manöver gefahren. Die Manöver werden immer in der Reihenfolge von 1 bis 4 simuliert, die Reihenfolge der Modi in denen das Manöver absolviert wird variiert allerdings immer. So soll ein zu großer Gewöhnungseffekt vermieden und ein aussagekräftiges Ergebnis erreicht werden. Nach Beenden des 4. Manövers bekommt der Proband einen Fragebogen, welchen er sogleich ausfüllt.

7.2.1 Messung der mentalen Belastung

Während der Simulation der Manöver werden bei jedem Probanden der Puls gemessen und die Bewegung der Augen aufgezeichnet. Es gibt zahlreiche Studien, welche einen direkten Zusammenhang zwischen der Zunahme der mentalen Belastung und dem Anstieg der Herzfrequenz feststellen konnten. Die Aktivität der Augen eignet sich nur bedingt für die Feststellung der mentalen Belastung, verschiedene Studien lieferten dabei sehr ambivalente Ergebnisse.

Lukas Fritz hat in seiner Dissertation die Belastung von Anästhesisten während einer Routineübung mithilfe eines Simulators untersucht [43]. Dabei bediente er sich vierer Messwerte, der *Fixationsdauer*, der *Sakkadenamplitude*, der *Pupillengröße* und der *Herzfrequenz*. Eine Sakkade ist der schnelle Ausschlag des Auges, die Sakkadenamplitude ist der Winkelausschlag dieser Bewegung und die Fixationsdauer die Zeit zwischen zwei Amplituden. Mithilfe des im Fahrsimulator installierten Eye-tracking Systems wird es voraussichtlich möglich sein sowohl die Fixationsdauer, als auch die Pupillengröße und die Sakkadenamplitude zu messen. Im Zuge der Dissertation konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen der mentalen Belastung und der Herzfrequenz sowie der Pupillengröße festgestellt werden.

In einer Studie von Veltamna et al. [44] wurde neben der Herzfrequenz auch die *Blinzelrate* als brauchbares Indiz für die mentale Belastung untersucht. Dabei konnte aber kein Zusammenhang hergestellt werden. Die Blinzelrate konnte jedoch mit




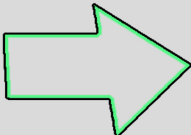
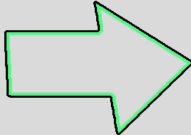
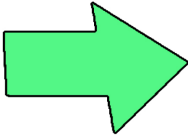
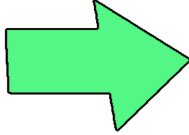
Die Modi des Lanechange-Assist			
Name	Manual Driving	Semi Automated	Automated Driving
Symbol			
Wechsel in den Modus	Sobald der Fahrer beide Hände am Lenkrad hat. Der Wechsel in diesen Modus erfolgt sofort, es sei denn, es wird gerade ein Überholmanöver autonom ausgeführt.	Drei Sekunden nachdem der Fahrer nur mehr eine Hand am Lenkrad hat wechselt der LCA in den Semi Automated Modus. Ein angefangenes Überholmanöver wird davor noch zu Ende gebracht.	Sobald der Fahrer keine Hand mehr am Lenkrad hat erfolgt der Wechsel in den Automated Driving Modus. Überholmanöver werden wie in den anderen beiden Fällen vorher noch durchgeführt.
Bedeutung	Fahrer hat volle Kontrolle über das Fahrzeug. Alle Spurwechselmanöver müssen selbst durchgeführt werden. Das FAS gibt nur Empfehlungen bezüglich möglicher Fahrstreifenwechsel vor.	Der Fahrer hat die Kontrolle über das Fahrzeug. Wenn ein Spurwechsel vom System vorgeschlagen wird und der Fahrer den Blinker betätigt, wird dieser autonom durchgeführt.	Das Auto fährt autonom. Geschwindigkeit und gewünschter Abstand werden gehalten, Spurwechsel automatisch durchgeführt. Der Fahrer hat lediglich eine überwachende Funktion inne.
Aufgabe des Fahrers	Überwachung des Verkehrs. Beachten der Warnungen und Empfehlungen des FAS. Selbständige Durchführung von Spurwechselmanövern.	Überwachung des Verkehrs. Beachten der Warnungen und Empfehlungen des FAS. Entscheiden wann ein Spurwechsel durchgeführt werden soll. Bestätigung mittels Blinker.	Überwachung des Verkehrs und der autonomen Führung des Fahrzeugs. Entscheidung treffen wann wieder die Kontrolle über das Fahrzeug übernommen werden soll.
Spurwechsel-Empfehlung	 Symbol erscheint.	 Symbol erscheint.	Nicht vorhanden, da Spurwechsel automatisch durchgeführt wird.
Spurwechsel wird automatisiert durchgeführt	Nicht vorhanden, da Spurwechsel immer manuell durchgeführt wird.	 Symbol blinkt während dem Spurwechsel.	 Symbol blinkt während dem Spurwechsel.

Abbildung 22: Moditabelle des FWA

der visuellen Belastung in Verbindung gebracht werden, eine eindeutige Korrelation konnte allerdings nicht gefunden werden. Die Pupillengröße wurde auch in der Diplomarbeit von Schultheis [45] zur Belastungsmessung herangezogen. Die Prämisse war, dass die Pupille sich beim Lesen von geistig anspruchsvollen Texten deutlich weitet, sie konnte allerdings nicht validiert werden.

Für die Durchführung der Probandenstudie wird daher vor allem die Herzfrequenz Auskunft darüber geben, ob die *MMS* und der *FWA* zu einer zusätzlichen mentalen Belastung führen. Natürlich muss hierbei berücksichtigt werden, dass auch die Überholmanöver an sich eine Stresssituation bedeuten und daher zu einem Anstieg des Pulses führen können. Die Blickrichtungserfassung wird Aufschlüsse über die Güte der Gestaltung der *MMS* geben. Sofern der Fahrer die Augen selten von der Straße abwenden muss und dennoch alle Manöver gut ausführen kann, spricht das für eine gelungene Ausführung der *MMS*.

Ein interessantes zukünftiges Forschungsfeld wird die Implementierung der Blickrichtungserfassung in den *FWA* sein. Dieser basiert auf der intelligenten Erkennung des Aktivitätsstatus des Fahrers und der entsprechenden Unterstützung durch die Wahl des jeweiligen Modus. Anhand der Aktivität der Augen dürfte gut feststellbar sein, wie aktiv der Fahrer in der Fahrzeugführung ist.

Schubert weißt in seiner Bachelorarbeit [46] neben der Blinzelrate und den Schwankungen der Pupillengröße noch auf eine dritte Art der augenbasierten Aufmerksamkeitsmessung hin, das verlangsamte Schließen der Augenlider. Der Anteil der verlangsamten Schließungen wird in Prozent angegeben (im Englischen "percentage of slow eyelid closure"; *PERCLOS*) und korreliert stark mit Aufmerksamkeitsstörungen während längerer Wachperioden. Die Messung der *PERCLOS* kann mit Infrarotkameras oder mit Hilfe von moderner Bilderkennungssoftware auch mit einer einfachen Videokamera erfolgen.

BORG-SKALA Die Borg-Skala kommt vor allem in der Sportmedizin zur Anwendung, sie dient dort der subjektiven Bewertung der physischen Belastung während einer körperlichen Tätigkeit [47]. Zahlenwerte von 6 bis 20 untergliedern die Intensität der empfundenen Belastung, eine zusätzliche Legende neben den Zahlenwerten erleichtert die Zuordnung, wie in Tabelle 14 dargestellt. Durch Multiplikation mit dem Faktor 10 ergibt sich näherungsweise die zugehörige Herzfrequenz. Fritz hat sich auch dieser Skala bedient um seine Probanden die mentale Belastung während der Simulation angeben zu lassen [43]. Die Herzfrequenz stieg während (mental) anstrengender empfundenen Situationen deutlich, woraus sich auch hier ein Zusammenhang ableiten lässt. Mit Hilfe der Borg-Skala und der gemessenen Herzfrequenz könnte es gelingen, die mentale Belastung während verschiedener Überholmanöver im jeweiligen Assistenzmodus zu bestimmen. Die Sinnhaftigkeit der Anwendung der BORG-Skala wird in der geplanten Fahrsimulatorstudie untersucht.

Wert	Bedeutung	Wert	Bedeutung
6		6	
7	Sehr, sehr leicht	7	Sehr, sehr gering
8		8	
9	Sehr leicht	9	Sehr gering
10		10	
11	Recht leicht	11	Gering
12		12	
13	Etwas anstrengender	13	Ziemlich stark
14		14	
15	Anstrengend	15	Stark
16		16	
17	Sehr anstrengend	17	Sehr stark
18		18	
19	Sehr, sehr anstrengend	19	Sehr, sehr stark
20		20	Zu stark, geht nicht mehr

Tabelle 14: Borg-Skala [47]

7.3 FRAGEBOGEN

Es wurde ein Katalog aus 20 Fragen (siehe Tabelle 15) erstellt, welcher von jedem Proband nach der Fahrt mit dem Simulator ausgefüllt wird. Für jede der Fragen wird ein Punktwert von 1 (*Trifft gar nicht zu*) bis 10 (*Trifft sehr zu*) vergeben. Die Fragen betreffen die *MMS-Gestaltung* und die Performance des *FWA*. Sie lassen sich in drei Überkategorien einteilen, in Fragen zur *Gestaltung und Verständnis* (Fragen 1 - 6), zu *Sicherheit und Komplexität* (Fragen 7 - 12) und zum *Fahrkomfort* (Fragen 13 - 18).

Die Probanden haben auch die Möglichkeit ein offenes Feedback zu formulieren, um den Gesamteindruck des Systems besser darstellen zu können. Durch die Auswertung der Fragebögen und des Feedbacks kann darauf geschlossen werden, wie ausgereift das Assistenzsystem mitsamt *MMS* am jetzigen Stand schon ist und wo es noch Verbesserungspotenzial gibt.

Nr	Frage
1	Die dargestellten Modi-Symbole sind intuitiv.
2	Die Informationen am Display sind übersichtlich dargestellt.
3	Die Eingewöhnung mit dem Fahrstreifenwechsellassistenten fiel mir leicht.
4	Die Bedienung des Systems ist klar.
5 a	Ich verstehe die Funktionsweise des Manual Mode.
5 b	Ich verstehe die Funktionsweise des Semi Automated Mode.
5 c	Ich verstehe die Funktionsweise des Automated Mode.
6	Das Fahren mit dem System wäre leichter, wenn ich mehr Zeit zur Eingewöhnung hätte.
7	Das Betrachten und Bedienen der Displays lenkt mich ab.
8	Der FWA hat mich irritiert.
9	Der FWA erhöht die Komplexität der Fahraufgabe und überfordert.
10	Der FWA erleichtert das Fahren und verschafft mir zusätzliche mentale Kapazität.
11	Der FWA erleichtert mir den Fahrstreifenwechsel.
12	Das Fahren mit dem Assistenzsystem trägt zur Sicherheit bei.
13	Der FWA erhöht den Fahrkomfort.
14	Ich konnte die Handlungen des FWA gut nachvollziehen.
15	Das Fahren mit dem Assistenzsystem hat mir Spaß gemacht.
16	Wenn ich die Möglichkeit hätte, würde ich das System in Zukunft verwenden.
17	Ich würde das System anderen empfehlen.
18	Das Assistenzsystem ist hochwertig.

Tabelle 15: Fragekatalog für die Simulatorstudie

ZUSAMMENFASSUNG

Automatisiertes Fahren ist ein Thema welches die Automobilindustrie in den nächsten Jahren stark prägen wird. Mit der Zunahme von technisch immer ausgereifteren und hoch automatisierten Assistenzsystemen müssen auch die Rahmenbedingungen für eine sichere Nutzung geschaffen werden. Dabei ist vor allem die kluge Integration verschiedener Systeme und deren Zusammenwirken zu beachten, wobei das Mensch-Maschine-Schnittstellen Design eine entscheidende Rolle spielt.

In dieser Arbeit wurde daher systematisch eine Mensch-Maschine-Schnittstelle für einen vollautomatisierten Fahrstreifenwechselassistenten entwickelt. Dabei wurde zuerst auf den Kontext in dem die **MMS** eingebettet ist eingegangen und das Zusammenspiel von Fahrer, Fahrzeug und Umwelt betrachtet. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine wurde genauer behandelt, der Informationsfluss als Kombination von Anzeige und Bedienelementen dargestellt. Um eine gute Schnittstelle zu entwickeln wurden verschiedene Gestaltungsleitsätze und dazugehörige Gestaltungsprinzipien beachtet. Anregungen für die Gestaltung wurden auch aus der Industrie geholt, wo im speziellen auf die visuelle, auditive und haptische Umsetzung von **MMS** geachtet wurde. Da die Automation bei Assistenzsystem im allgemeinen und bei einem **FWA** im speziellen sehr weit fortgeschritten ist, wurde auf diesen Aspekt genauer eingegangen. Vier Teilbereiche welche zu einem bestimmten Grad automatisiert werden können wurden dabei unterschieden. Die SAE Skala diente zur Einordnung des Levels der Automation des entwickelten Assistenzsystems.

Um die Entwicklung eines möglichst ausgereiften Konzepts zu gewährleisten, wurden zunächst drei unterschiedliche Varianten aus der Literatur beschrieben. Zwei alternative Ansätze der Mensch-Maschine Interaktion, der *Horse Mode* und *Conduct-by-Wire* lieferten dabei die Grundlage für die Ausarbeitung der alternativen Konzepte. In Zusammenarbeit mit *Magna Steyr* wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt, bei welcher zuerst ein Kriterienkatalog festgelegt und jedes Kriterium gewichtet wurde. Die Kriterien waren dabei in die Übergruppen *Sicherheit*, *Komfort und Akzeptanz* und *Projektkriterien* unterteilt, wobei die Sicherheitskriterien die mit Abstand wichtigsten waren. Danach erfolgte die Bewertung der drei Varianten nach den vorgegebenen Kriterien, wobei es große Unterschiede in der subjektiven Einschätzung der Analyse-Teilnehmer gab. Alle drei Konzepte waren in der Gesamtwertung in etwa gleich auf, woraus sich auf keinen eindeutigen Favoriten schließen ließ. Die Variante B, welche auf dem *Horse Mode* basierte, lieferte in weiterer Folge die Basis für das finale Konzept.

Die Implementierung des **FWA** erfolgte schon zum Teil am Fahrsimulator des **FTG**. Zwei Tablets stellen dabei sowohl das Bedienelement, als auch die Anzeige der **MMS** dar. Das Assistenzsystem wechselt je nachdem wie viele Hände der Fahrer am Lenkrad hat in einen der drei Modi: *Manual*, *Semi* oder *Automated*. Der Modus

kann zu Forschungszwecken momentan auch per Touchscreen-Auswahl erfolgen. Erweiterungen, welche das Assistenzsystem weiter optimieren sind geplant. Der nächste Schritt ist ein erstes *Proof of Concept*. Dafür ist eine Probandenstudie am FTG bestehend aus 10 Mitarbeitern geplant. Im Zuge der Masterarbeit wurde der Versuchsablauf für die Studie bestimmt. Dabei wurden für die Validierung des Konzepts sinnvolle Manöver definiert, ein Fragebogen zur Bewertung der MMS erarbeitet und mögliche Messgrößen beschrieben. Durch Befragung der Studienteilnehmer und ein subjektives Bewertungsschema soll eruiert werden, ob das Assistenzsystem hilfreich und das MMS-Design intuitiv und leicht verständlich ist. Mit den gewonnenen Erkenntnissen können das Assistenzsystem und die Schnittstelle weiter verbessert werden.

Für weiterführende Forschungen wird vor allem die Verbesserung der Aktivitäts- und Intentionserkennung interessant sein. Da jeder Mensch unterschiedliche Fahrkenntnisse, Erfahrungen und Fertigkeiten sowie einen eigenen Fahrstil aufweist, wird die Anpassung an individuelle Bedürfnisse ebenfalls ein wichtiger Aspekt sein. Ein System, welches aus der Auswertung von Fahrdaten und der Interaktion mit dem Menschen lernt und sich kontinuierlich anpasst, wäre ein erstrebenswertes Ziel. Die fortdauernde Verbesserung des Simulationsmodells für das Assistenzsystem und die gelungene Integration des Eye-tracking Systems in den FWA werden dabei eine zentrale Rolle spielen.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Darstellung des Gesamtsystems aus Fahrer, Fahrzeug und Umwelt [1]	5
Abbildung 2	Modell der Interaktionen zwischen Mensch und Schnittstellen im Fahrzeug [2]	6
Abbildung 3	Darstellung des Gestaltungsprozesses interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 9241-210 [7]	10
Abbildung 4	Veranschaulichung des Konzepts von <i>cooperative guidance and control</i> [28]	14
Abbildung 5	Graduelle Einteilung der Automation [29]	15
Abbildung 6	Darstellung des GUI von <i>Conduct-by-Wire</i> [27]	16
Abbildung 7	Darstellung der 10 Level der Automation nach Sheridan und Verplank [32]	18
Abbildung 8	Prozess zur Festlegung des Levels der Automation [31]	21
Abbildung 9	Level der Automation nach der SAE Skala [34]	23
Abbildung 10	Design des Kombiinstruments von Tesla [9]	24
Abbildung 11	Komponenten der Variante A für das MMS Konzept	26
Abbildung 12	Komponenten der Variante B für das MMS Konzept	27
Abbildung 13	Komponenten der Variante C für das MMS Konzept	29
Abbildung 14	Benutzeroberfläche des rechten Tablets	38
Abbildung 15	Design im Kombiinstrument	39
Abbildung 16	Symbol für einen empfohlenen Spurwechsel	40
Abbildung 17	Symbol für einen automatisch durchgeführten Spurwechsel	40
Abbildung 18	Veranschaulichung des 1. Manövers	44
Abbildung 19	Veranschaulichung des 2. und 3. Manövers	45
Abbildung 20	Veranschaulichung des 3. Manövers	46
Abbildung 21	Veranschaulichung des 4. Manövers	46
Abbildung 22	Moditabelle des FWA	48

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Übersicht aller möglichen Medien eine Fahrerinformation weiterzugeben [16]	13
Tabelle 2	Überblick der verschiedenen Arten von FWAs	25
Tabelle 3	Übersicht aller Kriterien der Nutzwertanalyse	31
Tabelle 4	Übersicht über die Gewichtung der Kriterien	33
Tabelle 5	Legende der Punktevergabe	34
Tabelle 6	Punktbewertungen für jedes Kriterium der Variante A	34
Tabelle 7	Punktbewertungen für jedes Kriterium der Variante B	35
Tabelle 8	Punktbewertungen für jedes Kriterium der Variante C	36
Tabelle 9	Gesamtwertungen der drei Gruppen	36
Tabelle 10	Fahrzeugdaten des 1. Manövers	44
Tabelle 11	Fahrzeugdaten des 2. Manövers	44
Tabelle 12	Fahrzeugdaten des 3. Manövers	45
Tabelle 13	Fahrzeugdaten des 4. Manövers	46
Tabelle 14	Borg-Skala [47]	50
Tabelle 15	Fragekatalog für die Simulatorstudie	51

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] EICHBERGER, A. ; BERNSTEINER, S. ; MAGOSI, Z. ; LINDVAI-SOOS, D. ; GÄCHTER, J.: Virtuelle Absicherung von Gesamtfahrzeugintegration bei Fahrerassistenzsystemen am Beispiel Abstandstempomat, Notbremsassistent und Spurhalteassistent. In: *VDI-Konferenz Simvec Spezial: Simulation Fahrdynamik, Baden-Baden*, 2013
- [2] BRUDER, Ralph ; DIDIER, Muriel: Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Springer, 2015, S. 633–645
- [3] RÜHMANN, H: Schnittstellen in Mensch-Maschine-Systemen. In: *Ergonomie* 3 (1993)
- [4] ECKSTEIN, Lutz: Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und von Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeugs mit aktiven Sidesticks. In: *FORTSCHRITT BERICHTE-VDI REIHE 12 VERKEHRSTECHNIK FAHRZEUG-TECHNIK* (2001)
- [5] SCHMIDTKE, H: Ergonomie (3. neu bearbeitete und erweiterte Auflage). In: *München, Wien: Carl Hanser Verlag* (1993)
- [6] SCHNEIDER, Wolfgang: Grundsätze der Dialoggestaltung DIN EN ISO 9241-110. In: URL: <http://www.ergo-online.de/site.aspx> (2006)
- [7] DIN, DINENISO: 9241-210 Ergonomische Anforderungen der Mensch-System-Interaktion Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher Systeme. In: *BeuthVerlag, Berlin* (2010)
- [8] FREYER, Ing J. ; WINKLER, Dipl-Ing L. ; WARNECKE, Dipl-Ing M. ; DUBA, Dipl-Ing Georg-Peter: Eine Spur Aufmerksam der Audi Active Lane Assist. In: *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift* 112 (2010), Nr. 12, S. 926–930
- [9] *Kombiinstrument von Tesla*, Abrufdatum 20.9.2016. https://www.tesla.com/de_AT/models?redirect=no
- [10] *BMW Driving Assistant*, Abrufdatum 20.9.2016. http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2013/driver_assistance/intelligent_driving.html
- [11] *BMW Head-Up Display*, Abrufdatum 20.9.2016. <http://www.bmw.at/de/footer/3/glossar/bmw-head-up-display.html>
- [12] *Audi Head-Up Display*, Abrufdatum 20.9.2016. <https://www.audi-mediacycenter.com/de/vernetzte-autos-in-einer-vernetzten-welt-audi-baut-seine-fuehrung-bei-der-connected-mobility-aus-2751/das-head-up-display-im-audi-a7-sportback-und-im-neuen-audi-a6-2822>

- [13] GABBARD, Joseph L. ; FITCH, Gregory M. ; KIM, Hyungil: Behind the glass: driver challenges and opportunities for AR automotive applications. In: *Proceedings of the IEEE* 102 (2014), Nr. 2, S. 124–136
- [14] BLUME, Jochen ; KERN, Thorsten A. ; RICHTER, Pablo: Head-up-Display–Die nächste Generation mit Augmented-Reality-Technik. In: *Vernetztes Automobil*. Springer, 2014, S. 137–143
- [15] GABBARD, Joseph L. ; FITCH, Gregory M. ; KIM, Hyungil: Behind the glass: driver challenges and opportunities for AR automotive applications. In: *Proceedings of the IEEE* 102 (2014), Nr. 2, S. 124–136
- [16] BARTELS, Arne ; ROHLFS, Michael ; HAMEL, Sebastian ; SAUST, Falko ; KLAUSKE, Lars K.: Querführungsassistent. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Springer, 2015, S. 937–957
- [17] BLIS Volvo, Abrufdatum 20.9.2016. <http://support.volvocars.com/de/cars/Pages/owners-manual.aspx?mc=Y283&my=2014&sw=13w46&article=387e3d0fc4f192d2c0a801e801f8f0c0>
- [18] Totwinkel Assistent Mercedes Benz, Abrufdatum 20.9.2016. http://m.mercedes-benz.de/de_DE/blind_spot_assist/detail.html
- [19] Audi Side Assist, Abrufdatum 20.9.2016. <http://www.audi-technology-portal.de/de/elektrik-elektronik/fahrerassistenzsysteme/audi-side-assist>
- [20] WINNER, H ; LOTZ, F ; BAUER, E ; KONIGORSKI, U ; SCHREIER, M ; ADAMY, J ; PFROMM, M ; BRUDER, R ; LÜKE, S ; CIELER, S: PRORETA 3: Comprehensive Driver Assistance by Safety Corridor and Cooperative Automation. In: *Handbook of Driver Assistance Systems. Basic Information, Components and Systems for Active Safety and Comfort* (2015), S. 1449–1469
- [21] KOGLBAUER, Ioana ; EICHBERGER, Arno ; LEX, Cornelia ; BLIEM, Norbert ; STERNAT, Anton ; HOLZINGER, Jürgen ; SCHINKO, Christoph ; BATTEL, Mario: Bewertung von Fahrerassistenzsystemen von nicht professionellen Fahrerinnen und Fahrern im Realversuch.
- [22] MESCHTSCHERJAKOV, Alexander ; WILFINGER, David ; MURER, Martin ; OSSWALD, Sebastian ; TSCHELIGI, Manfred: Hands-on-the-Wheel: Exploring the Design Space on the Back Side of a Steering Wheel. In: *European Conference on Ambient Intelligence* Springer, 2014, S. 299–314
- [23] MURER, Martin ; WILFINGER, David ; MESCHTSCHERJAKOV, Alexander ; OSSWALD, Sebastian ; TSCHELIGI, Manfred: Exploring the back of the steering wheel: Text input with hands on the wheel and eyes on the road. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* ACM, 2012, S. 117–120
- [24] RUCK, Heiko ; STOTTAN, Thomas: Interaktives Lenkrad für eine bessere Bedienbarkeit. In: *Automobiltechnische Zeitschrift* 116 (2014), Nr. 5

- [25] FLEMISCH, Frank O. ; BENGLER, Klaus ; BUBB, Heiner ; WINNER, Hermann ; BRUDER, Ralph: Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire. In: *Ergonomics* 57 (2014), Nr. 3, S. 343–360
- [26] SCHIEBEN, Anna ; DAMBÖCK, Daniel ; KELSCH, Johann ; RAUSCH, Herbert ; FLEMISCH, Frank u. a.: Haptisches Feedback im Spektrum von Fahrerassistenz und Automation. In: *Proceedings of* Bd. 3, 2008, S. 7–8
- [27] KAUER, Michaela ; SCHREIBER, Michael ; BRUDER, Ralph: How to conduct a car? A design example for maneuver based driver-vehicle interaction. In: *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE* IEEE, 2010, S. 1214–1221
- [28] LÖPER, Christian ; KELSCH, Johann ; FLEMISCH, Frank O.: Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren. (2008)
- [29] *H-Mode Automation*, Abrufdatum 20.9.2016. https://www.google.at/search?q=automation+horse+mode&biw=1920&bih=955&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHtK3Klvr0AhVJVxQKHx9-CNgQ_AUIBigB#tbm=isch&q=H-mode+automation&imgsrc=DQNNH0DpMD8xyM%3A
- [30] PARASURAMAN, Raja ; RILEY, Victor: Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 39 (1997), Nr. 2, S. 230–253
- [31] PARASURAMAN, Raja ; SHERIDAN, Thomas B. ; WICKENS, Christopher D.: A model for types and levels of human interaction with automation. In: *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans* 30 (2000), Nr. 3, S. 286–297
- [32] *Sheridan and Verplank's 10 Levels of Automation*, Abrufdatum 20.9.2016. http://images.slideplayer.com/2/730405/slides/slide_8.jpg
- [33] *SAE INTERNATIONAL STANDARD J3016*, Abrufdatum 20.9.2016. http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf
- [34] *SAE Skala*, Abrufdatum 20.9.2016. <https://c.mobilegeeks.de/wp-content/uploads/2016/08/LevelsofDrivingAutomation.jpg>
- [35] *Unfall bei Tesla Model S*, Abrufdatum 20.9.2016. <http://www.autobild.de/artikel/autonomes-fahren-tesla-unfaelle-10516973.html>
- [36] *Schwere Kritik an Tesla*, Abrufdatum 20.9.2016. <http://derstandard.at/2000040304426>
- [37] HABENICHT, Stefan: *Entwicklung und Evaluation eines manöverbasierten Fahrstreifenwechselassistenten*, Technische Universität Darmstadt, Diss., 2012

- [38] WINNER, Hermann ; LOTZ, Felix ; BAUER, Eric ; KONIGORSKI, Ulrich ; SCHREIER, Matthias ; ADAMY, Jürgen ; PFROMM, Matthias ; BRUDER, Ralph ; LÜKE, Stefan ; CIELER, Stephan: PRORETA 3 – an integrated ADAS concept – comprehensive driver assistance by safety corridor and cooperative automation. (2014)
- [39] FLEMISCH, Frank O. ; BENGLER, Klaus ; BUBB, Heiner ; WINNER, Hermann ; BRUDER, Ralph: Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire. In: *Ergonomics* 57 (2014), Nr. 3, S. 343–360
- [40] PINOTTI, Daniele ; TANGO, Fabio ; LOSI, Maria G. ; BELTRAMI, Marco: A model for an innovative Lane Change Assistant HMI. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2013 Annual Conference* (2014)
- [41] HABENICHT, Stefan ; WINNER, Hermann ; BONE, Sven ; SASSE, Fabian ; KORZENIETZ, Peter: A maneuver-based lane change assistance system. In: *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE IEEE, 2011*, S. 375–380
- [42] MENDOZA, P A. ; ANGELELLI, Alexander ; LINDGREN, Anders: Ecological interface design inspired human machine interface for advanced driver assistance systems. In: *Intelligent Transport Systems, IET* 5 (2011), Nr. 1, S. 53–59
- [43] FRITZ, Lukas u. a.: *Simulatorbasierte Pilotstudie zur Erfassung der Arbeitsbelastung von Anästhesisten mittels Blickbewegungsregistrierung, Herzfrequenzmessung und subjektiver Einschätzung auf der Borg-Skala*, Technische Universität München, Diss., 2015
- [44] VELTMAN, JA ; GAILLARD, AWK: Physiological indices of workload in a simulated flight task. In: *Biological psychology* 42 (1996), Nr. 3, S. 323–342
- [45] SCHULTHEIS, Holger: Pupillengröße und kognitive Belastung. In: *Abgerufen am 27* (2004), Nr. 02, S. 2012
- [46] ALEXANDER, Schubert: *Integration und Testen von Messtechnik zur Messung von physiologischen Stressparametern im Fahr Simulator*. 2016
- [47] ANSTRENGUNGSEMPFINDEN, Das: Borg-Skala Standards der Sportmedizin. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55 (2004), Nr. 11