

Menschbezogener Umgang mit Systemstörungen bei teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Matthias Pfromm

aus Hanau

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner
Tag der Einreichung:	21. Juni 2016
Tag der mündlichen Prüfung:	12. Oktober 2016

Darmstadt, 2016

D17

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt. Wichtige Teile der Arbeit entstanden während des durch die Continental AG geförderten PRORETA 3-Projekts.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Ralph Bruder, dem Leiter des Instituts, für die Betreuung dieser Arbeit. Sein hohes Vertrauen haben mir große Freiräume gelassen und seine fachlichen Ratschläge haben wichtige Impulse zum Gelingen dieser Arbeit gegeben.

Vielen Dank auch Prof. Dr. Hermann Winner für die Übernahme des Korreferats sowie die gute Zusammenarbeit und die vielen anregenden fachlichen Diskussionen im PRORETA 3-Projekt.

Bei den Mitarbeitern der Continental AG möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit bedanken, besonders bei Stephan Cieler, Dr. Stefan Lüke, Benjamin Mathe und Jörg Witthaus.

Ohne meine PRORETA-Teamkollegen hätte die Arbeit nur halb so viel Spaß gemacht. Vielen Dank Eric Bauer, Felix Lotz und Dr. Matthias Schreier für die tolle gemeinsame Zeit. Vielen Dank Ingmar Gundlach für seine stete Hilfsbereitschaft.

Ein herzlicher Dank geht an die ehemaligen Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Arbeitswissenschaft. Die vielen kritischen Diskussionen haben meine Arbeit unterstützt und der freundliche Umgang hat für eine gute Arbeitsatmosphäre gesorgt.

Vielen Dank Dr. Bettina Abendroth, der Leiterin der Forschungsgruppe Fahrzeugergonomie, für die vielen guten Ratschläge und den hohen Einsatz für ihr Team. Dr. Benjamin Franz herzlichen Dank für die ausgiebigen Diskussionen und die guten Tipps. Meinem ehemaligen Bürokollegen Ingmar Langer danke ich für die gute Zusammenarbeit während meiner Zeit am IAD.

Danken möchte ich den zahlreichen Studenten, die als wissenschaftliche Hilfskräfte oder durch studentische Arbeiten mit ihrem hohen Einsatz zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Mein Dank für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung geht an Ralf Beisner, Philippe Bürkel, Daniel Dilmetz, Martin Fischer, Raffey Khan, Benjamin Münter und Sebastian Oppelt.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen. Allen voran gilt meiner Verlobten Edith Dank für ihr Verständnis und ihre ständige liebevolle Unterstützung.

Zusammenfassung

Automatisierte Fahrzeugführung bietet eine Chance, die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, den Verkehrsfluss zu optimieren und mehr Menschen an automobiler Mobilität teilhaben zu lassen. Da die Vollautomatisierung von Pkw nicht in absehbarer Zeit umsetzbar ist, werden teilautomatisierte Fahrerassistenzsysteme in naher Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen. Bei diesen Systemen werden die Fahrzeugführungsaufgaben sowohl vom Fahrer als auch vom Fahrerassistenzsystem ausgeführt. Der Fahrer hat die Aufgabe, die Automation zu überwachen und im Fall einer Systemstörung selbst die entsprechende Aufgabe zu übernehmen. Untersuchungen haben ergeben, dass der Fahrer bei ungünstig gestalteter Automation dazu nicht in der Lage ist. Ein vielversprechender Ansatz zur Führung teilautomatisierter Fahrerassistenzsysteme ist die manöverbasierte Fahrzeugführung. Bei ihr bleibt der Fahrer in die Fahrzeugführung eingebunden, indem er Manöver an das System delegiert und Parameter übergibt, wodurch eine zuverlässigere Übernahme der Fahrzeugführung durch den Fahrer im Falle einer Systemstörung erwartet wird.

In dieser Arbeit wird der menschenbezogene Umgang mit teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung untersucht. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht der Umgang des Fahrers mit Systemstörungen. Es wird untersucht, ob der Fahrer die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine versteht, ob er zu jeder Zeit über ausreichendes Situationsbewusstsein verfügt und ob er in der Lage ist, im Falle von Systemstörungen die Fahrzeugführung sicher zu übernehmen. Außerdem wird das subjektive Empfinden des Fahrers bezüglich der teilautomatisierten Fahrzeugführung und der Systemstörung betrachtet.

Zur Klärung der Fragen werden Versuche im kontrollierten Feld durchgeführt. Als Versuchsträger wird die Umsetzung der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung im PRORETA 3-Projekt „Kooperative Automation“ verwendet. Als Referenz dient der assistierte Modus „Safety Corridor“. Die Probanden werden im Versuchsablauf mit dem Ausfall der automatischen Querführung auf der Geraden und in der Kurve konfrontiert. Außerdem werden der Ausfall der automatischen Bremsung an einer Lichtsignalanlage sowie der automatischen Geschwindigkeitsverringern an einem Tempolimit untersucht. Die Messdaten werden durch standardisierte und speziell erstellte Fragebögen, durch Blickbewegungsanalysen sowie Auswertung von Video-Daten erfasst.

Die Versuche zeigen, dass die Fahrer die aktiv auszuführenden Aufgaben, wie die Parameter- und Manövereingaben, grundsätzlich verstehen und benennen können, die Aufgaben der Überwachung des Assistenzsystems und der Beobachtung der Umgebung aber vernachlässigen.

Ob der Fahrer die Fahrzeugführung im Falle von Systemstörungen zurückübernimmt, ist situationsabhängig. Beim Ausfall der automatischen Bremsung an der Lichtsignalanlage (Längs-LSA) übernahmen alle (100 %) Fahrer die Fahrzeugführung, beim Ausfall der automatischen Geschwindigkeitsanpassung an einem Tempolimit-Verkehrszeichen (Längs-Gerade) hingegen weniger als die Hälfte (45 %). Beim Ausfall der Querführung übernahmen auch nicht alle Fahrer die

Fahrzeugführung: Auf der Geraden 85 %, in der Kurve 90 %. Der geringe Anteil der übernommenen Fahrzeugführungs-Aufgaben in der Situation Längs-Gerade lässt sich vor allem dadurch erklären, dass der Fahrer die Systemstörungen nicht erkennt, weil er die Überwachungsaufgaben nicht ausreichend ausführt, da er über unzureichendes Systemverständnis verfügt. Die Reaktion auf die Systemstörung kann jedoch in der Situation Längs-Gerade durch eine Übernahmeaufforderung über die Mensch-Maschine-Schnittstelle verbessert werden. In den anderen Situationen erkannten die Fahrer die Systemstörungen zuverlässiger. Die Nichtreaktionen bei Ausfall der Querführung lassen sich durch ein zu hohes Systemvertrauen und den Versuchskontext erklären.

Die kürzesten Reaktionszeiten wurden in der Situation Längs-LSA (Ausfall Bremsung an Lichtsignalanlage) gemessen ($M = 1,7$ s). Gleichzeitig war dies die am zeitkritischsten gestaltete Situation, die auch von den Fahrern als am kritischsten beurteilt wurde. Die längsten Reaktionszeiten ($M = 3,3$ s) wurden in der Situation Längs-Gerade (Ausfall der Tempoanpassung) gemessen, die am wenigsten zeitkritisch gestaltet worden war und von den Fahrern als am wenigsten kritisch beurteilt wurde. Die Reaktionszeiten der Situationen Quer-Gerade ($M = 3,23$ s) und Quer-Kurve ($M = 2,57$ s) liegen genau wie die Zeitkritikalität der Situationen und das bewertete Risiko zwischen den beiden anderen Situationen.

Die subjektiven Ergebnisse sprechen für die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung. Sie zeigen, dass der Fahrer durch sie, im Vergleich zur assistierten, entlastet wird. Das Vertrauen des Fahrers in das System und das Sicherheitsgefühl sind hoch. Bemerkenswert ist auch, dass die Systemakzeptanz selbst durch das Erleben von Systemstörungen nicht stark negativ beeinflusst wird. Vom Fahrer werden die Systemstörungen als kontrollierbar eingeschätzt.

Abkürzungsverzeichnis

ACC:	Adaptive Cruise Control
ACEA:	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles; europäischer Automobilherstellerverband
ADAS:	Advanced Driver Assistance Systems
ANOVA:	Analysis of Variance
AOI:	Area of Interest
CbW:	Conduct-by-Wire
DiC:	Driver-in-Control
ESP:	Elektronisches Stabilitätsprogramm
FAS:	Fahrerassistenzsysteme
FPK:	Freiprogrammierbares Kombiinstrument
GPS:	Global Positioning System
HMI:	Human-Machine Interface
JDVS:	Joint Driver-Vehicle System
KA:	Kooperative Automation
LG:	Längsführung auf Gerade
LL:	Längsführung an Lichtsignalanlage
LSA:	Lichtsignalanlage
M:	Arithmetisches Mittel
NHTSA:	National Highway Transportation Safety Agency
n.s.:	nicht signifikant
QG:	Querführung auf Gerade
QK:	Querführung in Kurve
RSME:	Rating Scale Mental Effort
SAGAT:	Situation Awareness Global Assessment Technique
SART:	Situational Awareness Rating Technique
SC:	Safety Corridor
SD:	Standard Deviation; Standardabweichung
ÜA:	Übernahmeaufforderung
VDA:	Verband der Automobilindustrie e.V.

Inhaltsverzeichnis

1.....Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Zielsetzung	3
1.3. Aufbau der Arbeit	4
2.....Theoretische Grundlagen	6
2.1. Menschbezogene Fahrzeugführung	6
2.1.1. Fahrzeugführungsaufgaben	6
2.1.2. Mensch-Fahrzeug-Regelkreis	10
2.1.3. Situationsbewusstsein	11
2.1.4. Menschliche Verhaltensebenen	14
2.2. Fahrzeugautomatisierung	16
2.2.1. Automatisierungsgrade	16
2.2.2. Mode-Awareness	22
2.2.3. Fahrzeug-Automatisierungskonzepte	24
2.2.4. Teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung mit PRORETA 3	27
2.3. Systemstörungen	31
2.3.1. Definition des Begriffs Systemstörung	31
2.3.2. Untersuchungen zum Umgang mit Systemstörungen	31
2.4. Forschungsfragen	36
3.....Experimentelle Untersuchung	37
3.1. Anforderungen an das Versuchskonzept	37
3.2. Hypothesen	38
3.3. Kennwerte und Methodik	42
3.3.1. Situationsbewusstsein	42
3.3.2. Systemverständnis	44
3.3.3. Subjektive Bewertung	45
3.3.4. Fahrerreaktionen	45
3.3.5. Blickbewegungsanalyse	46
3.3.6. Statistische Tests	47
3.4. Versuchsaufbau	48
3.4.1. Versuchsstrecke und Szenarien	48
3.4.2. Versuchsfahrzeug und Messtechnik	50
3.5. Probandenkollektiv	54
3.6. Versuchsablauf und Versuchsplan	54
3.7. Fazit	57

4.....Ergebnisse	58
4.1. Vergleich von teilautomatisierter mit assistierter Fahrzeugführung	58
4.1.1. Systemverständnis	58
4.1.2. Situationsbewusstsein	61
4.1.3. Subjektive Bewertung	64
4.2. Umgang mit Systemstörungen	66
4.2.1. Systemverständnis	66
4.2.2. Fahrerreaktionen	71
4.2.3. Situationsbewusstsein	77
4.2.4. Subjektive Bewertung	81
4.3. Fazit	87
5.....Diskussion	91
5.1. Diskussion der Ergebnisse	91
5.2. Diskussion der Methodik	94
5.3. Ausblick	96
Abbildungsverzeichnis	97
Tabellenverzeichnis	101
Literaturverzeichnis	102
Anhang	115

1. Einleitung

1.1. Motivation

Im Jahre 1959 wurde erstmals durch die Einführung des Fahrgeschwindigkeitsreglers die Pkw-Führung teilweise einem technischen System übertragen (Rowsome, 1958). Seitdem sind rasante Fortschritte bei der Automatisierung von Fahrzeugführungsaufgaben zu beobachten. In den 1990er Jahren kamen die ersten Fahrerassistenzsysteme mit sensorbasierter Umfelderkennung, wie z.B. das ACC (Adaptive Cruise Control), auf den Markt (Stiller, 2005). Ein Jahrzehnt später wurden erstmals Notbremsysteme eingeführt, die vor einer drohenden Kollision automatisch ein Bremsmanöver einleiten (Knothe et al., 2006). In Forschungsprojekten (z.B. Bender, 2008) wurden verschiedene Ansätze zur Vermeidung von Kollisionen durch automatische Ausweichmanöver umgesetzt. In letzter Zeit kommen immer mehr Systeme auf den Markt, die die Längs- und Querverführung eines Fahrzeugs über einen längeren Zeitraum automatisch ausführen können. Beispielsweise stabilisiert ein Stauassistent bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit (z.B. 65 km/h) das Fahrzeug, sodass der Fahrer im Stau weder lenken noch die Pedale bedienen muss (Lüke et al., 2015). In den aktuellen Tesla-Modellen (Tesla, 2015) sowie in der Mercedes E-Klasse (Debus, 2015) ermöglichen es Assistenzsysteme, einem Fahrstreifen auf Autobahnen automatisch zu folgen. Von verschiedenen Forschungsprojekten und Firmen (z.B. Google, 2015; Nothdurft et al., 2011; Ziegler et al., 2014) wurden Versuchsfahrzeuge entwickelt, die eine Fahrt im Straßenverkehr ohne menschliches Zutun absolvierten.

Bernhart (2015) sagt für die nächsten Jahre eine rasche Zunahme der Automatisierung von Fahrzeugführungsaufgaben in Pkw voraus. Die Gründe dafür liegen auf der Hand:

Individuelle Mobilität steigert die Lebensqualität und bietet dem Menschen einen Gewinn an Freiheit durch die Vergrößerung und flexible Gestaltung seines Bewegungsradius. Außerdem ist sie Voraussetzung für den Warenverkehr und damit die Basis für wirtschaftlichen Wohlstand. In den nächsten Jahren wird deshalb mit einer weiteren Erhöhung der weltweiten Anzahl an Kraftfahrzeugen gerechnet (Winterhoff et al., 2009). Durch die vermehrte Ausbreitung von Personenkraftwagen treten jedoch deren Nachteile immer stärker in Erscheinung:

Obwohl Pkw immer sicherer werden (DVR, 2015), sterben jährlich weltweit 1,24 Millionen Menschen im Straßenverkehr (World Health Organization, 2013). In Ballungsgebieten leiden immer mehr Menschen an der Überlastung der Verkehrswege und dem damit verbundenen Verlust an Lebensqualität durch Luftverschmutzung und Verkehrsstaus. Cebr (2014) schätzt die allein in Deutschland entstehenden jährlichen Kosten durch Zeitverlust in Verkehrsstaus auf 500 Euro pro Haushalt.

Die Automatisierung der Fahrzeugführung bietet Chancen, diese Probleme in den Griff zu bekommen. Da ein Großteil der Unfälle mit Personenschäden auf das Fehlverhalten von Pkw-Fahrern¹ zurückzuführen ist (z.B. in 69% der 2014 in Deutschland erfassten Unfälle; Statistisches Bundesamt, 2015), wird der Unterstützung des Fahrers oder der vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung durch ein automatisiertes System ein hohes Potential zur Vermeidung von Verkehrsunfällen zugesprochen (Cottrell & Barton, 2013; Gründl, 2005). Durch die Automatisierung der Fahrzeugführung könnte die vorhandene Verkehrsinfrastruktur durch eine homogenere Gestaltung des Verkehrsflusses effizienter genutzt werden, wodurch Verkehrsstaus vermieden und folglich Kraftstoffverbrauch, Schadstoffausstöße sowie Zeitverlust verringert werden würden (Shladover, 2009). Automatisierte Fahrzeugführung könnte zudem Menschen, die durch körperliche Einschränkungen bisher von der Führung eines Automobils ausgeschlossen sind, eine Chance bieten, zukünftig am mobilen Leben teilzunehmen (Schlag & Megel, 2002; Wallentowitz & Neunzig, 2005).

2016 trat die Anpassung der Wiener Konvention von 1968 (BGBl, 1977) in Kraft, wonach automatisierte Systeme in Kraftfahrzeugen erlaubt sind, wenn diese für den Fahrer übersteuerbar oder abschaltbar sind (Becker, 2016), was der automatisierten Fahrzeugführung den Weg ebnet.

Nichtsdestotrotz werden Systeme, die spezifische Fahrsituationen ohne jedes menschliche Zutun ausführen können, aufgrund diverser technischer, rechtlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen erst ab etwa 2025 erwartet. Bis dahin wird von einer inkrementellen Steigerung des Automatisierungsgrads ausgegangen (Bernhart, 2015). Bevor *hochautomatisierte* Systeme eingeführt werden, die in bestimmten Wirkungsräumen nicht vom Fahrer überwacht werden müssen, wird die *teilautomatisierte* Fahrzeugführung weiter an Bedeutung gewinnen. Bei dieser Art der Fahrzeugführung muss der Fahrer das Fahrzeug im Regelfall zwar nicht selbst stabilisieren, jedoch ständig die ordnungsgemäße Funktion des Systems überwachen und im Falle einer Systemstörung die Führung des Fahrzeugs in ausreichend kurzer Zeit wieder sicher übernehmen.

Wenn die Entwicklung wie erwartet eintritt, wird in nächster Zeit die Koexistenz von menschlicher und maschineller Fahrzeugführung in Form von teilautomatisierter Fahrzeugführung zunehmen, wobei dem Menschen Aufgaben übertragen werden, die noch nicht automatisiert werden können. Dies zieht neue Fragestellungen und Probleme nach sich. Bereits 1983 wies Bainbridge in dem Artikel *Ironies of Automation* (Bainbridge, 1983) auf Probleme, wie dem Verlust von Situationsbewusstsein und dem Verlust der Fähigkeit, die Aufgaben der Automation zurückzuübernehmen, hin, die entstehen können, wenn die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine bei der Gestaltung von automatisierten Systemen nicht fähigkeitsgerecht geschieht.

¹ Es sind stets Personen männlichen und weiblichen Geschlechts gleichermaßen gemeint; aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird im Folgenden nur die männliche Form verwendet.

Ist der Fahrer nicht in der Lage, die ihm zugewiesenen Aufgaben zuverlässig ausführen oder im Falle von Systemstörungen bereit, Fahrzeugführungsaufgaben ausreichend schnell zurück zu übernehmen, stellt dies ein hohes Sicherheitsrisiko des Mensch-Maschine-Systems dar (Banks & Stanton, 2014). Verschiedene Studien untermauern diese Aussage. Beispielsweise stellten Brookhuis et al. (2009) fest, dass die Fähigkeit der Fahrer, die Verkehrssituation zu überwachen, unter automatisierter Fahrzeugführung abnimmt. Waard et al. (1999) kamen zur Erkenntnis, dass beim Systemfehler eines Autobahnassistenten 50 % der Fahrer die Kontrolle nicht zurückerlangten, da sie der Ansicht waren, das System würde eingreifen, obwohl es fehlerhaft arbeitete.

Für die sichere Nutzung der teilautomatisierten Fahrzeugführung stellt *manöverbasierte Fahrzeugführung* (vgl. Winner et al., 2006) einen vielversprechenden Ansatz dar. Bei ihr bleibt der Fahrer aktiv in die Fahrzeugführung eingebunden, indem er Manöver an die Automation delegiert, die diese daraufhin ausführt. Da der Fahrer zur Wahrnehmung seiner Aufgaben relevante Informationen aus der Umgebung aufnehmen und interpretieren muss, wird erwartet, dass er auf diese Weise ausreichend *Situationsbewusstsein* aufbaut, was Voraussetzung für eine erfolgreiche Rückübernahme der Fahrzeugführung im Falle von Systemstörungen ist (van den Beukel & van der Voort, 2013a). Aus diesem Grund soll die manöverbasierte Fahrzeugführung mit einem teilautomatisierten Assistenzsystem in dieser Arbeit untersucht werden.

Neben ausreichendem Situationsbewusstsein ist Voraussetzung für einen sicheren Umgang mit teilautomatisierter Fahrzeugführung, dass der Fahrer sowohl im funktionsfähigen Zustand als auch im Fehlerfall der Automation sich seiner Aufgaben sowie der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine jederzeit bewusst und so in der Lage ist, bei Bedarf Fahrzeugführungsaufgaben von der Automation zu übernehmen. Damit die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung ihre unterstützende Wirkung entfalten kann, muss der Fahrer sie akzeptieren und den Umgang mit ihr positiv bewerten.

Zur genaueren Betrachtung des menschlichen Umgangs mit teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung werden Untersuchungen durchgeführt. Deren Zielsetzung wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

1.2. Zielsetzung

In dieser Arbeit wird der Umgang des Fahrers mit teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung experimentell untersucht. Der Fokus liegt auf der Betrachtung des menschbezogenen Umgangs mit Systemstörungen. Als Umsetzung von manöverbasierter teilautomatisierter Fahrzeugführung wird das PRORETA 3-System (Bauer et al., 2012; Winner et al., 2015) zugrunde gelegt.

Es soll herausgefunden werden, ob der Fahrer bei teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung Systemverständnis besitzt, d.h. die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine versteht, und von welchen Faktoren dieses Systemverständnis bei Systemstörungen abhängig

ist. Mit Systemverständnis ist das Verständnis des Fahrers der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine gemeint. Außerdem sollen Einflussfaktoren auf das Vermögen des Fahrers, die Fahrzeugführung zurückzuübernehmen, das Situationsbewusstsein und die subjektive Bewertung der teilautomatisierten Fahrzeugführung untersucht werden. Neben dem Umgang des Fahrers mit Systemstörungen werden auch Systemverständnis, Situationsbewusstsein und subjektive Bewertung bei funktionsfähiger teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung betrachtet.

Für die Bewertung des teilautomatisierten Assistenzsystems werden Methoden ausgewählt sowie eine experimentelle Studie konzipiert, durchgeführt und ausgewertet. Aufgrund der Versuchsergebnisse soll eine Einschätzung abgegeben werden, ob der Fahrer seiner Rolle als Teil des Systems und seiner Funktion als „Rückfallebene“ gerecht wird, also in der Lage ist, die Fahrzeugführung zurückzuübernehmen. Aus den Ergebnissen werden Hinweise für eine menschengerechte Gestaltung zukünftiger teilautomatisierter Fahrzeug-Automatisierungskonzepte gewonnen und eine Einschätzung der Sicherheit des Mensch-Maschine-Systems in verschiedenen Situationen gegeben.

Die Ziele sind im Einzelnen:

- Auswahl von subjektiven und objektiven Kenngrößen zur Bewertung des Umgangs des Fahrers mit Systemstörungen.
- Bewertung des Umgangs des Fahrers mit Systemstörungen in Probandenversuchen.
- Ableiten von Gestaltungshinweisen für teilautomatisierte Fahrzeugführung.

Es ist nicht Ziel der Arbeit, die Kontrollierbarkeit des Systems in Kennzahlen zu beschreiben oder die Absicherung eines Fahrerassistenzsystems vorzunehmen.

1.3. Aufbau der Arbeit

Im Kapitel *Theoretische Grundlagen* werden zuerst Aspekte der menschbezogenen Fahrzeugführung betrachtet. Es werden Beschreibungsmöglichkeiten der Fahrzeugführungsaufgaben vorgestellt und ein in der Arbeit zu verwendendes Schema ausgewählt. Danach wird die menschliche Informationsverarbeitung bei der Fahrzeugführung beschrieben. Nachfolgend werden der Begriff des Situationsbewusstseins umrissen und die menschliche Handlungsregulation durch Verhaltensebenen beschrieben. Im nächsten Abschnitt wird auf die automatisierte Fahrzeugführung eingegangen. Es werden die Einteilung in Automatisierungsgrade beschrieben, der Begriff der Mode-Awareness definiert und verschiedene Fahrzeug-Automatisierungskonzepte vorgestellt. Anschließend wird auf das Konzept zur teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung PRORETA 3 eingegangen. Im nächsten Abschnitt werden der Begriff der Systemstörungen definiert und der Stand der Forschung zum Umgang mit Systemstörungen bei kontinuierlich automatisierter Fahrzeugführung beschrieben, um die Forschungslücken herauszuarbeiten und die Forschungsfragen zu formulieren.

Im Kapitel *Experimentelle Studien* werden zunächst die Anforderungen an das Versuchskonzept definiert. In den darauffolgenden Schritten werden aus den Forschungsfragen die zu prüfenden

Hypothesen abgeleitet und die zur Hypothesenprüfung benötigten Kennwerte bestimmt. In den nächsten Abschnitten werden Versuchsaufbau, Probandenkollektiv, Versuchsablauf und Versuchsplan sowie Methodik der Auswertung erläutert.

Im Kapitel *Ergebnisse* wird der Einfluss der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung und der Systemstörungen auf Systemverständnis, Situationsbewusstsein und subjektive Bewertung dargestellt. Außerdem werden die Fahrerreaktionen bei Systemstörungen beschrieben und Reaktionszeiten ermittelt.

Danach werden die Ergebnisse und die Methodik diskutiert und am Ende ein Ausblick gegeben.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Menschbezogene Fahrzeugführung

In diesem Kapitel wird die Fahrzeugführung durch den Menschen betrachtet. Zuerst wird auf die zur Fahrzeugführung gehörenden Aufgaben eingegangen, danach wird die menschbezogene Fahrzeugführung als Regelkreis dargestellt. Anschließend wird der Begriff des Situationsbewusstseins beschrieben und die menschlichen Verhaltensebenen nach Rasmussen (1983) werden erläutert.

2.1.1. Fahrzeugführungsaufgaben

In diesem Abschnitt werden die Aufgaben bei der Führung eines Kraftfahrzeugs bestimmt. Dies ist Voraussetzung zur Beschreibung von Automatisierungsgraden, der vom Fahrer auszuführenden Aufgaben und um zu überprüfen, ob der Fahrer seine Aufgaben versteht und ausführt.

McKnight & Adams (1970a, 1970b) sowie McKnight & Hundt (1971a, 1971b) führten umfassende Studien durch, die das Ziel hatten, alle für die Fahrzeugführung relevanten Aufgaben zu identifizieren. Sie identifizierten über 1700 einzelne Aufgaben, die sie zu 45 Hauptaufgaben zusammenfassten. Neun Aufgaben davon gehören nicht direkt zum Führen eines Kraftfahrzeugs, wie zum Beispiel die Instandhaltungsaufgaben. Die übrigen wurden in Kategorien unterteilt, wie grundlegende Steuer- und Regelaufgaben (z.B. Beschleunigung, Lenken oder Anfahren), allgemeine Fahraufgaben (wie Überwachung, Navigation, Stadt- oder Autobahnfahrten), Aufgaben, die abhängig von der Verkehrssituation, dem Straßenzustand oder der Umgebung sind. Die Sammlung der Fahrzeugführungsaufgaben nach McKnight & Adams (1970b) ist vom Umfang her bis heute unerreicht, allerdings fehlt es ihr an logischer Struktur und Konsistenz. Einige Aufgaben stellen beispielsweise bestimmte Manöver dar, während andere lediglich Verhaltensweisen in allgemeinen Situationen, wie Nachtfahrten, beschreiben.

Bubb (2002, 2003a) schlägt eine Unterteilung der Fahrzeugführungsaufgaben in *primäre*, *sekundäre* und *tertiäre* Aufgaben vor, abhängig von ihrem Beitrag zur Erfüllung des Fahrzwecks: Die *primären* Fahraufgaben umfassen alle Aufgaben, die notwendig sind, das Fahrzeug unter Beachtung der Umweltbedingungen zum Ziel zu bewegen. Die *sekundären* Fahraufgaben unterstützen und ermöglichen die Ausführung der primären. Dazu zählen beispielsweise die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern (z.B. mittels Fahrtrichtungsanzeiger), die Reaktion auf aktuelle Umgebungsveränderungen (beispielsweise durch Betätigung der Scheibenwaschanlage), aber auch Überwachungsaufgaben (z.B. des Reifendrucks oder Tankinhalts). Die *tertiären* Aufgaben dienen nicht der Fahrzeugführung, sondern vielmehr der Befriedigung der Bedürfnisse des Fahrers nach Komfort (z.B. Bedienung der Klimaanlage), nach Unterhaltung (Bedienung des Radios) oder nach sozialem Kontakt (Nutzung des Telefons, Gespräche mit Insassen). Bubb (2002, 2003a) schlägt eine weitere Detaillierung der *primären* Fahraufgaben durch die 3-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführungsaufgabe nach Donges, (1982) (vgl. auch Michon, 1985 und Bernotat, 1970) vor.

Die 3-Ebenen-Struktur (Abbildung 1) untergliedert die primären Aufgaben in die Ebenen *Navigation*, *Bahnführung* und *Stabilisierung*. Auf jeder dieser Ebenen laufen Regelschleifen zur Ausführung der Fahrzeugführungsaufgaben ab. Die Ausgangswerte der Schleifen der höheren Ebene dienen als Sollvorgaben für die Schleifen der darunterliegenden Ebene.

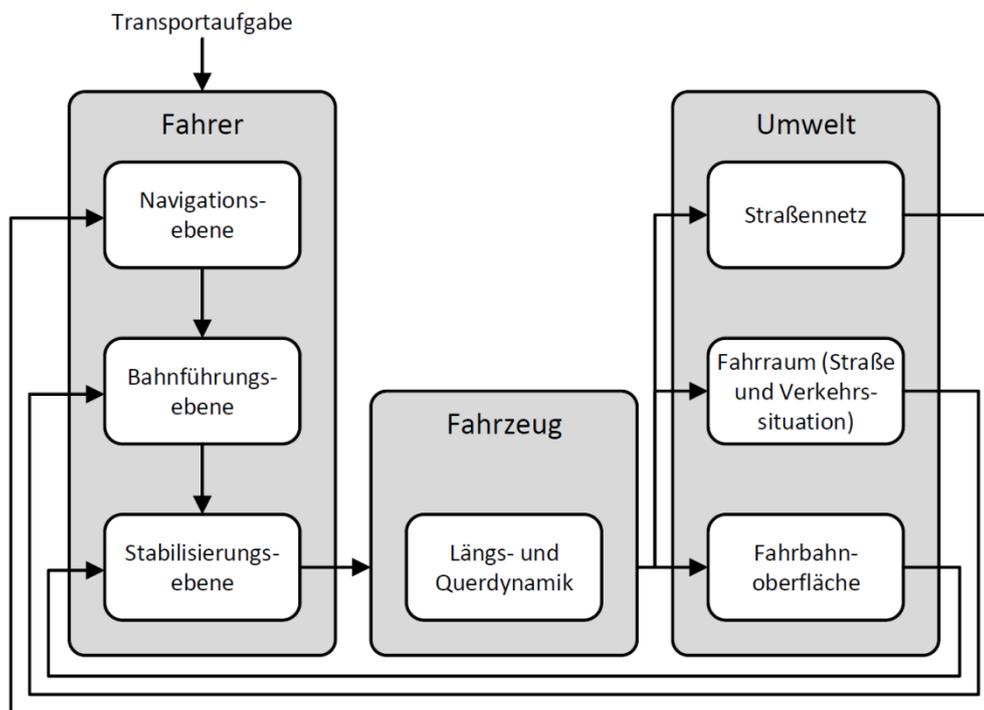


Abbildung 1: Hierarchische 3-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführungsaufgabe (Donges, 1982)

Zur untersten Ebene, der *Stabilisierungsebene*, gehört das Erkennen der relevanten Informationen aus dem wahrgenommenen visuellen Umfeld sowie die Umsetzung von Bedienelementbetätigungen, damit die seitliche Lage und die Längsposition des Fahrzeugs den Anforderungen durch die Aufgabe entsprechen (Bubb, 2002). Voraussetzung für die Erfüllung der Stabilisierungsaufgabe ist die Festlegung eines vom Fahrer gewünschten Kurses, der im unmittelbaren örtlichen (Bubb (2002) nennt einen Bereich von 200 m) und zeitlichen (Donges (1982) einen Zeitraum von wenigen Sekunden) Umfeld festlegt, wie sich das Fahrzeug bewegen soll. Dieser Teil der Fahraufgaben wird der *Bahnführungsebene* zugeordnet. Dieser vorgelagert ist die *Navigationsebene*, in der die Ziele bezüglich der Fahrtroute im Straßennetz und der zeitlichen Vorgaben festgelegt werden.

Die 3-Ebenen-Struktur ist zur Beschreibung der herkömmlichen Fahrzeugführung weit verbreitet. Kommt in das Fahrer-Fahrzeug-System die Automation, die Teile der Fahrzeugführung übernimmt, als weitere Komponente hinzu, stößt die 3-Ebenen-Struktur an ihre Grenzen. Deshalb führen (Hollnagel et al. (2003) das Driver-in-Control (DiC) - Modell, ein 4-Ebenen-Modell ein. Es betrachtet das Gesamtsystem aus Fahrer und Fahrzeug und eignet sich daher zur Beschreibung automatisierter Fahrzeugführung.

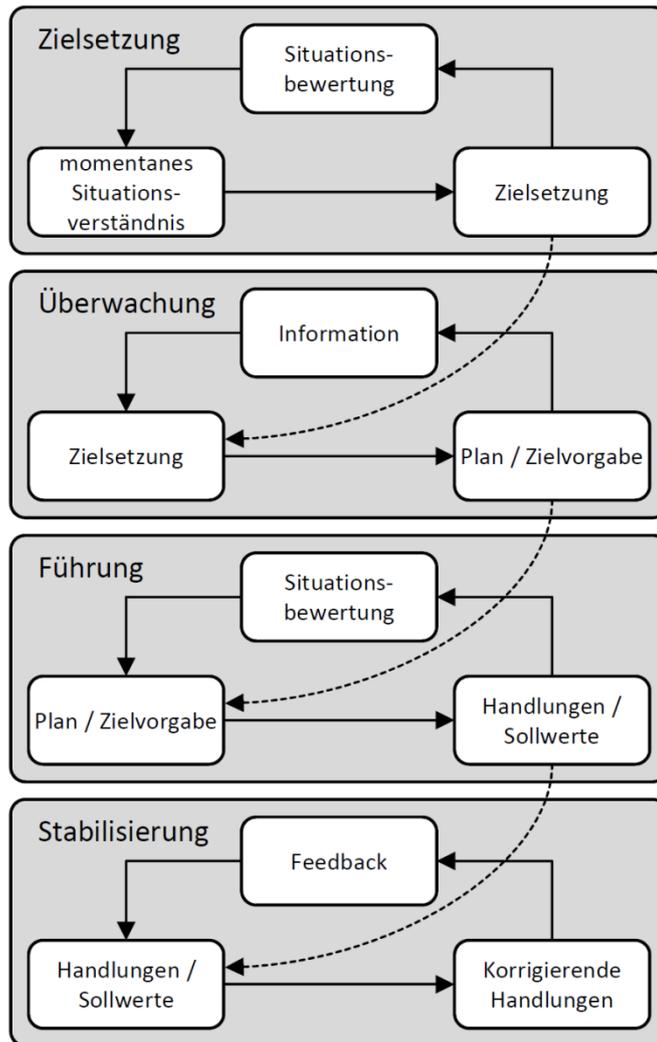


Abbildung 2: Prinzipien des Driver-in-Control-Modells nach Hollnagel et al. (2003)

Im DiC-Modell wird die Fahrzeugführung durch mehrere simultan ablaufende Steuer- und Regelkreise dargestellt, die sich auf vier hierarchische Ebenen aufteilen: *Tracking*, *Regulating*, *Monitoring* sowie *Targeting*. Targeting (Zielsetzung) entspricht in etwa der Navigationsebene im 3-Ebenen-Modell, Regulating (Führung) der Bahnführungsebene sowie Tracking (Stabilisierung) der Stabilisierungsebene. Neu hinzu kommt die Monitoring-Ebene (Überwachung), die die permanente Überwachung des Status des Fahrer-Fahrzeug-Systems beschreibt.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, beschreibt jede Ebene einen Regelkreis, der nach demselben Schema aufgebaut ist: Die Ziele werden von der nächsthöheren Ebene vorgegeben und bestimmen den Ausgangspunkt für Aktionen, deren Ergebnisse dann wieder mit den Zielen verglichen werden, um Abweichungen festzustellen. Die einzelnen Ebenen sind über Ziel- (von oben nach unten) und Ist-Größen (von unten nach oben) untereinander verknüpft. Das Fahrer-Fahrzeug-System wird als *Joint Driver-Vehicle System (JDVS)*, als eine Einheit, betrachtet.

Die *Stabilisierung*-Schleife stellt die unterste Ebene dar. Ihr sind Fahraufgaben zugeordnet, die nötig sind, um die Geschwindigkeit, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, die relative oder absolute laterale Position des Fahrzeugs etc. einzuhalten. Stabilisierungs-Aufgaben sind Regelaufgaben („closed-loop control“), die geübte Fahrer mit geringer Anstrengung und ohne ihnen viel Aufmerksamkeit zu widmen, ausführen (Hollnagel et al., 2003).

Die *Führung*-Schleife legt die Ziele und Kriterien für die Stabilisierungs-Ebene fest. „Führung“ ist meist eine Regelaufgabe, wobei auch Vorsteuerung möglich ist. Auf dieser Ebene werden Zielgeschwindigkeit, spezifische Position und Bewegung relativ zu anderen Verkehrsobjekten etc. bestimmt und somit als Zielgrößen auf der untergeordneten *Stabilisierungs*-Ebene vorgegeben (Hollnagel et al., 2003).

Die *Überwachung*-Schleife beschäftigt sich mit dem Status des Joint Driver-Vehicle System in Bezug zur Umgebung (z.B. Verkehrsfluss, Gefahren) und generiert die Pläne und Ziele, die von den Führungs- und Stabilisierungs-Schleifen verwendet werden. Auf dieser Ebene wird der Status des JDVS überwacht – z.B. der Zustand des Fahrzeugs, seine Position, die verfügbaren und genutzten Ressourcen usw. – „Überwachung“ beschäftigt sich mit Verkehrszeichen (z.B. Wegweisern), Warnungen (z.B. vor Straßenzuständen und Kurven), Beschränkungen (z.B. Einbahnstraßen oder Geschwindigkeitsbeschränkungen) sowie anderen Verkehrsteilnehmern. Überwachung ist deshalb eine Mischung aus Steuerung und Regelung („closed-loop“ und „open-loop control“) (Hollnagel et al., 2003).

Die *Zielsetzung*-Schleife generiert z.B. den Zielort und die Kriterien der Fahrzeugführung. „Zielsetzung“ ist eine Steueraufgabe, die eine längere Zeitperiode in Anspruch nimmt (Hollnagel et al., 2003).

Durch das DiC-Modell kann beschrieben werden, wie sich Störungen auf die verschiedenen Ebenen auswirken. Z.B. kann sich eine Störung auf der Stabilisierungs-Ebene, wie ein eingreifendes Fahrerassistenzsystem, auf die Führungs-Ebene und eine starke Störung sogar auf die Überwachungs-Ebene auswirken (Hollnagel et al., 2003). Aus diesem Grund soll in dieser Arbeit das DiC-Modell zur Beschreibung der Fahrzeugführungsaufgaben verwendet werden.

Einen Überblick über die vier Ebenen gibt Tabelle 1. In ihr werden die Art der Regelung, die Beanspruchung der Aufmerksamkeit des Fahrers, die Auftretenshäufigkeit von Aufgaben und die typische Dauer von Aufgaben auf den vier Ebenen dargestellt.

Tabelle 1: Funktionale Charakteristika der vier Ebenen des DiC-Modells (Hollnagel et al., 2003)

	Art der Regelung	Beanspruchung der Aufmerksamkeit	Auftretenshäufigkeit	Typische Dauer
Zielsetzung	Zielsetzung (Vorsteuerung)	hoch, konzentriert	selten (meist vor der Fahrt)	kurz (Minuten)
Überwachung	Zustands-Überwachung (Rückkopplung und Vorsteuerung)	gering (Fahrzeug), hoch (Verkehr, Gefahren)	sporadisch, aber regelmäßig (Fahrzeug), ständig (Verkehr, Gefahren)	10 Minuten bis Dauer der Fahrt
Führung	antizipatorisch (Rückkopplung und Vorsteuerung)	hoch (un-gewöhnliche Manöver)	sehr hoch (innerorts), mittel (außerorts)	1 Sekunde bis 1 Minute
Stabilisierung	kompensatorisch (Rückkopplung)	keine	kontinuierlich	< 1 Sekunde

2.1.2. Mensch-Fahrzeug-Regelkreis

Das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine bei der Fahrzeugführung lässt sich als Regelkreis (s. Abbildung 3) darstellen. Der Mensch wird dabei als Regler, das zu führende Fahrzeug als Regelstrecke angesehen. Die Führungsgröße wird vorgegeben, die Aufgabe des Regelkreises besteht darin, die Regelgröße des Gesamtsystems möglichst genau an die Führungsgröße anzupassen. Aufgrund von Störgrößen aus der Umwelt lässt sich das Systemverhalten nicht immer genau vorhersagen. Wegen der unvermeidbaren Verzögerungen der Reaktion von Mensch und Maschine kann die Regeldifferenz zwischen Führungs- und Regelgröße nicht beliebig schnell ausgeregelt werden. Die Reaktionsverzögerungen können bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden, wenn der zukünftige Verlauf der Führungsgröße und das dynamische Regelkreisverhalten bekannt oder wenigstens gut antizipierbar sind. Der Mensch ist durch sogenannte *mentale Modelle* zur Antizipation fähig. Diese werden durch den Vergleich äußerer Wahrnehmung mit den im Gehirn gespeicherten Konzepten aufgebaut und repräsentieren die äußere Welt mit ihren Gesetzmäßigkeiten. Dadurch ist es nicht mehr notwendig, Aktionen tatsächlich durchzuführen, um ihre Konsequenzen festzustellen, sondern das innere Modell kann den Verlauf der Dinge selbst antizipieren. Es liefert nach Vorgabe der Anfangs- und Randbedingungen das wahrscheinlich zukünftige Ergebnis. Die Lernfähigkeit ermöglicht dem Regler *Mensch*, im Laufe der Zeit sein Verhalten für den gesamten Regelkreis zu optimieren (Übung) und sich so den Eigenschaften der Regelstrecke (Maschine) anzupassen (Schlick et al., 2010).

Bei einer plötzlichen Änderung des Antwortverhaltens der Regelstrecke kann sich der Mensch als Regler auf die neuen Gegebenheiten einstellen, was als *Selbsteinstellung* bezeichnet wird (Marienfeld,

Situationsbewusstsein. Außerdem benötigen sie mehr Zeit, um mit der Problemlösung und der Übernahme der manuellen Handlungsausführung zu beginnen, als Menschen, die schon über ausreichendes Situationsbewusstsein verfügen, da sie zuerst noch die momentanen Systemparameter erfassen müssen (Endsley & Kiris, 1995).

Buld et al. (2002) beschreiben Situationsbewusstsein im Kontext der Fahrzeugführung als Kombination aus 1.) geographischer Orientierung, d.h. dem Wissen des Fahrers über Lage und Orientierung im Verkehrsraum sowie über andere Objekte und Geschehnisse, wie Verkehrsaufkommen und Straßenzustand, 2.) dem Systembewusstsein, d.h. dem Wissen über den gegenwärtigen und zukünftigen technischen Stand des Systems und die Kenntnis darüber, wie und in welcher Situation das System reagiert und 3.) dem Aufgabenbewusstsein, dem Bewusstsein darüber, welche Aufgaben in welcher Reihenfolge erledigt werden müssen.

Da unterschiedliche Definitionen des Situationsbewusstseins existieren, wird nachfolgend ein Überblick über verschiedene Ansätze gegeben.

Bedny & Meister (1999) beschreiben Situationsbewusstsein mit Hilfe der Aktivitätstheorie, die die verschiedenen kognitiven Prozesse menschlichen Verhaltens mittels eines systemtheoretischen Ansatzes durch verschiedene miteinander verknüpfte Funktionsblöcke beschreibt. Dieser legt zugrunde, dass das Individuum Ziele besitzt, die einen gewünschten Zustand beschreiben. Abweichungen des aktuellen vom gewünschten Zustand motivieren den Menschen zu handeln, um den gewünschten Zustand zu erreichen. Laut Bedny & Meister (1999) umfasst die Aktivität der Handlung drei Stufen: die Orientierungsstufe, die Ausführungsstufe und die Evaluationsstufe. In der Orientierungsstufe wird eine interne Abbildung der Welt bzw. der momentanen Situation erzeugt. Ein Bestandteil dieser Stufe ist die subjektiv empfundene Situation im Inneren des Menschen. Diese ist zusammengesetzt aus dem Situationsbewusstsein, welches die dem Menschen *bewussten* Inhalte der Situation enthält und den „operative images“, welche die dem Menschen *unbewusste* Informationen darstellen. Laut Bedny & Meister (1999) findet eine Transformation von bewussten in unbewusste Inhalte und umgekehrt statt. Nach Bedny & Meister (1999) ist Situationsbewusstsein ein separater Funktionsblock im Modell der Aktivitätstheorie, der eng mit den kognitiven Prozessen der Handlungsauswahl und -durchführung verknüpft ist.

Smith & Hancock (1995) betrachten Situationsbewusstsein als „generativen Prozess von Wissensbildung und informiertem Handeln“. Laut Smith & Hancock (1995) existiert Situationsbewusstsein weder in der Person noch in der Umwelt, sondern besteht aus der Interaktion der Person mit der Umwelt. Situationsbewusstsein hat den Zweck, durch regelmäßige Informationsaufnahme aus der Umwelt das notwendige Wissen über die Situation zu generieren, um eine Aufgabe erfüllen zu können. Smith & Hancock (1995) ziehen den Vergleich zur Selbstreflexion, die das Bewusstsein des Menschen über sich selbst ermöglicht, während Situationsbewusstsein das Bewusstsein über seine Umwelt bestimmt. Smith & Hancock (1995) argumentieren, dass der Prozess des Aufbaus und Aufrechterhaltens von Situationsbewusstsein von internen mentalen Modellen

unterstützt wird, die situationspezifische Informationen enthalten und so die Antizipation von Ereignissen erleichtern. Sie helfen außerdem, die menschliche Aufmerksamkeit auf bestimmte Elemente der Umgebung auszurichten sowie den Verlauf der Handlungen zu bestimmen. Wie Bedny & Meister (1999) betrachten auch Smith & Hancock (1995) das Situationsbewusstsein sowohl als Prozess zur Erlangung des Bewusstseins wie auch als Produkt, dem Zustand des erlangten Bewusstseins. Ihr Modell erklärt nicht nur die kognitiven Aktivitäten zum Erreichen von Situationsbewusstsein, sondern enthält gleichzeitig eine Erklärung, woraus das Situationsbewusstsein besteht.

Auch Adams et al. (1995) beschreiben Situationsbewusstsein bestehend aus dem Produkt des Situationsbewusstseins und dem Prozess zur Gewinnung desselben. Sie legen Neissers (1976) „perceptual cycle model“ zugrunde, um das Entstehen von Situationsbewusstsein durch die kreisförmig angeordneten Elemente „Umgebung“, aus der die Informationen aufgenommen werden, „Gedächtnis“, in dem das Modell der Situation abgelegt wird und der unter Berücksichtigung des Situationsmodells ausgeführten „Bewegung und Handlungen“ zu beschreiben. Bei der Bildung von Situationsbewusstsein findet auch hier eine ständige Interaktion zwischen dem Individuum und der Umwelt statt. Wie auch von Smith & Hancock (1995) wird Situationsbewusstsein als aktiver Prozess für die zielgerichtete Suche nach relevanten Informationen verstanden. Bei dem kreisförmigen Prozess nach Adams et al. (1995) kann jeder Punkt als Ausgangspunkt angesehen werden. Das Situationsbewusstsein ist einerseits der Zustand des aktiven Schemas, das die Auswahl und Interpretation von Ereignissen steuert (Produkt) und andererseits der Zustand des Wahrnehmungs-Zyklus in einem beliebigen Moment (Prozess) (vgl. Salmon, 2009).

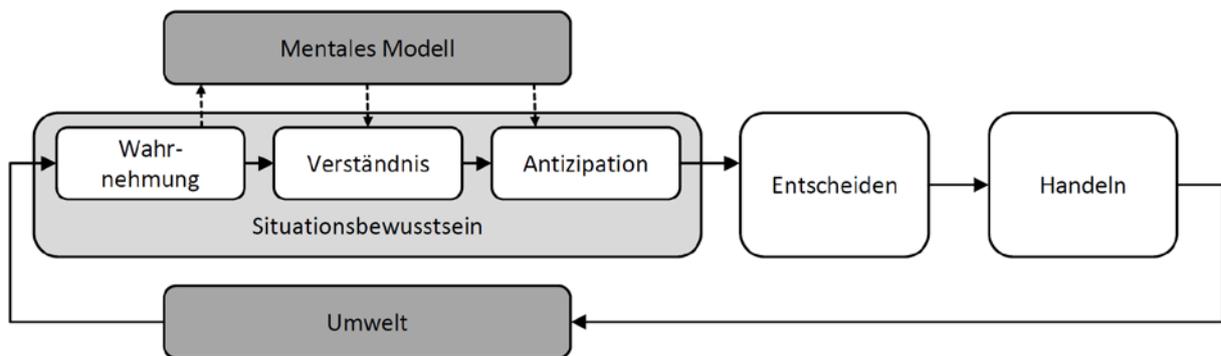


Abbildung 4: Modell des Situationsbewusstseins nach Endsley (1988), Abbildung in Anlehnung an Jones & Endsley (2000)

Im Gegensatz zu den zuvor erwähnten kreisförmigen kontinuierlichen Prozessen zur Gewinnung von Situationsbewusstsein legt Endsley, (1988) einen linearen kognitiven Prozess mit definiertem Anfangs- und Endpunkt zugrunde (Abbildung 4). Wie beim vierstufigen Prozess menschlicher Informationsverarbeitung (vgl. Kapitel 2.1.2) beschreibt die lineare Anordnung der Elemente den zeitlichen Ablauf des Informationsverarbeitungsprozesses (Endsley & Garland, 2000). Die erste Stufe besteht aus der Wahrnehmung der in der entsprechenden Situation relevanten Faktoren. Auf der zweiten Stufe werden die in der ersten gesammelten Informationen verarbeitet und so ein

ganzheitliches Verständnis der Situation aufgebaut sowie eine Einordnung und Bewertung der einzelnen Elemente vorgenommen. Dieser Prozess geschieht im Abgleich mit den Zielen des Menschen und der Relevanz für die darauf folgenden Handlungen. Er wird durch die Vertrautheit mit der Situation beeinflusst (Endsley, 2006). In der dritten Stufe erfolgt die Antizipation zukünftiger, aber auch gegenwärtiger Ereignisse, basierend auf dem Verständnis der zweiten Ebene (Endsley & Kiris, 1995). Die Auswahl einer geeigneten Handlung und deren Durchführung ist nach Endsley (1988) nicht Bestandteil des Situationsbewusstseins. Für die Prozesse des Verständnisses und der Antizipation sind auch hier die menschlichen mentalen Modelle der entsprechenden Situation von Bedeutung (Jones & Endsley, 2000). Sie sind Abbildungen der wahrgenommenen Umwelt und repräsentieren Systeme oder bestimmte Klassen von Situationen (z.B. herkömmliche Fahrzeugführung vs. solcher mit einem defekten Reifen; Jones & Endsley, 2000). Mentale Modelle werden durch wiederholtes Erleben gebildet und im Langzeitgedächtnis abgelegt. Beim Erleben einer Situation werden bei einem vorhandenen und ausreichend ausgeprägten mentalen Modell Mustererkennungstechniken verwendet, um so die Bedeutung der dargestellten Informationen zu interpretieren. Das mentale Modell beeinflusst die Art und Weise, in der eine Person die Bedeutung und Relevanz einer eingehenden Information interpretiert. Ist das vorhandene mentale Modell eines bestimmten Kontexts nicht korrekt, gar nicht oder nur unvollständig vorhanden, können Informationen fehlinterpretiert werden.

Die dargestellten Modelle zeigen, dass verschiedene Sichtweisen des Konstrukts Situationsbewusstsein existieren. Sie unterscheiden sich grundlegend in ihren Ansätzen. So gehört das 3-Ebenen-Modell von Endsley (1988) zu den kognitiven Theorien, während das Modell von Smith & Hancock (1995) einem sogenannten ökologischen Ansatz folgt. Endsleys (1988) Ansatz basiert auf dem Prozess der Informationsverarbeitung, wohingegen die Modelle von Smith & Hancock (1995) sowie Adams et al. (1995) auf dem Wahrnehmungszyklus von Neisser (1976) aufbauen. Das Modell von Bedny & Meister (1999) fußt auf der Theorie der Aktivität.

Jedes der Modelle hat seine speziellen Vorteile. Smith & Hancocks (1995) und Adams et al. (1995) Modelle gehen gut auf die dynamische Eigenschaft des Situationsbewusstseins ein, Endsley (1988) liefert eine intuitiv verständliche Beschreibung des Situationsbewusstseins und erlaubt eine einfache Messung desselben auf den einzelnen Ebenen, Bedny & Meister (1999) ermöglichen eine ganzheitliche Betrachtung des Situationsbewusstseins (vgl. Salmon, 2009).

Allen Modellen gemeinsam ist die Tatsache, dass ein kontinuierlicher Informationsaustausch mit der Umwelt und ein ständiger Abgleich des Situationsmodells mit der momentanen Situation Voraussetzung für Bildung und Aufrechterhalten eines ausreichenden Situationsbewusstseins sind.

2.1.4. Menschliche Verhaltensebenen

Das Modell menschlicher Verhaltensebenen von Rasmussen (1983) (Abbildung 5) beschreibt die Handlungsregulation des Menschen über drei hierarchisch angeordnete Ausführungsebenen menschlichen Verhaltens. Es eignet sich zur Beschreibung von zielgerichteten Tätigkeiten des

Menschen, wie etwa dem Führen von Kraftfahrzeugen. Die drei Ebenen repräsentieren Kategorien unterschiedlich starker kognitiver Inanspruchnahme des Menschen im Arbeitsprozess. Diese reichen von alltäglichen Routinesituationen über unerwartete Herausforderungen bis hin zu seltenen kritischen Störfällen (Donges, 2008). Die Unterteilung erfolgt in *wissensbasiertes*, *regelbasiertes* und *fertigkeitsbasiertes* Verhalten. Treffen komplexe Anforderungssituationen den Menschen unvorbereitet und verlangen ihm untrainierte Handlungsweisen ab, so wird dies durch die Ebene des *wissensbasierten Verhaltens* dargestellt. Bei dieser Verhaltensform werden in einem mentalen Prozess verschiedene Handlungsalternativen durchgespielt und auf ihre Brauchbarkeit für das angestrebte Ziel geprüft. Die als am besten eingeschätzte Alternative wird eventuell als Regel für zukünftige Fälle gespeichert und über motorische Reaktionen umgesetzt.

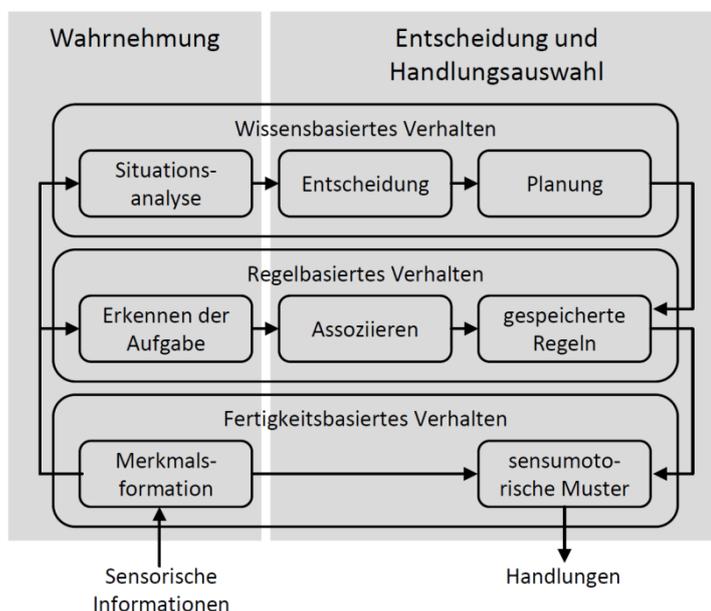


Abbildung 5: Modell menschlicher Verhaltensweisen (Rasmussen, 1983), Darstellung nach (Abendroth, 2001)

Das Durchspielen verschiedener Handlungsalternativen geschieht auf der Basis bereits vorhanden Wissens oder auf der Basis von Wissen, das erst noch erworben werden muss, was dementsprechend zeitaufwändig und fehleranfällig ist. Das *regelbasierte Verhalten* unterscheidet sich vom wissensbasierten dadurch, dass die ein Handeln erfordernde Gegebenheit schon früher häufiger aufgetreten ist, der Mensch bereits über ein Repertoire von Verhaltensmustern (Regeln) verfügt und somit die nach subjektiver Erfahrung effektivste Variante abgerufen wird. Das *fertigkeitsbasierte Verhalten* ist durch reflexartige Reiz-Reaktions-Mechanismen charakterisiert, die erlernt wurden und dann in einem selbsttätigen, nicht mehr bewusste Kontrolle erfordernden, stetigen Fluss ablaufen. Diese antrainierten Fertigkeiten sind typisch für routinemäßig wiederkehrende Handlungsabläufe und stellen die zeitlich effektivste Form menschlichen Verhaltens dar. Sie weisen die höchste Verarbeitungsgeschwindigkeit auf und ermöglichen rasches und flexibles Reagieren auf situative Veränderungen (Rasmussen, 1983).

Häufig werden Parallelen vom Rasmussen-Modell zu der 3-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges (2008) (vgl. Punkt 2.1.1) gezogen. Aufgaben auf der Navigationsebene erfordern eine Handlungsauswahl anhand eindeutiger Ziele (z.B. schnellste oder kostengünstigste Route) sowie bewusste Planung und werden deshalb häufig dem wissensbasierten Verhalten zugeordnet. Aufgaben auf der Bahnführungsebene entsprechen regelbasiertem Verhalten, da die Entscheidungen über die Soll-Spur und Soll-Geschwindigkeit anhand fixer Entscheidungsregeln „wenn-dann“ getroffen werden. Aufgaben auf der Stabilisierungsebene laufen meist fertigkeitbasiert ab, da die Regelung über Lenkrad und Pedale quasi automatisiert und unbewusst abläuft (Donges, 2008). Diese Zuordnung darf aber nicht als fest angenommen werden, da es vor allem von der spezifischen Situation, der Fahrerfahrung und der Häufigkeit der erlebten Situation abhängt, auf welchen kognitiven Ebenen sich die Aufgaben abspielen. Denn erst durch Erleben und Üben wandern Aufgaben von höheren auf niedrigere kognitive Ebenen des Rasmussen-Modells (vgl. Kienle, 2015).

2.2. Fahrzeugautomatisierung

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Automatisierung von Fahrzeugführung. Zuerst werden verschiedene Kategorisierungsmöglichkeiten von Automatisierungsgraden dargestellt. Es wird eine in dieser Arbeit zu verwendende Kategorisierung ausgewählt, die auch den Automatisierungsgrad *teilautomatisiert* beschreibt. Danach wird das Konzept der *Mode-Awareness* beschrieben. Zuletzt werden verschiedene Konzepte zur Fahrzeugautomatisierung vorgestellt, wobei auf die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung nach dem PROETA 3-Konzept detaillierter eingegangen wird.

2.2.1. Automatisierungsgrade

Um automatisierte Systeme zu beschreiben und zu kategorisieren, wird die Taxonomie der Automatisierungsgrade verwendet. Zur Kategorisierung der Automatisierungsgrade können verschiedene Unterscheidungskriterien herangezogen werden. Gebräuchlich sind etwa die *Systemfunktionen*, die *Aufgabenallokation* zwischen Fahrer und System, die *Aufgabencharakteristika* oder die *Situationen*, in denen die Automation zum Einsatz kommt (Spring, 2011).

Sheridan & Verplank (1978) betrachten die Aufgabenverteilung der Systemfunktionen *Alternativengenerierung* (Entwicklung von Handlungsalternativen oder Strategien), *Alternativenreduzierung* (Einschränkung der möglichen Handlungsalternativen), *Handlungsauswahl* (Entscheidung für eine Handlungsalternative oder Strategie) und *Handlungsumsetzung* (Ausführung der ausgewählten Handlung) zwischen Mensch und Maschine zur Definition von zehn Automatisierungsgraden. Je mehr Systemfunktionen von der Maschine ausgeführt werden, desto höher ist der Automatisierungsgrad. Das Spektrum reicht von „Der Mensch verrichtet alle Aufgaben“ (Stufe 1) über „Die Maschine ermittelt Handlungsalternativen, wählt eine aus und führt sie aus, falls der Mensch zustimmt“ (Stufe 5) bis zu „Die Maschine führt alle Aufgaben automatisch aus und ignoriert den Menschen“ (Stufe 10). Tabelle 2 zeigt die Charakterisierung der Automatisierungsgrade durch Allokation der Systemfunktionen. Es wird dargestellt, ob die jeweilige Systemfunktion durch den Menschen (M) oder die Automation (A)

ausgeführt wird. In den Automatisierungsgraden 5 bis 10 werden alle Systemfunktionen von der Automation ausgeführt. Sie unterscheiden sich jedoch in der Art, wie der Nutzer in den Prozess eingreifen kann (Zustimmung vor der Ausführung nötig?) und wie ihm Rückmeldung nach der Handlungsausführung gegeben wird (Information immer, nur nach Anfrage durch den Nutzer, nach Bedarf, nie). Sheridan & Verplank (1978) sehen keine gemeinsame Ausführung einzelner Systemfunktionen durch Mensch und Maschine vor. Ebenso wenig berücksichtigen sie die Überwachung der Automation durch den Menschen.

Tabelle 2: Allokation der Systemfunktionen zwischen Mensch (M) und Automation (A) in den Automatisierungsgraden 1 bis 10 nach Sheridan (1992)

Stufe	Alternativen-generierung	Alternativen-reduzierung	Handlungsauswahl	Handlungs-umsetzung
1	M	M	M	M
2	A	M	M	M
3	A	A	M	M
4	A	A	A	M
5 - 10	A	A	A	A

Diese Beschränkungen räumen Endsley & Kaber (1999) aus, indem sie die grundlegenden Systemfunktionen von Sheridan & Verplank (1978) um die des *Monitoring* erweitern, womit die Informationsaufnahme zur Ermittlung des Systemstatus beschrieben wird. Außerdem sehen sie die Möglichkeit einer gleichzeitigen Zuweisung von Systemfunktionen an Mensch und Maschine vor. Die Funktionen *Handlungsalternativen reduzieren* und *beste Handlungsalternative ermitteln* fassen sie zu *Auswahl* (Entscheidung für eine Handlungsalternative oder Strategie) zusammen. Billings (1997) nutzt ebenfalls die Definition der Automatisierungsgrade von Sheridan & Verplank (1978), fügt aber den Systemfunktionen noch die Bereitstellung von Informationen und Warnungen hinzu. Die beschriebenen Ansätze betrachten den Prozess der Entscheidungsfindung sehr genau, während die ausgeführten Handlungen nicht weiter detailliert werden. Mit diesen Ansätzen lässt sich nicht darstellen, dass einzelne Handlungen vom Menschen ausgeführt werden und andere von der Maschine.

Einen anderen Ansatz zur Definition von Automatisierungsgraden nutzen Parasuraman et al. (2000). Sie ziehen die vier Stufen des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses (vgl. Punkt 2.1.2) Wahrnehmung/Informationsaufnahme, Informationsanalyse, Handlungsentscheidung und Handlungs-umsetzung als Grundlage zur Beschreibung von automatisierten Systemen heran. Zu jeder Stufe des Informationsverarbeitungsprozesses wird die Höhe des Automatisierungsgrades auf einer Skala zwischen *niedrig* und *hoch* beschrieben, wobei jede Stufe einen anderen Grad der Automatisierung aufweisen kann (Abbildung 6). Dieser Ansatz eignet sich zur Beschreibung von informations-verarbeitenden Systemen. Eine allgemeine Beschreibung von Automatisierungsgraden sowie eine detaillierte Betrachtung der ausgeführten Aufgaben sind mit diesem Ansatz nicht möglich.

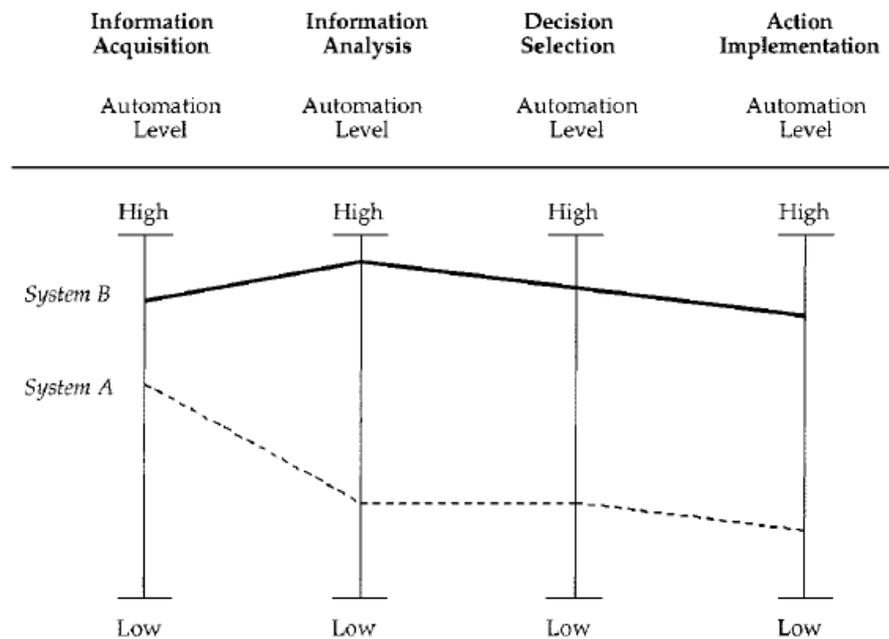


Abbildung 6: Beschreibung zweier Systeme mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden auf den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung (Parasuraman et al., 2000)

Donges (1999) nutzt eine Kombination aus den Kriterien Funktionsumfang, Aufgabenallokation und Anwendungskontext zur Definition von sechs Automatisierungsgraden (Abbildung 7):

Informationssysteme („Information“) geben dem Fahrer zusätzliche Informationen, die seine eigene Wahrnehmung ergänzen. Die Interpretation der Informationen sowie die Handlungsausführung werden dem Fahrer überlassen. *Warnsysteme* („Warning“) bewerten die Informationen zusätzlich und geben dem Fahrer Hinweise, wenn bestimmte Aktionen notwendig sind, überlassen ihm aber die Entscheidung, wie adäquat zu reagieren ist. *Handlungsempfehlungen* („Action Recommendation“) assistieren dem Fahrer, indem sie durch meist haptische Hinweise bspw. Gegenkraft im Fahrpedal oder aktives Lenkradmoment eine intuitiv richtige Reaktion ohne kognitive Beanspruchung bewirken sollen. *Fahrdynamikregelung* („Vehicle Dynamics Control“) verbessert auf der Stabilisierungsebene die Stabilität und Steuerbarkeit des Fahrzeugs. Bei der *Partial Automation* übernimmt das System Teile der Fahraufgabe auf der Führungsebene (Beispiel ACC, Bremsassistent), die Aktivierung erfolgt über den Fahrer. Bei der *Full Automation* erfolgt die Aktivierungsentscheidung durch das Assistenzsystem ohne Mitwirkung des Fahrers. Das System übernimmt selbstständig zeitlich begrenzt eine Notfallmaßnahme, z.B. autonome Notbremsungen oder andere Teilumfänge der Fahraufgabe (Braess & Donges, 2006).

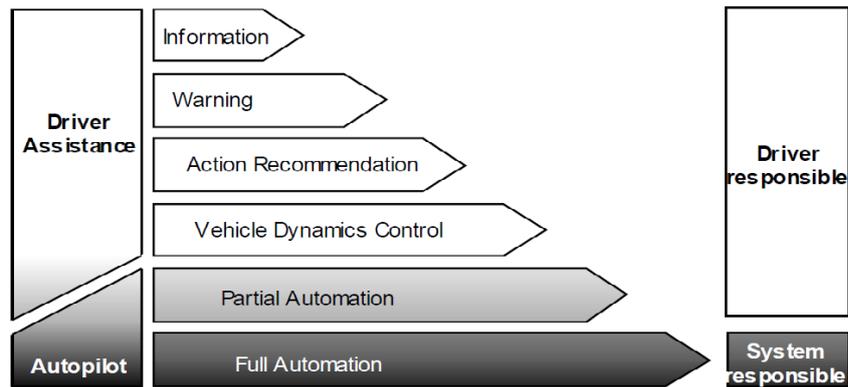


Abbildung 7: Klasseneinteilung der Fahrerassistenzsysteme (Donges, 1999)

Einen ähnlichen Ansatz wählen Vollrath et al. (2006), die vier Automationsgrade unterscheiden: *Informationssysteme*, *Warnsysteme*, *aktiv unterstützende Systeme* und *eingreifende Systeme*. Die ersten beiden Automationsgrade entsprechen der zuvor beschriebenen Definition von Braess & Donges (2006), die aktiv unterstützenden Systeme entsprechen denen der intuitiven Handlungsempfehlung nach Braess & Donges (2006). Eingreifende Systeme führen selbstständig „bestimmte Aktionen“ aus, wobei der Fahrer immer die Möglichkeit hat, das System, beispielsweise bei einem Lenkeingriff, zu übersteuern. Gründl (2005) verwendet die gleiche Einteilung wie Vollrath et al. (2006), wobei er statt „Aktive Unterstützung“ den Begriff *korrigierender Eingriff* und statt „Eingreifende Systeme“ den Begriff *Übernahme der Fahraufgabe* verwendet. Diese Kategorisierung ist in der Lage, die Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Automation in gewissem Umfang darzustellen. Nicht berücksichtigt werden allerdings Systeme, die einen großen Teil der Führungsaufgaben übernehmen und über einen längeren Zeitraum wirken.

Eine detaillierte Kategorisierung dieser Systeme ist mit dem Schema von Flemisch et al. (2008), das auch die amerikanische „National Highway Transportation Safety Agency“ NHTSA (2013) verwendet, möglich. Die Autoren nutzen den Umfang der Automatisierung der primären Fahraufgaben (vgl. Punkt 2.1.1) zur Definition von fünf Automatisierungsgraden (Tabelle 3). Die Stufen *semiautomatisiert* bis *vollautomatisiert* werden durch die Aufgabenallokation der Längs- und Querführungsaufgaben zwischen Fahrer und Assistenzsystem charakterisiert. Die Definition der zweiten Stufe *assistiert* bringt allerdings Inkonsistenz in das Klassifikationsschema: Die Stufen 3 bis 5 werden durch die Aufgabenverteilung der Längs- und Querführung zwischen Mensch und Maschine definiert, wohingegen Stufe 2 „konventionelle“ Fahrerassistenzsysteme beinhaltet, die sowohl Systeme sein können, die das Fahrzeug stabilisieren, als auch solche, die den Fahrer bei der Längs- und Querführung durch die Bereitstellung von Informationen unterstützen.

Tabelle 3: Automatisierungsgrade nach Flemisch et al. (2008), Beschreibung nach Damböck (2013)

Stufe	Beschreibung
1	<i>Manuell</i> – Keine Unterstützung des Fahrers durch Automation.
2	<i>Assistiert</i> – Der Fahrer wird durch „konventionelle“ Assistenzsysteme wie ESP oder informierende Systeme wie Navigationssysteme unterstützt.
3	<i>Semiautomatisiert</i> – Längs- oder Querführung wird von der Automation ausgeführt, während die anderen Aufgaben vom Fahrer übernommen werden.
4	<i>Hochautomatisiert</i> – Längs- und Querführung werden von der Automation ausgeführt. Der Fahrer bleibt aber noch in die Fahrzeugführung eingebunden.
5	<i>Vollautomatisiert</i> – Die Fahrzeugführung wird vollständig von der Automation bewältigt. Der Fahrer ist nicht mehr in die Fahrzeugführung eingebunden.

Durch die Klassifizierung automatisierter Fahrfunktionen nach Gasser et al. (2012) (Tabelle 4) wurden die Inkonsistenzen von Flemisch et al. (2008) ausgeräumt. Neben der Allokation der primären Fahraufgaben wird jetzt auch die Überwachung derselben berücksichtigt sowie die Anwendungsbereiche des charakterisierten Systems. Die Autoren unterscheiden zwischen den Automationsgraden *assistiert*, *teilautomatisiert*, *hochautomatisiert* und *vollautomatisiert*.

Im Automationsgrad *assistiert* übernimmt der Fahrer die Ausführung der meisten Fahrzeugführungsaufgaben. Das Fahrerassistenzsystem kann ihn bei der Längs- oder Querführung in gewissen Grenzen unterstützen.

Im Automationsgrad *teilautomatisiert* übernimmt das Assistenzsystem sowohl die Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs. Vom Fahrer wird allerdings erwartet, dass er das System sowie die Verkehrsumgebung ständig überwacht und jederzeit in der Lage ist, die Fahrzeugführungsaufgaben zurückzuübernehmen, sollte dies nötig sein.

Im Automationsgrad *hochautomatisiert* werden vom System die Längs- und die Querführung in spezifischen Situationen übernommen. Der Fahrer dient nicht als Rückfallebene für dynamische Fahrzeugführungsaufgaben, sondern übernimmt die Fahrzeugführung nur, wenn er vom System mit ausreichendem zeitlichen Vorlauf dazu aufgefordert wird.

Im Automationsgrad *vollautomatisiert* übernimmt das System die Längs- und Querführung vollständig in einem bestimmten Anwendungsfall. Der Fahrer muss das System dabei nicht überwachen. Vor Verlassen des Anwendungsfalls wird der Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert. Passiert dies nicht, wird das Fahrzeug in einen sicheren Zustand überführt.

Tabelle 4: Automationsgrade nach Gasser et al. (2012)

Automatisierungsgrad	Aufgabe System	Aufgabe Fahrer
Driver Only	-	Ausführung der Längs- und Querführung während der gesamten Fahrt
Assistiert	Längs- oder Querführung (in gewissen Grenzen)	Ausführung entweder der Längs- oder der Querführung, dauerhafte Überwachung des Systems, Übernahme der Fahrzeugführung, wenn nötig
Teilautomatisiert	Quer- und Längsführung	Dauerhafte Überwachung des Systems Jederzeit zur vollständigen Übernahme der Fahrzeugführung bereit Übernahme der Fahrzeugführung, wenn nötig
Hochautomatisiert	Quer- und Längsführung Erkennung aller Systemgrenzen	Übernahme der Fahrzeugführung, wenn vom System aufgefordert
Vollautomatisiert	Ausführung aller Fahrzeugführungsaufgaben	-

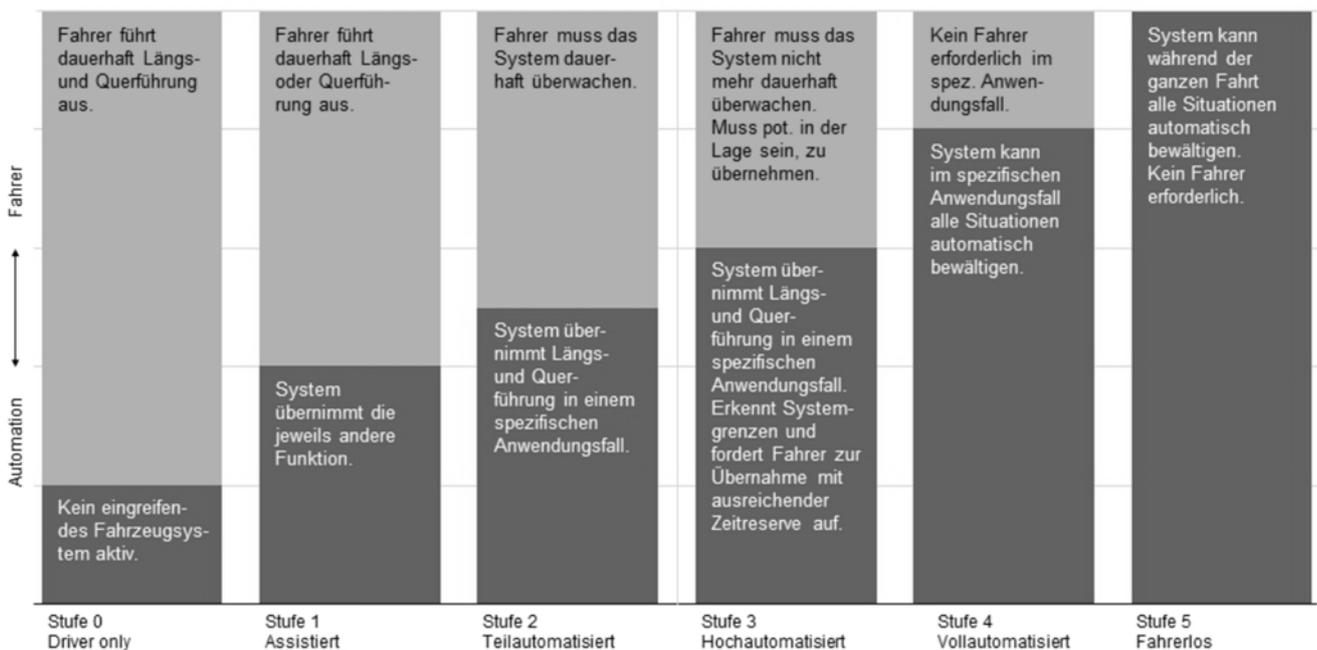


Abbildung 8: Automatisierungsgrade automatisierten Fahrens (VDA, 2015)

Die Automatisierungsstufen nach Gasser et al. (2012) wurden vom Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA, 2015) übernommen, wobei die 5. Stufe *fahrerlos* hinzugefügt wurde. Sie beschreibt ein System, das in keiner Situation einen Fahrer benötigt.

Auch der amerikanische Verband der Automobilingenieure „SAE International“ lehnt sich bei der Definition von Automatisierungsgraden an Gasser et al. (2012) an. Allerdings bezeichnen sie die Stufe „hochautomatisiert“ als *conditional automation* und die Stufe „vollautomatisiert“ als *high automation*. Darüber hinaus wird die Stufe *full automation* eingeführt, auf der die Automation alle Aspekte der Fahrzeugführung unter allen Straßen- und Umgebungszuständen wie ein menschlicher Fahrer übernimmt (Smith, 2013). Sie entspricht der Stufe *fahrerlos* nach VDA (2015).

Die zuvor genannten Automatisierungsgrade nach Gasser et al. (2012) und Smith (2013) können durch eine weitere Feinunterteilung nach Seeck (2015) ergänzt werden. Sie gilt zusätzlich zu den definierten Automatisierungsgraden. Der Autor definiert folgende Assistenzfunktionen:

- *Informierende und warnende Funktionen*
- *kontinuierlich automatisierte Funktionen*
- *Notfallinterventionen*

Informierende und warnende Funktionen wirken indirekt auf die Fahrzeugführung, indem dem Fahrer bestimmte Informationen oder Warnungen (z.B. vor Fahrzeugen im „toten Winkel“ oder vor Frontalkollisionen) bereitgestellt werden. Intervenierende Notfall-Funktionen greifen nur kurzzeitig in die Fahrzeugführung ein, um einen Unfall, den der Fahrer de facto nicht mehr vermeiden kann, „in letzter Sekunde“ abzuwehren. Hierzu zählen z.B. das Notbremsen oder Notausweichen. Kontinuierlich automatisierte Funktionen unterstützen den Fahrer über einen längeren Zeitraum durch direkte Eingriffe in die Fahrzeugführung, wie z.B. ACC bei der Längsführung.

In dieser Arbeit werden die Automatisierungsgrade nach Seeck (2015) und Gasser et al. (2012) verwendet, da sie die Aufgabenallokation zwischen Fahrer und System, den Anwendungsbereich sowie die Systemfunktionen ausreichend stark berücksichtigen.

2.2.2. Mode-Awareness

Bei modernen Fahrerassistenzsystemen werden die Fahrzeugführungsaufgaben zwischen dem Fahrer und der Automation aufgeteilt. Fahrerassistenzsysteme können nur dann sicher verwendet werden, wenn der Fahrer ein zutreffendes Bild vom System, dessen Funktionsumfang und Grenzen hat, d.h., wenn das innere mentale Modell des Fahrers mit dem wirklichen System übereinstimmt (Landau, 2002). In modernen automatisierten Systemen sind häufig verschiedene Modi verfügbar, wodurch der Automatisierungsgrad und damit auch die Aufgabenteilung zwischen Nutzer und System verändert werden. Dies bedeutet, dass sich der Mensch, je nach Modus, anders zu verhalten hat. Der Bediener muss wissen, wie sich das System in den einzelnen Modi verhält und wie mit ihm interagiert wird.

Deshalb ist es erforderlich, dass der Operator sich bewusst ist, in welchem Modus sich das System gerade befindet (Sarter & Woods, 1995).

Mode-Awareness setzt sich demnach aus zwei Komponenten zusammen: 1.) dem Wissen darüber in welchem Modus das System sich gerade befindet und 2.) dem Wissen darüber, wie das System in dem jeweiligen Modus funktioniert und wie es in verschiedenen Kontexten zu handhaben ist (Sarter & Woods, 1995).

Der Verlust von *Mode-Awareness* kann entweder durch ein unvollständiges mentales Modell oder durch ein Nicht-Erkennen des aktuellen Modus des automatisierten Systems durch den Fahrer ausgelöst werden. Das Nicht-Erkennen kann entweder dadurch begründet sein, dass dem Fahrer relevante Informationen nicht zur Verfügung stehen oder dass er sie z.B. aufgrund fehlender mentaler Ressourcen oder wegen einer unangemessenen Aufmerksamkeitsausrichtung nicht wahrnimmt. In allen Fällen ist der Fahrer nicht in der Lage zu erkennen, was das System gerade tut und welche Handlungen der Situation angemessen sind (Sarter, Woods & Billings, 1997). Dadurch können Aufgaben fehlerhaft ausgeführt werden, weil der Operator Eingaben tätigt, die nicht zum aktiven Systemmodus gehören oder weil er notwendige Handlungen ganz unterlässt (Sarter & Woods, 1995).

Im Bereich der Luftfahrt ist *Mode-Awareness* ein vielbeachtetes Thema, da verschiedene Flugzeugabstürze auf fehlende *Mode-Awareness* der Piloten (was zum Beispiel das Nicht-Beachten eines aktivierten Autopiloten zur Folge hatte) zurückgeführt werden (Sarter & Woods, 1995; Billings, 1997).

Auch bei der Nutzung von Fahrerassistenzsystemen kann es bei ungenügender *Mode-Awareness* zu gefährlichen Situationen kommen. Z.B. können Auffahrunfälle passieren, wenn der Fahrer erwartet, dass das ACC-System das Fahrzeug hinter einem vorausfahrenden abbremst, das System sich jedoch in einem inaktiven Modus befindet (Larsson, 2012). Petermann & Kiss (2010) beobachteten in ihren Untersuchungen, in denen Wechsel zwischen verschiedenen Automationsgraden untersucht wurden, dass die Fahrer nach dem Wechsel in einen anderen Modus fälschlicherweise nicht die Lenkaufgabe übernahmen, in der Annahme, die Automation würde dies tun. Furukawa et al. (2003) fanden bei der Untersuchung der *Mode-Awareness* von Fahrern bei Nutzung von ACC-Systemen heraus, dass einige Probanden Probleme hatten, das Systemverhalten in komplexen Situationen vorherzusagen, wenn der Systemzustand nicht angezeigt wurde. Die Gestaltung des automatisierten Systems hat Einfluss auf die *Mode-Awareness* des Nutzers. Wenn beispielsweise die gleichen Bedienhandlungen und Anzeigen in den verschiedenen Modi unterschiedliche Bedeutung haben, entstehen durch die nicht ausreichende *Mode-Awareness* leicht dadurch Fehler, dass Eingaben gemacht werden, die nicht zur jeweiligen Situation passen (Sarter et al., 1997).

2.2.3. Fahrzeug-Automatisierungskonzepte

In diesem Abschnitt wird der Stand der Forschung zu verschiedenen Konzepten der Fahrzeug-Automatisierung betrachtet. Es werden ausschließlich *kontinuierlich automatisierte* Systeme dargestellt (vgl. Seeck (2015) und Punkt 2.2.1), bei denen Fahrzeugführungsaufgaben sowohl vom Fahrer als auch von der Automation übernommen werden.

Bei den als erstes dargestellten Automatisierungskonzepten übergibt der Fahrer der Automation die Fahrzeugführung bei Eintreten in einen bestimmten Anwendungsbereich. Innerhalb dieses Bereichs übernimmt die Automation die Fahrzeugführung, der Fahrer hat lediglich eine überwachende Funktion. Bei Verlassen des Bereichs übernimmt wieder der Fahrer die komplette Kontrolle.

Deuschle et al. (2010) und Kotte et al. (2012) untersuchten die automatische Folgefahrt von mehreren Fahrzeugen. Die Fahrzeuge folgten automatisch dem ersten, das von einem menschlichen Fahrer gesteuert wurde. Die kritischen Punkte bei der Mensch-Maschine-Interaktion sind dabei das Ein- und Ausklinken aus dem Konvoi, also der Wechsel von automatisierter zu manueller Fahrzeugführung und umgekehrt, die Überwachung der Automation sowie der Eingriff im Fehlerfall. Bei Fehlern des automatisierten Systems oder bei Verlassen des Konvois hat der Fahrer des betroffenen Systems die Fahrzeugführungsaufgabe zurückzuübernehmen.

Ein etwas anderer Ansatz wurde mit dem „eLane“-Konzept (Benmimou et al., 2009) verfolgt. Dafür wird eine zertifizierter Fahrstreifen eingerichtet, auf der hochautomatisiertes Fahren möglich ist, d.h. die Längs- und Querführung wird an die Fahrzeugautomation übertragen (Schieben & Flemisch, 2008). Bei diesem Konzept kommen sogenannte „Dual-Mode“-Fahrzeuge zum Einsatz, die im manuellen und im hochautomatisierten Modus gefahren werden können (vgl. auch Zheng et al., 2010). Auch hier beschränkt sich die Mensch-Maschine-Interaktion auf die Einfahrt und das Verlassen der „eLane“ (vgl. Toffetti et al., 2009) sowie den Eingriff des Fahrers im Falle von Systemstörungen.

Schaller et al. (2008) stellen eine Umsetzung des bereits 2005 im INVENT-Projekt (INVENT, 2005) vorgestellten Stauassistenten vor. Dieser übernimmt bis zu einer Geschwindigkeit von 40 km/h die Längs- und Querführung des Fahrzeugs. Allerdings sind die Höhe der Bremsverzögerungen und der mögliche Lenkwinkel begrenzt. Kann das System bestimmte Lenk- oder Bremsmanöver nicht ausführen, wird der Fahrer aufgefordert, diese zu übernehmen. Vor nahen seitlichen Fahrzeugen kann das System bis zu einem gewissen Grad ausweichen, dann erfolgt wieder eine Übernahmeaufforderung. Das System kann zu jeder Zeit vom Fahrer übersteuert werden. Mittlerweile wurden Stauassistenten bis zur Serienreife weiterentwickelt (vgl. z.B. Lüke et al., 2015).

Während der Nutzung des Stauassistenten findet genau wie bei der Fahrt auf der eLane und der automatischen Folgefahrt im Konvoi keine signifikante Interaktion zwischen Fahrer und Automation statt. Die Aufgabe des Fahrers beschränkt sich auf die Überwachung des Systems. Wie unter Punkt 2.1.3 beschrieben, kann die Passivität des Fahrers zu einem Verlust an Situationsbewusstsein und somit zu Problemen bei der Rückübernahme der Fahrzeugführung führen. Unter anderem um

dieses Problem zu lösen, wurde das Konzept der kooperativen Fahrzeugführung (Hakuli et al., 2012; Flemisch et al., 2015) entwickelt. Ziel ist eine menschengerechte Auslegung von teil- und hochautomatisierten Fahrerassistenzsystemen, wobei die Fahrzeugführung nicht autonom von der Automation, sondern in ständiger Zusammenarbeit mit dem Fahrer ausgeführt wird. Mensch und Automation sollen eine „kooperative Einheit“ bilden. Durch die Einbindung des Fahrers in die automatische Fahrzeugführung sollen ein besseres Systemverständnis und ein höheres Situationsbewusstsein erreicht werden, sodass er im Falle eines Wechsels des Automatisierungsgrads – „Transition“ – sicher die entsprechenden Aufgaben übernehmen kann (Flemisch et al., 2015).

Kooperative Automation kann in verschiedenen Ausprägungen existieren, die maßgeblich durch die Anordnung von Fahrer und Assistenzsystem sowie der Wirkreihenfolge der beiden Akteure gekennzeichnet sind. Die Anordnung von Fahrer und Assistenzsystem kann sowohl *parallel* als auch *seriell* erfolgen. Bei paralleler Anordnung haben sowohl der Fahrer als auch das Assistenzsystem die Möglichkeit, direkt auf das Fahrzeug einzuwirken. Bei serieller Anordnung kann der Fahrer ausschließlich über das Assistenzsystem auf das Fahrzeug einwirken. Bei der *zeitlichen Wirkreihenfolge* wird zwischen dem gleichzeitigen und dem abwechselnden Einwirken von Fahrer und Assistenzsystem unterschieden. Wirken Fahrer und Assistenzsystem gleichzeitig auf das Fahrzeug ein oder werden kontinuierliche Fahrereingaben ohne Zeitverzug umgesetzt, liegt *simultane Assistenz* vor. Wirken Fahrer und Assistenzsystem abwechselnd auf das Fahrzeug ein oder erfolgen Fahrereingaben nicht kontinuierlich, sondern ereignisdiskret, handelt es sich um *sequenzielle Assistenz* (Hakuli et al., 2012). Erste Umsetzungen der seriell-sequenziellen Assistenz erfolgten im Projekt Conduct-by-Wire (CbW) (Winner et al., 2006), eine Umsetzung der seriell-simultanen Assistenz im Projekt H-Mode (Flemisch et al., 2003).

Das Konzept Conduct-by-Wire (Winner et al., 2006) sieht vor, dass der Fahrer dem Fahrzeug Manöverwünsche übergibt, die das Fahrzeug anschließend automatisch ausführt. Das Fahrzeug erkennt Fahrstreifen, Verkehrszeichen, ermittelt die Soll-Trajektorie, erkennt Verkehrsteilnehmer sowie Objekte und übernimmt die Längs- und Querregelung des Fahrzeugs. Der Fahrer wählt an bestimmten Entscheidungspunkten die gewünschten Manöver aus und überwacht das System. Er kann jederzeit die Fahrzeugführung mittels Lenkrad und Pedalen übernehmen. Im Projekt wurden innovative Manöverschnittstellen entwickelt und erforscht (Franz, 2014; Schreiber, 2012) sowie die technische Umsetzung der Fahrfunktionen simulativ untersucht (Geyer, 2013; Hakuli et al., 2011). Diese neue Art der Interaktion mit dem Fahrer wird als *manöverbasierte Fahrzeugführung* bezeichnet.

Im Projekt H-Mode (Flemisch et al., 2003; Heesen et al., 2010) wurde seriell-simultane kooperative Fahrzeugführung umgesetzt. Als Grundlage für das Interaktionskonzept diente das Zusammenspiel zwischen Reiter und Pferd. Abhängig davon, wie fest die Zügel gefasst werden, ist der Einfluss auf die Fahrzeugführung unterschiedlich stark. Bei locker gefasstem Bedienelement befindet sich das System im hochautomatisierten Modus, der Fahrer dirigiert das System auf Manöverebene, bei fest gefasstem Bedienelement hat der Fahrer direkten Einfluss auf die Stabilisierung des Fahrzeugs

(Damböck et al. (2010)). Die Umsetzung des Konzepts in einem realen Fahrzeug fand teilweise im HAVE-IT-Projekt (Flemisch et al., 2009) statt. Neben der technischen Umsetzung wurde die Verbesserung der Interaktion zwischen Fahrer und Automation betrachtet. Besonders im Fokus standen die Umsetzung verschiedener Automatisierungsgrade und die Strategien zur Umschaltung zwischen den verschiedenen Graden. Umgesetzt wurden zudem ein temporärer Autopilot, der die Längs- und Querverführung auf Autobahnen sowie autobahnähnlichen Straßen bis zu einer Geschwindigkeit von 130 km/h übernimmt und ein System für automatisierte Assistenz für Baustellen und Staus (Hoess et al., 2011).

Im Unterprojekt SECONDS des Projekts InteractIVe (SECONDS, 2013) wurde ebenfalls die kontinuierliche Unterstützung des Fahrers durch automatisierte Systeme erforscht. Ein virtueller „Beifahrer“ wurde entwickelt, der parallel zum wirklichen Fahrer arbeitet. Während der Fahrt entwickelt dieser Handlungsstrategien für alle möglichen Verkehrssituationen, identifiziert die passendste Option und interagiert mit dem Fahrer, um eine Strategie zu wählen. Die Automation identifiziert nicht nur die Möglichkeiten, wie der Fahrer fahren kann, sondern schlägt auch vor, wie er fahren sollte. Der virtuelle Beifahrer und der wirkliche Fahrer sollen dabei ein „symbiotisches System“ bilden. Die Umsetzung wurde aber nur oberflächlich beschrieben (Lio et al., 2012).

Das Projekt PRORETA 3 (Bauer et al. 2012; Cieler et al. 2014; Winner et al. 2015) hatte die Entwicklung und Untersuchung eines ganzheitlichen Fahrerassistenz- und Manöverautomatisierungskonzeptes zum Gegenstand. Der Fahrer hat die Möglichkeit, zwischen zwei Modi zu wählen: Im Modus *Safety Corridor* überwacht das System im Hintergrund das Verkehrsumfeld und den momentanen Fahrerszustand. Es greift nur in kritischen Situationen ein, um die Situation zu entschärfen, je nach Kritikalität durch gezielte Informationen, Warnungen, Handlungsaufforderungen, Brems- oder Lenkmanöver. Im Modus *Kooperative Automation* befindet sich das Fahrzeug im teilautomatisierten Modus und übernimmt selbsttätig die Ausführung der Längs- und Querverführung sowie von Manövern. Der Fahrer beauftragt Manöver (z.B. Fahrstreifenwechsel oder Abbiegen) über eine spezielle Manöverschnittstelle mittels des Hebels für den Fahrtrichtungswechselanzeiger und überwacht die ordnungsgemäße Funktion des Systems. Er hat jederzeit die Möglichkeit, die herkömmliche Fahrzeugführung zurückzuübernehmen. Das Proreta 3-System wurde in einem Versuchsfahrzeug umgesetzt und dient als Basis für die Untersuchungen dieser Arbeit. Es wird im nächsten Abschnitt näher erläutert.

In den aktuellen Tesla-Modellen (Tesla, 2015) sowie in der Mercedes E-Klasse (Debus, 2015) ist die in PRORETA 3 gewählte Interaktion mit dem Assistenzsystem auch zu finden. Auch hier ist es möglich, bei der teilautomatisierten Fahrt automatische Fahrstreifenwechsel mit dem Fahrtrichtungswechselanzeiger-Hebel zu beauftragen.

2.2.4. Teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung mit PRORETA 3

Manöverbasierte Fahrzeugführung, die eine Variante der *kooperativen Fahrzeugführung* (s. Punkt 2.2.3) ist, wurde zum ersten Mal im Projekt Conduct-by-Wire (CbW) (Schreiber, 2012; Winner et al., 2006) umgesetzt. Bei diesem Konzept übernimmt die Automation vollständig die Stabilisierung des Fahrzeugs. Der Fahrer interagiert folglich nicht mehr auf der Stabilisierungsebene durch Lenken, Bremsen und Betätigen des Fahrpedals mit dem Fahrzeug, sondern fordert von der Automation die gewünschte Trajektorie in diskreten Einheiten, den Manövern, über eine spezielle Schnittstelle an (Winner et al., 2006; Schreiber et al., 2010; Franz, 2014). Schreiber (2012) und Franz (2014) wiesen in Studien erfolgreich die Nutzbarkeit und Akzeptanz des Konzepts nach. In den Versuchen wurde ein hochautomatisiertes System zugrunde gelegt, das im Fahrsimulator umgesetzt wurde. Die Manöverschnittstelle bestand aus einem aufwendigen System aus Head-up-Display (HUD) und Touchpad.

Im Projekt PRORETA 3 (Bauer et al., 2012; Pfromm et al., 2015; Winner et al., 2015) wurde das Konzept der manöverbasierten Fahrzeugführung zum ersten Mal in einen realen Pkw übertragen und als teilautomatisiertes Assistenzsystem umgesetzt.

Der erste im PRORETA - System zur Verfügung stehende Modus ist die *Kooperative Automation*, in dem ein teilautomatisiertes Assistenzsystem den Fahrer von der Fahrzeugstabilisierung befreit. An Verkehrsknoten bietet das System dem Fahrer Abbiegemanöver an, auf mehrstreifigen Fahrbahnen Fahrstreifenwechselmanöver, die der Fahrer über eine Manöverschnittstelle (Pfromm et al., 2015) mittels Betätigung des Fahrstreifenwechselanzeiger-Hebels auswählen kann. Sobald möglich, führt das Fahrzeug die Manöver automatisch aus. Außerdem kann vom Fahrer die gewünschte Geschwindigkeit vorgegeben werden, die unter Berücksichtigung von Straßenverlauf und Geschwindigkeitsbeschränkungen automatisch eingehalten wird.

Im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis sind das PRORETA-System und der Fahrer (im Gegensatz zum CbW-System, bei dem eine serielle Anordnung umgesetzt ist; Hakuli et al., 2012) parallel zueinander angeordnet. Da Fahrer und Assistenzsystem abwechselnd wirken und der Fahrerauftrag ereignisdiskret umgesetzt wird, handelt es sich bei dem PRORETA 3-Konzept zudem um sequenzielle Assistenz (vgl. Punkt 2.2.3).

In Tabelle 5 ist die Aufgabenteilung zwischen Fahrer und PRORETA 3-System im 4-Ebenen-Modell der Fahrzeugführungsaufgaben (vgl. Abschnitt 2.1.1) dargestellt. Die Aufgaben auf der *Zielsetzungsebene*, wie die Planung der Fahrstrecke, werden vom Fahrer alleine ausgeführt. Aufgaben auf der *Überwachungsebene* werden sowohl vom System als auch vom Fahrer ausgeführt. Beide Akteure überwachen die Umgebung: Das System, um daraus Handlungen abzuleiten, und der Fahrer, um zu überprüfen, ob die Systemhandlungen plausibel sind. Der Fahrer hat außerdem die Aufgabe, den Zustand sowie die korrekte Aufgabenausführung des Systems zu kontrollieren. Auf der *Führungsebene* wählt der Fahrer Wunschgeschwindigkeit und Manöver, die ihm das System anbietet. Das System

bestimmt die Soll-Geschwindigkeit sowie die Trajektorie des Fahrzeugs. Auf der *Stabilisierungsebene* ist der Fahrer von allen Aufgaben entbunden, das System übernimmt das Folgen der Soll-Trajektorie durch Beschleunigen, Verzögern sowie Lenken des Fahrzeugs. Nach Seeck (2015) (vgl. auch Punkt 2.2.1) handelt es sich bei der Kooperativen Automation um eine kontinuierlich automatisierte Funktion.

Tabelle 5: Aufgabenteilung zwischen Mensch und Automation im Modus *Kooperative Automation* des PRORETA 3-Systems

Ebene	Mensch	Automation
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Planung der Fahrstrecke 	
Überwachung	<ul style="list-style-type: none"> • System überwachen <ul style="list-style-type: none"> ○ Systemzustand ○ korrekte Ausführung der zugewiesenen Aufgaben 	
		<ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeit überwachen • Umgebung überwachen <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorfahrtsregelung ○ Geschwindigkeitsbegrenzungen ○ Lichtsignalanlagen ○ Verkehrszeichen ○ Streckenführung ○ andere Verkehrsteilnehmer
Bahnführung	<ul style="list-style-type: none"> • Manöver beauftragen • Wunschgeschwindigkeit wählen 	<ul style="list-style-type: none"> • mögliche Manöver anbieten • Geschwindigkeit vorgeben • Trajektorie vorgeben
Stabilisierung		<ul style="list-style-type: none"> • Trajektorie folgen • beschleunigen • bremsen • lenken • Geschwindigkeit einhalten

Der zweite im PRORETA - System zur Verfügung stehende Modus ist der *Safety Corridor*. In ihm arbeitet das Assistenzsystem im Automatisierungsgrad *assistiert*. Der Fahrer führt alle zur Fahrzeugführung nötigen Aufgaben aus. Das System überwacht und interpretiert die Verkehrssituation ständig, greift aber nur kurzzeitig zur Entschärfung potenziell kritischer Situationen ein. Nach Seeck (2015) (vgl. auch Punkt 2.2.1) handelt es sich dabei um Notfallinterventionen. Abhängig von

der Höhe der Kritikalität wird der Fahrer optisch oder akustisch gewarnt (vgl. Pfromm et al. 2013; Pfromm et al. 2015). Bei einem hohen Unfallrisiko greift das Assistenzsystem kurzzeitig in die Längs- oder Querverführung des Fahrzeugs ein, um die Situation zu entschärfen. Das System reagiert auf kritische Annäherungen an andere Fahrzeuge und den Fahrbahnrand, außerdem warnt es vor dem Eintritt in den fahrdynamischen Grenzbereich an Kurven sowie vor Rotlichtverstößen und Überfahren des „Durchfahrt verboten“ - Verkehrszeichens.

Abbildung 9 zeigt die funktionale Systemarchitektur des PRORETA 3-Systems in Verbindung mit einem Modell des Informationsverarbeitungs- und Handlungsprozesses des Menschen. Durch Sensorsysteme wird die Umgebung des Fahrzeugs erfasst. Die so gewonnenen Informationen werden weiterverarbeitet und darauf aufbauend wird im *Weltmodell* ein Abbild der Situation erstellt. Das Modell beinhaltet z.B. Informationen über den befahrbaren Freiraum, Fahrstreifenmarkierungen, die Positionen anderer Verkehrsteilnehmer sowie Informationen über Verkehrsregeln. Der *Verhaltensplaner* fällt alle Entscheidungen des Systems. Basierend auf den Informationen aus dem Weltmodell ermittelt er mögliche Manöver sowie die maximal fahrbare Geschwindigkeit, die er über die Mensch-Maschine-Schnittstelle dem Fahrer mitteilt. Auf der Basis der vom Fahrer gewählten Manöver und Wunschgeschwindigkeit fordert der Verhaltensplaner beim *Trajektorienplaner* die benötigten Fahrfunktionen an. Der Trajektorienplaner berechnet die optimale Fahrzeugtrajektorie, also den gewünschten zukünftigen zeitlichen und räumlichen Verlauf des Fahrzeugweges. Die Soll-Trajektorie wird an Fahrdynamikregler weitergegeben, die mithilfe von Aktoren zu Beaufschlagung von Lenkrad-, Beschleunigungs- und Bremsmomenten für die Umsetzung sorgen (Cieler et al., 2014).

Der Fahrer nimmt Informationen aus der Mensch-Maschine-Schnittstelle des Fahrzeugs sowie der Umgebung auf. Diese werden von ihm interpretiert und der zukünftige Verlauf der Situation antizipiert. Auf der Basis der wahrgenommenen Informationen werden mentale Modelle der Situation und des Assistenzsystems erstellt. Der Fahrer führt die Fahrzeugführungsaufgaben auf den Ebenen des 4-Ebenen-Modells auf der Basis der mentalen Situationsrepräsentation aus. Die gewünschten Handlungen werden durch die Handlungsorgane des Menschen umgesetzt. So werden die Manöverschnittstelle und bei Bedarf Lenkrad und Pedale bedient.

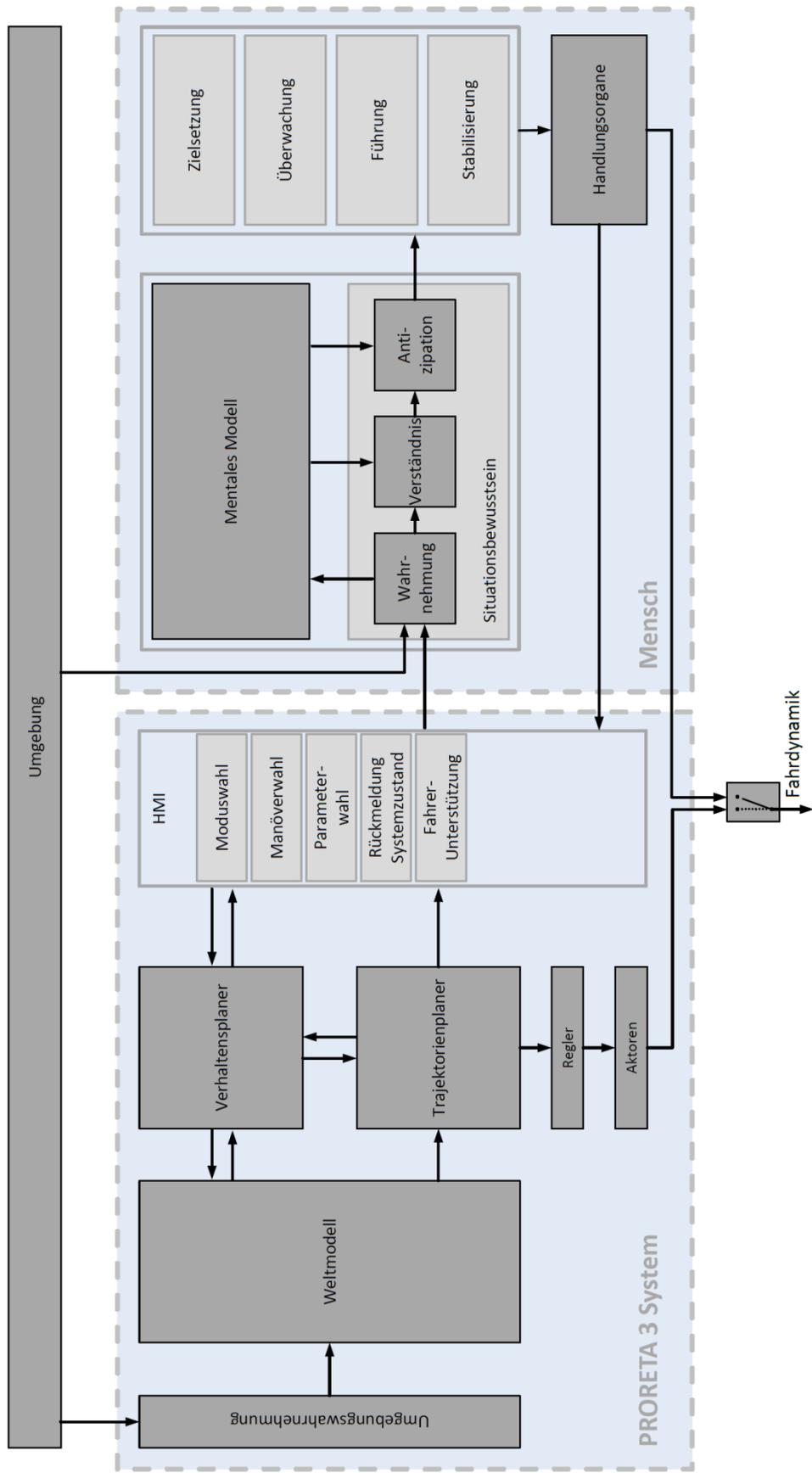


Abbildung 9: PRORETA 3: Funktionales Mensch-Maschine-System (Abbildung PRORETA 3-Systemarchitektur nach Hohm et al. (2014), Abbildung Situationsbewusstsein nach Jones & Endsley (2000), Abbildung 4-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführung nach Hollnagel et al. (2003))

2.3. Systemstörungen

2.3.1. Definition des Begriffs Systemstörung

Bei der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung werden die Fahrzeugführungsaufgaben, wie in Tabelle 5 beschrieben, zwischen Mensch und Automation verteilt. Eine vom Fahrer unerwartete Nicht-Ausführung von Aufgaben durch das System kann durch Fehler des Systems oder funktionale Unzulänglichkeiten ausgelöst werden.

Der Duden (2016) versteht unter *System* eine „Einheit aus technischen Anlagen, Bauelementen, die eine gemeinsame Funktion haben“ und unter *Störung* das „Gestörtsein und dadurch beeinträchtigte Funktionstüchtigkeit“.

Eine Systemstörung tritt also dann auf, wenn das System aufgrund von Fehlern der Hard- oder Software oder funktionalen Unzulänglichkeiten mindestens eine seiner Aufgaben (Tabelle 5) nicht mehr ordnungsgemäß ausführt.

Nach Hollnagel et al. (2003) kann sich dabei auch die Folge eines auf einer höheren Ebene des DiC-Modells aufgetretenen Fehlers auf eine niedrigere Ebene auswirken. Beispielsweise kann eine fehlerhafte Überwachung der Umgebung zu einer fehlerhaften Stabilisierung des Fahrzeugs führen.

Bei einer Systemstörung führt das System mindestens eine seiner Aufgaben nicht der Situation angemessen aus, was bedeutet, dass die Situation kritisch wird wenn der Fahrer nicht angemessen reagiert (vgl. Weitzel, 2013).

In dieser Arbeit sollen Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung betrachtet werden, die für den Fahrer unvorhersehbar sind und deshalb als sicherheitskritisch angesehen werden.

2.3.2. Untersuchungen zum Umgang mit Systemstörungen

In diesem Abschnitt wird der Stand der Forschung zum Umgang des Fahrers mit Systemstörungen und Systemgrenzen bei kontinuierlich automatisierter Fahrzeugführung beschrieben. Die betrachteten Automatisierungsgrade reichen dabei von *assistiert* bis *vollautomatisiert*.

Zunächst werden Untersuchungen betrachtet, die den menschbezogenen Umgang mit Systemstörungen von Adaptive-Cruise-Control- (ACC-) Systemen zum Gegenstand haben. ACC-Systeme zählen zum Automatisierungsgrad *assistiert*, weil der Fahrer die Querführung des Fahrzeugs übernimmt, während lediglich die Längsführung automatisiert ist.

Stanton et al. (1997) untersuchten im Fahrsimulator mit 12 Probanden die Fahrerhandlungen bei Ausfällen eines ACC-Systems. Ein Drittel der Probanden war nicht in der Lage, die Kontrolle über die Fahrzeugführung zurückzuübernehmen, bevor es zur Kollision mit einem anderen Fahrzeug kam. Neben den Fahrerreaktionen wurde auch die mentale Beanspruchung der Fahrer gemessen, die durch die ACC-Nutzung im Vergleich zum manuellen Fahren reduziert wurde. Die Versuchsmethodik lässt

keinen direkten Schluss auf die Gründe für die nicht erfolgten Übernahmen der Fahrzeugführung zu. Die Autoren mutmaßen, dass der Fahrer mit der passiven Überwachung unterbeansprucht ist und deshalb Schwierigkeiten hat, das Versagen des Systems zu erkennen. Ob sich der Fahrer seiner Aufgaben überhaupt bewusst war, wurde nicht untersucht. Nilsson et al. (2013) untersuchten in einer Simulatorstudie mit 48 Probanden ebenfalls das Fahrerverhalten bei ACC-Systemstörungen. Sie verglichen verschiedene Ausprägungen der Systemstörungen. So fanden sie unter anderem heraus, dass es bei einem Teilausfall der automatischen Verzögerung häufiger zu Kollisionen mit dem vorausfahrenden Fahrzeug kam als bei einem kompletten Ausfall des Systems. Ein Grund für das unterschiedliche Verhalten der Fahrer bei den verschiedenen Systemstörungen wurde auch hier nicht herausgefunden. Auch Buld et al. (2002) betrachteten in einer Simulatorstudie (20 Probanden) Ausfälle eines ACC-Systems. Sie untersuchten die Auswirkungen der Auftretenshäufigkeit der Systemstörungen auf den Umgang der Fahrer mit den Systemstörungen und das Systemvertrauen. Sie fanden heraus, dass je öfter die Fahrer mit den Systemstörungen konfrontiert wurden, desto seltener kam es bei der Übergabe zu einer Kollision mit dem vorausfahrenden Fahrzeug. Gleichzeitig sank das Vertrauen in das System und die Beanspruchung des Fahrers erhöhte sich. Die Übernahme der Fahrzeugführung des Fahrers vom ACC wurde auch von Neukum et al. (2008) untersucht. Allerdings betrachteten sie nicht Systemstörungen, sondern das Annähern des Fahrzeugs an ein stehendes Hindernis, was eine Systemgrenze darstellt, da stehende Hindernisse vom System nicht als Regelziel übernommen werden. Bei der Studie mit 48 Probanden im realen Verkehr bremsen alle Fahrer das Fahrzeug rechtzeitig vor dem Hindernis ab, bewerteten die Situation aber als kritisch. Neben der Kritikalität der Situation wurden keine weiteren subjektiven Daten erhoben.

Die Studien zum Umgang des Fahrers mit ACC zeigen, dass die Fahrer selbst bei dem niedrigen Automatisierungsgrad *assistiert* Probleme zu haben scheinen, die Fahrzeugführung im Falle von Systemstörungen zu übernehmen. Dies ist bemerkenswert, da die Fahrer bei der Nutzung von ACC noch stark in die Fahrzeugführung eingebunden bleiben, da die Querführung des Fahrzeugs weiterhin vom Fahrer ausgeführt wird. Gründe für die misslungenen Übernahmen und Antworten auf die Frage, ob der Fahrer sich seiner Aufgaben bewusst war, konnten die Untersuchungen nicht liefern. Zu berücksichtigen ist, dass die Studien im Fahrsimulator durchgeführt wurden. Möglicherweise empfanden die Fahrer die Situation dadurch als wenig kritisch, die geringe Anzahl der erfolgreichen Rückübernahmen bewirkt haben könnte. Wie die Studie von Neukum et al. (2008) zeigt, kommen die Fahrer mit einer Systemgrenze des ACC besser zurecht als mit einer Systemstörung. Vermutlich, weil die Situation für die Fahrer vorhersehbar ist. Folgend werden Studien betrachtet, bei denen Längs- und Querführung automatisiert sind.

Eine der ersten Untersuchungen zur Rückübernahme der Fahrzeugführung durch den Menschen nach vollautomatisierter Fahrzeugführung führte Hahn (1993) im Simulator mit 52 Probanden durch. Die Fahrer wurden nach einer Eingewöhnungsfahrt mit vollautomatisierter Fahrzeugführung mit dem Ausfall der Automation aufgrund fehlender Fahrstreifenmarkierungen konfrontiert. Alle Probanden

übernahmen in dieser Situation die Fahrzeugführung. Zu einem dazu im Widerspruch stehenden Ergebnis kamen Waard et al. (1999), als sie in einem Fahrsimulatorexperiment mit 20 Teilnehmern untersuchten, ob die Fahrer bei Systemfehlern während einer automatisierten Kolonnenfahrt die Fahrzeugführung zurück übernehmen können. Nur die Hälfte der Fahrer war dazu in der Lage. Die Autoren erklären sich dies durch die Unterbeanspruchung des Fahrers während des automatisierten Fahrens, da die Studien eine geringere objektive und subjektive mentale Beanspruchung sowie Aktivierung des Fahrers ergaben. Außerdem schlossen die Autoren, dass ein Großteil der Probanden der Automation übermäßig vertraute und deshalb von der Systemstörung überrascht wurde. Die Ergebnisse von Fujioka & Muramatsu (1996) zeigen zudem, dass Fahrer beim Übergang von automatisierter zu manueller Fahrzeugführung beim Verlassen einer automatisierten Kolonne stark physisch und emotional beansprucht wurden.

Den Einfluss des Automatisierungsgrads auf das Fahrerverhalten bei Systemstörungen untersuchten Niederée & Vollrath (2009) in einem Fahrsimulatorversuch mit 39 Probanden. Sie fanden heraus, dass die Rückübernahme von Fahraufgaben bei einem Systemausfall für den Fahrer umso schwieriger ist, je höher der Automatisierungsgrad des Systems ist und (wie auch von Buld et al. (2002) beschrieben) je zuverlässiger das System arbeitet, d.h. je seltener Systemstörungen auftreten. Auch Strand et al. (2014) fanden in einer Studie im Simulator mit 36 Probanden heraus, dass die Fähigkeit, die Fahrzeugführung zurückzuübernehmen mit steigendem Automatisierungsgrad sinkt. Im Gegensatz zu Nilsson et al. (2013) kamen sie zu dem Ergebnis, dass Fahrer Komplettausfälle der Verzögerung schlechter kontrollieren konnten als nur teilweise Ausfälle. Auch Damböck et al. (2013) untersuchten in einer Simulatorstudie mit 24 Probanden, wie der Automatisierungsgrad das Fahrerverhalten im Falle von Systemstörungen beeinflusst. Es wurde der Einfluss der Automatisierungsgrade *manuell*, *assistiert* und *teilautomatisiert* auf die Reaktionszeiten des Fahrers bei der Rückübernahme von Fahrzeugführungsaufgaben an Systemgrenzen und bei Systemstörungen ermittelt. Während der Fahrt hatte der Fahrer außerdem die Aufgabe, in regelmäßigen Abständen eine visuelle Nebenaufgabe auszuführen. Die Studie ergab, dass sich die Reaktionszeiten mit steigendem Automatisierungsgrad verlängern.

Petermann & Kiss (2010) untersuchten Nutzererwartungen und Nutzerverhalten beim Umgang mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden. In einer Simulatorstudie wurden 80 Probanden mit den fünf Automatisierungsgraden *nicht assistiert*, *ACC*, *automatische Längsführung mit unterstützter Spurhaltung*, sowie *automatisierte Längs- und Querführung* konfrontiert. Während der Fahrten erfolgte eine automatische Umschaltung zwischen den Automatisierungsgraden, die in einem Display angezeigt wurde. Bei der Umschaltung von einem höheren in einen niedrigeren Automatisierungsgrad mussten die Fahrer somit Aufgaben von der Automation übernehmen. Dazu waren sie nicht immer in der Lage. Die Autoren schlossen aus den Fahrerreaktionen, dass den Fahrern die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine nicht zu jeder Zeit klar war und die verschiedenen Modi verwechselt wurden. Bei dem Übergang von einem automatisierten in einen nicht automatisierten Modus waren die

Reaktionszeiten umso länger, je höher automatisiert der zuvor gefahrene automatisierte Modus war. Die Probanden nahmen eine Selbsteinschätzung des Systemverständnisses vor, das als durchweg hoch eingestuft wurde. Das wirkliche Systemverständnis der Probanden wurde jedoch nicht durch subjektive Methoden ermittelt.

Tönert et al. (2011) untersuchten in einer Simulatorstudie mit 64 Teilnehmern das Verhalten beim Abkommen des Fahrzeugs von der Fahrbahn bei teilautomatisierter Querführung in Situationen verschieden hoher zeitlicher Kritikalität (also wie viel Zeit der Fahrer für eine Reaktion zur Verfügung hatte). Die Versuche ergaben, dass die Probanden in zeitlich kritischeren Situationen schneller reagierten als in weniger kritischen. Eine ähnliche Fragestellung untersuchten van den Beukel & van der Voort (2013a) in einem Fahrsimulatorexperiment mit 34 Probanden, in dem sie die Auswirkung der zeitlichen Kritikalität bei der unerwarteten Rückübernahme von Fahrzeugführungsaufgaben durch den Fahrer nach automatisiertem Fahren in Hinblick auf das Situationsbewusstsein untersuchten. Es ließ sich keine Auswirkung der zeitlichen Kritikalität auf das Situationsbewusstsein ermitteln. In dieser Studie wurde jedoch herausgefunden, dass ein höheres Situationsbewusstsein die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Rückübernahme von Fahrzeugführungsaufgaben erhöht. Sie kamen zudem zu dem Schluss, dass Interaktionskonzepte, die dem Fahrer helfen, seine Aufmerksamkeit auf die Verkehrssituation zu richten, das eigene Fahrzeug zu verstehen und somit das Situationsbewusstsein erhöhen, die erfolgreiche Rückübernahme der Fahrzeugführung begünstigen.

Beller et al. (2013) untersuchten, welchen Einfluss die Meldung der Automationsunsicherheit auf die Fahrer-Automation-Interaktion hat. Dazu führten sie ein Fahrsimulatorexperiment mit 28 Probanden durch. Während der Fahrt mit dem Assistenzsystem, das die Längs- und Querführung des Fahrzeugs übernahm, wurde dem Fahrer eine hohe Wahrscheinlichkeit von Systemfehlern durch ein spezielles Symbol angezeigt. Die Meldung der Automationsunsicherheit führte zu einer schnelleren Übernahme, einem größeren Vertrauen in das System, einer größeren Akzeptanz des Systems, einem besseren Situationsbewusstsein sowie einem höheren Verständnis der Ausfallwahrscheinlichkeit des Systems.

Damböck et al. (2012) betrachteten in einem Versuch im Fahrsimulator mit 32 Probanden, wie Fahrer bei einer automatisierten Fahrt, bei der sie durch eine beidhändig auszuführende Nebenaufgabe körperlich, visuell und kognitiv völlig abgelenkt sind, bei Auftreten einer Systemgrenze der hochautomatisierten Fahrzeugführung zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert werden können. Die Frage war, in welchem Zeitraum vor einer nötigen Übernahme der Fahrer dazu aufgefordert werden soll. Die Übernahmezeiten sind abhängig von der Komplexität der Situation. Im einfachsten Fall reichte eine Übernahmezeit von 4 Sekunden aus. Im schwierigsten Fall wurden erst bei einer Übernahmeaufforderung 8 Sekunden vor Erreichen der Systemgrenze die der manuellen Fahraufgabe vergleichbaren Leistungen gemessen. Ebenfalls die Gestaltung von Übernahmeaufforderungen für den Übergang von automatisierter zu manueller Fahrt untersuchten Naujoks et al. (2014) in einer Simulatorstudie mit 16 Probanden. Die Fahrer führten während der Fahrt eine Nebenaufgabe aus und wurden bei Systemausfällen mit verschiedenen Übernahmeaufforderungen konfrontiert.

Visuell-auditive Übernahmeaufforderungen zeigten eine stärkere Wirkung als rein visuelle. Sie erzielten eine geringere Reaktionszeit, eine geringere laterale Abweichung sowie eine geringere Standardabweichung der lateralen Position.

Blanco et al. (2015) verglichen verschiedene Varianten von Übernahmeaufforderungen bei teil- und hochautomatisierter Fahrzeugführung. Sie kamen zu dem Schluss, dass der Fahrer bei hochautomatisierter Fahrzeugführung längere Zeit zur Übernahme benötigt als bei teilautomatisierter und dass ein haptischer Hinweis die effektivste Übernahmeaufforderung ist.

Kienle (2015) verglich in einer Simulatorstudie mit 44 Probanden verschiedene Bedienelemente zur simultanen kooperativen Fahrzeugführung (vgl. Punkt 2.2.3). Dabei betrachtete er auch das Verhalten der Fahrer bei Fehlfunktionen der Automation. Obwohl kooperative Fahrzeugführung eigentlich durch eine gemeinsame Führung des Fahrzeugs von Fahrer und Automation charakterisiert ist, wurde der Fall eines vollständigen Rückzugs des Fahrers aus der Fahraufgabe untersucht, indem er durch eine Nebenaufgabe vollständig abgelenkt wurde. Mit der herkömmlichen Fahrzeugbedienung durch Lenkrad und Pedale waren die Fahrer besser zu einer Übernahme im Falle von Systemstörungen in der Lage als mit dem neuartigen Bedienkonzept „Yoke“. Trotzdem kamen mit beiden Konzepten in bestimmten Situationen 60 % der Probanden von der Fahrbahn ab.

In der Arbeit von Schreiber (2012) wurde bei der Evaluierung des Konzepts der manöverbasierten Fahrzeugführung nur am Rande der Ausfall der Automation bei einer hochautomatisierten Autobahnfahrt untersucht. Der Autor fand heraus, dass die Fahrer zur Übernahme eine Zeit > 2 s benötigen. Fragen zur Systemstörungs-Situation, wie nach Einflussfaktoren auf die Übernahmefähigkeit des Fahrers oder die subjektive Bewertung der Situation durch den Fahrer wurden jedoch nicht gestellt.

Die Untersuchungen zeigen, je höher der Automatisierungsgrad und je höher die Zuverlässigkeit der Automation, desto schwieriger ist es für den Fahrer im Falle von Systemstörungen die Fahrzeugführung zurückzuübernehmen. Bei einem hohen Automatisierungsgrad und einer zuverlässigen Automation interagiert der Fahrer bei den untersuchten Systemen nicht mehr mit dem Fahrzeug, sondern nimmt nur eine Rolle als passiver Überwacher ein. Im Umkehrschluss wäre es naheliegend, dass der Fahrer durch fähigkeitsgerechte Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Automation auch bei zuverlässigen Systemen in die Fahrzeugführung eingebunden bleibt und bei Systemstörungen weniger Schwierigkeiten hat, die Fahrzeugführung zu übernehmen. Dieser Fall in den dargestellten Untersuchungen jedoch nicht betrachtet. Kienle (2015) betrachtet zwar kooperative Automation, sorgt aber durch den Versuchsaufbau dafür, dass der Fahrer vor den Systemstörungen mit dem System nicht kooperiert. Schreiber (2012) betrachtet in einer Nebenfragestellung Fahrerreaktionen bei einem Systemausfall hochautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung. Jedoch bleiben viele Fragen, wie die nach den Einflussfaktoren auf den Umgang des Fahrers mit Systemstörungen und das Systemverständnis des Fahrers beim Umgang mit Systemstörungen, unbeantwortet. In den Untersuchungen wurden nicht erfolgte Übernahmen der Fahrzeugführung meist durch die Passivität des Fahrers und eine ungenügende Aufmerksamkeit erklärt. Die Frage, ob sich der Fahrer seiner

Aufgaben bewusst war, wurde nicht gestellt und auch der Einfluss der Automation auf das Situationsbewusstsein blieb häufig unberücksichtigt. Die Untersuchungen zeigen zudem, dass durch ein geeignetes HMI-Konzept das Systemverständnis des Fahrers verbessert und er im Falle von Systemstörungen durch Übernahmeaufforderungen unterstützt werden kann.

2.4. Forschungsfragen

In dieser Arbeit soll der Umgang des Fahrers mit teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung im Falle von Systemstörungen betrachtet werden. Bei teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung interagiert der Fahrer ständig mit der Automation (vgl. Punkt 2.2.4) und wird somit motiviert, permanent Informationen aus der Umgebung und vom Assistenzsystem aufzunehmen, weshalb angenommen wird, dass das Situationsbewusstsein des Fahrers erhöht und daher eine erfolgreiche Übernahme der Fahrzeugführung bei Systemstörungen begünstigt wird. Deshalb soll als erstes folgende Frage beantwortet werden:

Verfügt der Fahrer bei manöverbasierter teilautomatisierter Fahrzeugführung über ausreichendes Situationsbewusstsein zum sicheren Umgang mit Systemstörungen?

Neben dem Situationsbewusstsein ist das Systemverständnis eine wichtige Voraussetzung für sichere automatisierte Fahrzeugführung und richtiges Verhalten des Fahrers im Falle von Systemstörungen. Der Fahrer muss sich sowohl bei funktionsfähiger Automation als auch im Falle von Systemstörungen seiner Aufgaben bewusst sein, da die Vernachlässigung einer Aufgabe des Fahrers eine schlechtere Leistung des Mensch-Maschine-Systems nach sich zieht. Deshalb lautet die zweite Forschungsfrage:

Versteht der Fahrer, welche Aufgaben er selbst ausführen muss und welche vom System übernommen werden?

Neben dem Verständnis der Änderung der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine ist es wichtig, dass der Fahrer im Falle einer Systemstörung die Aufgabe, die vom System nicht mehr oder fehlerhaft ausgeführt wird, in ausreichend kurzer Zeit übernimmt. Aus diesem Grund werden die Fahrerreaktionen auf Systemstörungen beobachtet:

Übernimmt der Fahrer nach einer Systemstörung die Fahraufgabe?

Eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Nutzung der teilautomatisierten Fahrzeugführung ist eine positive subjektive Bewertung durch den Fahrer. Aus diesem Grund soll die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung sowohl bei funktionsfähiger Automation als auch im Falle von Systemstörungen betrachtet und folgende Frage beantwortet werden:

Wie beurteilt der Fahrer die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung und die Systemstörungen subjektiv?

3. Experimentelle Untersuchung

In diesem Kapitel wird die experimentelle Untersuchung zur Beantwortung der Forschungsfragen beschrieben. Im ersten Abschnitt werden die Anforderungen an das Versuchskonzept erörtert. Basierend auf den Anforderungen und den Forschungsfragen werden im zweiten Abschnitt die zu überprüfenden Hypothesen aufgestellt. Im dritten Abschnitt werden die Kennwerte, die zur Hypothesenprüfung notwendig sind, ausgewählt. Im darauffolgenden Abschnitt wird der Versuchsaufbau dargestellt. Danach werden Probandenkollektiv, Versuchsablauf, Versuchsplan und Methodik der Auswertung beschrieben, um am Ende ein Fazit zu ziehen.

3.1. Anforderungen an das Versuchskonzept

Zur Beurteilung der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung soll der Proband ein Fahrzeug führen, das mit dieser Art der Assistenz ausgestattet ist. Um die Auswirkungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung auf Systemverständnis, Situationsbewusstsein und subjektive Bewertung untersuchen zu können, soll der Fahrer zum Vergleich eine Konfiguration fahren, in der er selbst die Stabilisierung übernimmt.

Zur Untersuchung des menschbezogenen Verhaltens bei Systemstörungen der teilautomatisierten Fahrzeugführung muss der Fahrer mit Störungen des Systems konfrontiert werden. Sie äußern sich darin, dass das System einen Teil der in Tabelle 5 angegebenen Aufgaben nicht mehr ausführt. Systemfehler auf einer höheren Ebene des 4-Ebenen-Modells können sich dabei nach Hollnagel et al. (2003) bis auf die Stabilisierungsebene fortpflanzen. Aus diesem Grund sollen sowohl Ausfälle der automatischen Längs- als auch der automatischen Querführung untersucht werden.

Es soll einerseits untersucht werden, ob der Fahrer im Falle von Systemstörungen in der Lage ist, die Stabilisierung des Fahrzeugs zu übernehmen, andererseits soll auch untersucht werden, ob der Fahrer seine Überwachungsaufgaben wahrnimmt. Nach Buld et al. (2002) ist es dazu sinnvoll, Situationen zu wählen, die kritisch werden, nicht weil das System etwas Bestimmtes tut, sondern weil es etwas nicht tut. Aus diesem Grund soll der Fall betrachtet werden, in dem das Fahrzeug die automatische Anpassung der Geschwindigkeit unterlässt.

Wie von Stancyk & Jurecki (2008) und Damböck et al. (2013) herausgefunden, kann es sein, dass sich die Fahrer in zeitlich wenig dringlichen Situationen mehr Zeit zur Rückübernahme lassen als in zeitlich dringlicheren Situationen. D.h. es spielt nicht nur die Eingriffsfähigkeit des Fahrers eine Rolle, sondern auch die Eingriffswilligkeit. Um die Auswirkung der dem Probanden für die Übernahme zur Verfügung stehenden Zeit auf sein Verhalten zu untersuchen, sollen sowohl für den Fall einer Systemstörung der Längsführung als auch für den Fall einer Systemstörung der Querführung zwei Ausprägungen unterschiedlicher zeitlicher Dringlichkeit betrachtet werden.

Wie in Punkt 2.3.2 dargestellt, kann der Fahrer bei der Übernahme der Fahrzeugführung unterstützt werden, indem er über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert wird. Da anzunehmen ist, dass Systemstörungen nicht vor ihrem Auftreten vom System

erkannt werden können, soll die Übernahmeaufforderung zeitgleich mit der Systemstörung erscheinen und den Fahrer gut wahrnehmbar und verständlich zur Übernahme der Fahrzeugführung auffordern.

Fahrversuche können in einem Fahrsimulator, im kontrollierten Feld oder im öffentlichen Straßenverkehr durchgeführt werden (Bruder et al., 2007). Nach Zöllner (2015) sind Versuche, in denen Fahrdynamikwerte und das Blickverhalten betrachtet werden, wenig valide, wenn sie in einem Simulator durchgeführt werden. Auch ist davon auszugehen, dass das Kritikalitätsempfinden des Fahrers bei Simulatorversuchen geringer ist als in einem realen Fahrzeug, weshalb ein reales Fahrzeug zur Versuchsdurchführung bevorzugt wird. Versuche im öffentlichen Straßenverkehr sind im Vergleich zu solchen auf dem Testgelände realitätsnäher, die Möglichkeiten zur Variablenmanipulation und die Reproduzierbarkeit sind jedoch gering. Außerdem kann eine Gefährdung der Versuchsperson und anderer Verkehrsteilnehmer bei der Konfrontation mit Systemstörungen nicht ausgeschlossen werden, weshalb die Versuche auf dem Testgelände, also im kontrollierten Feld, stattfinden sollen.

Der Versuchsplan soll so ausbalanciert werden, dass die Sensibilisierung der Probanden sowie Reihenfolge-, Übungs- und Ermüdungseffekte (vgl. Hussy & Jain, 2002) ausgeschlossen oder kompensiert werden. Die durchgeführten Methoden sollen die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität (Bortz, 2005) erfüllen. Die eingesetzten Messmethoden sollen keine Auswirkungen auf das Verhalten der Probanden haben (Abendroth, 2001).

3.2. Hypothesen

In diesem Abschnitt werden die Hypothesen beschrieben, die in der experimentellen Studie überprüft werden. Sie werden von den zuvor beschriebenen Forschungsfragen abgeleitet. Tabelle 6 zeigt die Hypothesen, die den Einfluss der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung auf Systemverständnis, Situationsbewusstsein und subjektive Wertung des Systems untersuchen. Zum Vergleich mit der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung wird der Automatisierungsgrad *assistiert* gewählt, in dem die Automation die Umgebung überwacht und bei Bedarf in die Fahrzeugführung eingreift, der Fahrer aber im Normalfall alle Fahrzeugführungsaufgaben selbst übernimmt.

Tabelle 6: Hypothesen zur Bewertung der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung

H ₀ 01	Das Systemverständnis des Fahrers im teilautomatisierten manöverbasierten Modus unterscheidet sich nicht signifikant vom Systemverständnis im assistierten Modus.
H ₀ 02	Das Situationsbewusstsein des Fahrers während der Fahrt im teilautomatisierten manöverbasierten Modus ist größer oder gleich dem Situationsbewusstsein im assistierten Modus.
H ₀ 03	Die subjektive Bewertung des Systems unterscheidet sich bei der Nutzung des teilautomatisierten manöverbasierten Modus nicht signifikant von der subjektiven Bewertung im assistierten Modus.

In Tabelle 7 sind die Hypothesen zur Überprüfung des Systemverständnisses des Probanden der teilautomatisierten Fahrzeugführung dargestellt. Es soll überprüft werden, ob alle Systemstörungen (in den verschiedenen Situationen) von den Fahrern erkannt werden und ob ein vorheriges Erleben einer Systemstörung die Erkennung einer weiteren beeinflusst. Außerdem soll überprüft werden, ob eine vom System ausgelöste, zeitgleich mit der Systemstörung erscheinende Übernahmeaufforderung vom Fahrer wahrgenommen und verstanden wird. Weiterhin wird untersucht, ob der Fahrer die bei einer Systemstörung sich ändernde Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine versteht.

Tabelle 7: Hypothesen zum Systemverständnis bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung

H ₀ 04	Die Systemstörungen werden von allen Fahrern erkannt.
H ₀ 05	Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wird.
H ₀ 06	Die Position im Versuchsablauf hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wird.
H ₀ 07	Die Übernahmeaufforderung im Kombi-Display hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wird.
H ₀ 08	Alle Fahrer erkennen die Übernahme-Aufforderung im Kombi-Display.
H ₀ 09	Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Übernahme-Aufforderung im Kombi-Display vom Fahrer erkannt wird.
H ₀ 10	Alle Fahrer schauen während der Übernahme-Aufforderung auf das Kombi-Display.
H ₀ 11	Alle Fahrer verstehen die bei einer Systemstörung geänderte Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine.

In Tabelle 8 sind die Hypothesen zur Rückübernahme der Fahrzeugführung bei Systemstörungen der teilautomatisierten Fahrzeugführung dargestellt. Es wird der Einfluss der Übernahmeaufforderung auf die Handlung und Reaktionszeit des Fahrers in Systemstörungs-Situationen betrachtet. Außerdem wird untersucht, ob die Reaktionszeiten bei Reaktion auf Systemstörungen sich zwischen verschiedenen Systemstörungen unterscheiden.

Tabelle 8: Hypothesen zur Rückübernahme der Fahrzeugführung bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung

H ₀ 12	Die Übernahmeaufforderung beeinflusst die Handlung des Fahrers in Systemstörungs-Situationen nicht signifikant.
H ₀ 13	Die Reaktionszeit des Fahrers auf die Systemstörung unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.
H ₀ 14	Die Übernahmeaufforderung hat keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit des Fahrers.

In Tabelle 9 sind die Hypothesen zum Situationsbewusstsein des Fahrers bei Systemstörungen der teilautomatisierten Fahrzeugführung dargestellt. Es wird untersucht, ob in den Systemstörungs-Situationen relevante Informationen aus der Umgebung wahrgenommen und verstanden werden und ob der zukünftige Verlauf der Situation vom Probanden vorhergesehen wird. Es wird untersucht, ob sich das Situationsbewusstsein des Fahrers zwischen Versuchsbeginn und Versuchsende sowie zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen unterscheidet.

Tabelle 9: Hypothesen zum Situationsbewusstsein des Fahrers bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung

H ₀ 15	Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob relevante Informationen aus der Umgebung erkannt werden.
H ₀ 16	Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob der weitere Verlauf der Situation korrekt antizipiert wird.
H ₀ 17	Das Situationsbewusstsein in Systemstörungs-Situationen unterscheidet sich nicht signifikant vom Situationsbewusstsein vor Erleben der Systemstörung.
H ₀ 18	Das Situationsbewusstsein in den Systemstörungs-Situationen unterscheidet sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 10 zeigt die Hypothesen zur subjektiven Bewertung des teilautomatisierten Assistenzsystems bei Systemstörungen. Es werden die Akzeptanz des Systems, die Mode-Awareness des Probanden und die Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens durch den Fahrer vor und nach Erleben der Systemstörungen verglichen. Außerdem wird die Bewertung der Kritikalität der Gesamtsituation, des Sicherheitsempfindens, der Störung des Fahrers, der Kontrollierbarkeit der Systemstörung und der

daraus resultierenden Situation sowie deren Sicherheit und Einfachheit zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen verglichen.

Tabelle 10: Hypothesen zur subjektiven Bewertung des Systems bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung

H ₀ 19	Die Akzeptanz des Systems nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich nicht signifikant von der Akzeptanz nach Erleben der Systemstörungen.
H ₀ 20	Die Mode-Awareness des Fahrers nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich nicht signifikant von der Mode-Awareness nach Erleben der Systemstörungen.
H ₀ 21	Die Bewertung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens durch den Fahrer nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich nicht signifikant von der Bewertung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens nach Erleben der Systemstörungen.
H ₀ 22	Die Kritikalitätsbewertung der Gesamtsituation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.
H ₀ 23	Die Bewertung des Sicherheitsempfindens unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.
H ₀ 24	Die Bewertung der Störung des Fahrers unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.
H ₀ 25	Die Bewertung der Kontrollierbarkeit der Systemstörung unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.
H ₀ 26	Die Bewertung der Sicherheit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.
H ₀ 27	Die Bewertung der Einfachheit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.
H ₀ 28	Die Bewertung der Kontrollierbarkeit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

3.3. Kennwerte und Methodik

In diesem Abschnitt werden die Kennwerte zur Messung von Systemverständnis, Situationsbewusstsein und subjektiver Beurteilung der Fahrerreaktionen dargestellt. Auf der Basis der im Versuch ermittelten Kennwerte werden die Hypothesen überprüft.

3.3.1. Situationsbewusstsein

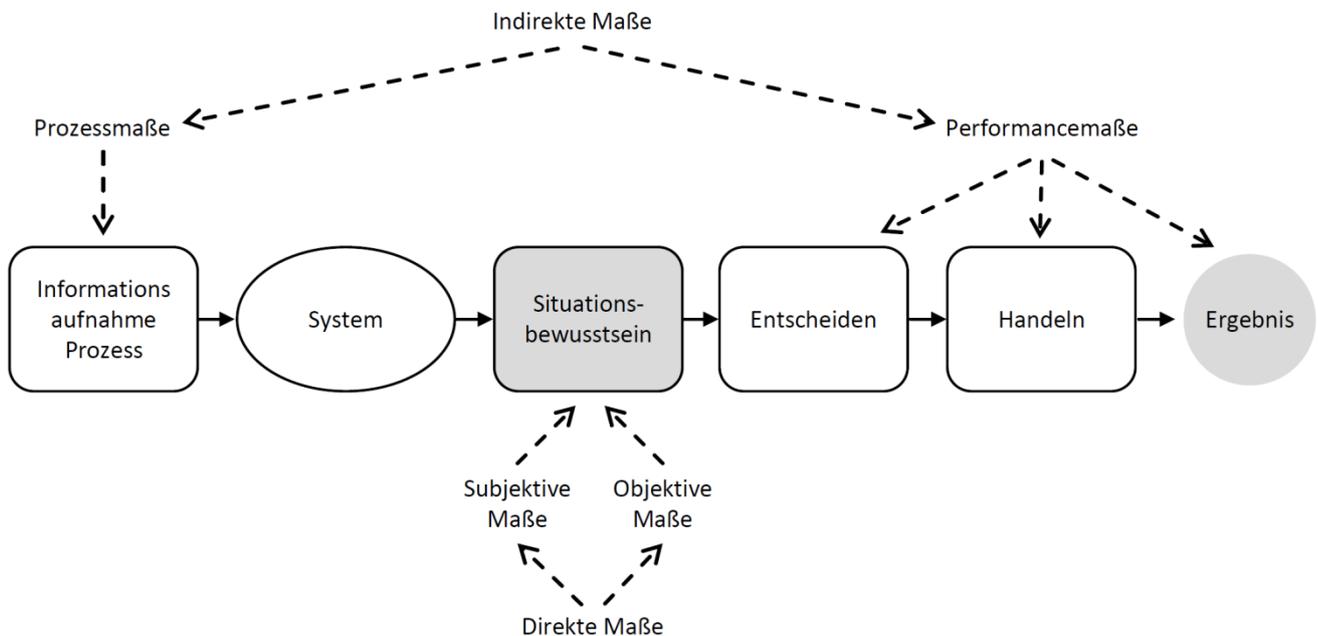


Abbildung 10: Messung von Situationsbewusstsein nach Endsley & Jones (2012)

Da Situationsbewusstsein ein abstraktes mentales Konstrukt ist, ist dessen Ermittlung mit gewissen Schwierigkeiten verbunden. Es existiert keine allgemeingültige Methode zur Messung von Situationsbewusstsein, weshalb in dieser Studie auf verschiedene Methoden zurückgegriffen werden soll. Abbildung 10 zeigt, dass es sowohl Methoden zur Ermittlung direkter als auch indirekter Maße zur Bestimmung des Situationsbewusstseins gibt, die sich durch die Stellen im Informationsverarbeitungsprozess, an denen gemessen wird, unterscheiden (Endsley & Garland, 2000). Direkte Maße erheben den Anspruch, direkt auf das Situationsbewusstsein zuzugreifen, indirekte Maße beziehen sich dagegen auf die der Bildung von Situationsbewusstsein vor- oder nachgelagerten Prozesse.

Indirekte Maße lassen sich unterteilen in Prozessmaße, die den Informationsaufnahmeprozess betrachten, um daraus Rückschlüsse auf das Situationsbewusstsein zu ziehen und in Performance-maße, die durch die Analyse der getroffenen Entscheidungen, Handlungen oder des Ergebnisses des Prozesses auf das Situationsbewusstsein schließen (Endsley & Jones, 2012).

Ein Prozessmaß ist die Methode der verbalen Protokolle, wobei die Probanden instruiert werden, „laut zu denken“, während sie eine Aufgabe erledigen, um im Nachgang Informationen, die relevant für die Bildung von Situationsbewusstsein sind, zu identifizieren und kategorisieren. Die Effektivität dieser

Methode hängt stark von der verbalen Ausdrucksfähigkeit der Versuchsperson ab und ermöglicht daher nur die Erstellung eines unvollständigen Bildes des individuellen Situationsbewusstseins. Da nur die Aspekte berücksichtigt werden können, die die Versuchsperson geäußert hat (Endsley & Jones, 2012), wird diese Methode in den Versuchen nicht verwendet.

Ebenfalls den Prozessmaßen zuzuordnen sind psychophysiologische Methoden. Die ihr zugehörige Blickbewegungsanalyse soll in den Versuchen genutzt werden, um Rückschlüsse auf das Situationsbewusstsein zu ziehen. Durch die Blickbewegungsanalyse kann über die Blickrichtung des Probanden auf die Aufmerksamkeitsausrichtung geschlossen werden, wodurch herausgefunden werden kann, ob relevante Informationen, die nötig sind, um Situationsbewusstsein zu bilden, wahrgenommen werden. Trotz der Information über die Aufmerksamkeitsausrichtung kann nicht sicher auf die Wahrnehmung einer Information geschlossen werden. Außerdem kann keine Information darüber erlangt werden, wie Informationen genutzt oder kombiniert werden (Endsley & Jones, 2012).

Performancemaße ziehen Rückschlüsse auf das Situationsbewusstsein eines Menschen durch die Betrachtung der Handlungen oder der Effekte, die die Handlungen auf die Leistung des Mensch-Maschine-Systems haben. Dazu werden in Untersuchungen Situationen erzeugt, in denen der Proband in voraussichtbarer Weise reagiert. Typisch hierfür ist die Messung von Reaktionszeiten. Das Problem dabei ist, dass ein hohes Situationsbewusstsein nicht zwangsläufig zu einer guten Performance führt und dass eine schlechte Performance nicht unbedingt durch ein niedriges Situationsbewusstsein ausgelöst wird. Vorteil von Performancemaßen ist die objektive Vergleichbarkeit (Pritchett & Hansman, 2000; Endsley & Jones, 2012). In den Versuchen sollen die auf die Systemstörungen folgenden Reaktionszeiten auch unter dem Aspekt des Situationsbewusstseins betrachtet werden.

Direkte Maße erheben den Anspruch, direkt auf das Situationsbewusstsein zuzugreifen. Sie lassen sich in subjektive und objektive Methoden unterteilen (Endsley & Garland, 2000).

Bei subjektiven Methoden wird entweder durch den Beobachter oder den Probanden selbst das Niveau des Situationsbewusstseins bewertet. Subjektive Methoden lassen sich anwenden, ohne die Ausführung der Hauptaufgabe zu beeinflussen. Allerdings besteht die Gefahr, dass die Bewertung des Situationsbewusstseins durch die Aufgabenperformance beeinflusst wird, d.h. dass Probanden das Situationsbewusstsein besser bewerten, wenn das Arbeitsergebnis besser ist. Bewährte subjektive Methoden sind die *situational awareness rating technique (SART)* nach Taylor (1990), die *situation awareness subjective workload dominance (SWORD)* nach Hughes & Vidulich (1991) und die *situation awareness rating scale (SARS)* nach Houck & Waag (1994) (Endsley & Jones, 2012).

Für die Versuche wird die SART-Methode nach Taylor (1990) gewählt, da sie sich im Bereich der automatisierten Fahrzeugführung bereits bewährt hat (van den Beukel & van der Voort, 2013a, 2013b; Salmon et al., 2009). Sie ist eine der bekanntesten und am umfassendsten getesteten subjektiven Methoden (Endsley & Jones, 2012) und weist eine hohe Sensitivität auf (Vidulich & Hughes, 2000).

Bei objektiven Methoden zur Bestimmung des Situationsbewusstseins werden vom Probanden Nebenaufgaben durchgeführt oder ihm werden Fragen gestellt, die sich auf die Situation beziehen. Die Antworten werden mit der Realität verglichen. Anhand der Richtigkeit der erfüllten Aufgaben bzw. Antworten wird auf das Situationsbewusstsein geschlossen. Bei der Erfüllung von Nebenaufgaben während der Hauptaufgabe (vgl. Baumann et al., 2006) gibt es jedoch Hinweise darauf, dass hauptsächlich das „Workload“ und nicht das Situationsbewusstsein gemessen wird (Endsley & Jones, 2012). Außerdem besteht die Gefahr, dass die „Awareness-Aufgabe“ selbst zur Hauptaufgabe des Versuchs wird und damit das Konzept konterkariert wird (Buld et al., 2002). Deshalb soll ein Verfahren mit Nebenaufgabe nicht angewendet werden.

Stattdessen sollen in Anlehnung an die SAGAT-Methode (Endsley, 1988) dem Probanden Fragen über bestimmte Aspekte der Umgebung gestellt werden, deren Antworten anschließend mit der Realität verglichen werden, um deren Richtigkeit zu überprüfen. Bei der Fragestellung muss berücksichtigt werden, dass die Situation, auf die sich die Fragen bezieht bzw. auf die sich die Untersuchung des Situationsbewusstseins bezieht, nicht zu lange zurückliegt, dass Fragen gestellt werden, die sich auf die vom Probanden bearbeiteten Aufgaben beziehen, dass die Fragen die Aufmerksamkeit des Probanden nicht lenken und so sein Situationsbewusstsein beeinflussen. Außerdem müssen die Fragen so gestellt werden, dass alle relevanten Aspekte des Situationsbewusstseins (also Wahrnehmung, Verständnis und Projektion in die Zukunft) abgedeckt werden (Endsley & Jones, 2012). Die Fragen sind in den Fragebögen WN an den Stellen 1.1 bis 1.3 und 1.5.4 bis 1.5.5 zu finden.

3.3.2. Systemverständnis

Unter Systemverständnis wird hier verstanden, dass der Fahrer die momentan gültige Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine versteht. Das Konzept der Mode-Awareness (Punkt 2.2.2) beinhaltet auch das Systemverständnis. Es soll in den Versuchen einerseits überprüft werden, ob bewusstes Systemverständnis vorhanden ist, der Fahrer also seine Aufgaben und die der Automation benennen kann. Andererseits soll untersucht werden, ob intuitives Systemverständnis vorhanden ist, der Fahrer ohne vorherige Erklärung, in kurzer Zeit in der Lage ist, die von ihm auszuführenden Aufgaben zu verstehen. Es soll auch überprüft werden, ob Systemverständnis bei einem Wechsel der Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine vorhanden ist.

In den Versuchen wird das Systemverständnis sowohl durch Beobachtung der Fahrerhandlungen als auch durch Fragebögen ermittelt. Zur Beurteilung des Systemverständnisses dient die unter Punkt 2.2.4 dargestellte Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine als Grundlage. Die verwendeten Fragebögen SV (Fragen 4.1, 4.2, 4.6, 4.7) und WN (Fragen 1.4 bis 1.5.3) sind im Anhang dargestellt.

3.3.3. Subjektive Bewertung

Zur Bewertung des subjektiven Empfindens des Fahrers beim Umgang mit der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung soll sowohl sein Empfinden beim Umgang mit dem funktionsfähigen System als auch beim Erleben von Systemstörungen betrachtet werden.

Das Vertrauen in das System, das Sicherheitsgefühl bei der Nutzung der teilautomatisierten Fahrzeugführung und die Kontrolle über das Fahrzeug werden durch Fragebögen erfragt. Zur Untersuchung der subjektiven Beanspruchung des Fahrers wird auf die *Rating Scale Mental Effort* (RSME) nach Zijlstra (1993) zurückgegriffen.

Um die Akzeptanz, die Mode-Awareness und die Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens vor und nach Erleben der Systemstörungen zu beurteilen, werden standardisierte Fragebögen nach (Kauer, 2012; Kauer et al., 2013) verwendet (Fragebögen TAQ, s. Anhang). Diese haben sich bereits im Zusammenhang mit der manöverbasierten Fahrzeugführung bewährt (Bruder, Kauer & Franz, 2014).

Zur subjektiven Beurteilung der Systemstörungen durch den Fahrer werden Fragebögen zur Beurteilung des Sicherheitsempfindens, der Störung des Fahrers und der Kontrollierbarkeit entwickelt. Außerdem werden Fragebögen zur Beurteilung der Kritikalität der Situation, zur Beurteilung des Sicherheitsempfindens des Fahrers sowie der Komplexität und Kontrollierbarkeit der Situation erstellt (Fragebögen WN, Fragen 1.8 bis 1.13).

3.3.4. Fahrerreaktionen

In Abbildung 11 ist der Ablauf einer erfolgreichen Übernahme der Fahrzeugführung durch den Fahrer im Falle einer Systemstörung dargestellt. Nach dem Auftreten der Systemstörung vergeht Zeit bis zum Entdecken der Störung durch den Fahrer (Blickzuwendungszeit). Danach vergeht Zeit bis zum Beginn der motorischen Reaktion (Reaktionsgrundzeit). Befinden sich die Hände nicht am Lenkrad bzw. der Fuß nicht auf dem Bremspedal, vergeht weitere Zeit bis zum Eingriff in die Fahrzeugführung. Die Zeit vom Auftreten der Systemstörung bis zum Eingriff in die Fahrzeugführung wird hier nach Abendroth et al. (2012) als *erweiterte Reaktionszeit* bezeichnet.



Abbildung 11: Ablauf einer erfolgreichen Übernahme der Fahrzeugführung durch den Fahrer im Falle einer Systemstörung

Für die Bestimmung einer erfolgreichen Übernahme der Fahrzeugführung (und sich der daraus ergebenden Übernahmezeit) existieren keine klaren Kriterien. Pfromm et al. (2015) haben hierzu die Normalisierung des Längs- und Querführungsverhaltens herangezogen. Da eine eindeutige Definition des Rückübernahmezeitpunkts nicht möglich und zur Beantwortung der Fragestellungen auch nicht

relevant ist, wird die erweiterte Reaktionszeit betrachtet. Um diese zu ermitteln, wird durch Videoaufzeichnungen im Fahrzeug-Innenraum der Zeitpunkt als Eingriff in die Fahrzeugführung bestimmt, an dem der Fahrer das Lenkrad fest umfasst hat bzw. sein Fuß auf dem Bremspedal aufliegt.

3.3.5. Blickbewegungsanalyse

Bei der Blickbewegungsanalyse werden Fixationen und Blickfolgebewegungen betrachtet. Dies sind die Bewegungen des Auges, die eine Informationsaufnahme ermöglichen, da das fixierte Objekt für eine gewisse Dauer im fovealen Bereich der Retina abgebildet wird (Schweigert, 2003). Nach EN ISO 15007-1:2002 werden sie genutzt, um die Kenngrößen der *Blickdauer* und der *Blickhäufigkeit* zu bestimmen. Die Blickdauer ist die Zeitspanne, die mit dem Zeitpunkt beginnt, an dem sich der Blick auf ein Ziel, z.B. das Kombi-Display, hinbewegt, bis zu dem Moment, zu dem er wieder davon abweicht. Die Blickhäufigkeit beschreibt die Anzahl der Blicke auf ein Ziel innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne, wobei jeder Blick durch mindestens einen Blick auf ein anderes Ziel abgegrenzt ist.

Zwischen den Fixationen und Blickfolgebewegungen treten Sakkaden auf. Sie beschreiben die Bewegung des Auges mit Geschwindigkeiten von bis zu 900 °/s von einem Ort des scharfen Sehens an den nächsten (Reinisch, 2010). Da während der Sakkaden keine bewussten Informationen aufgenommen werden (Young & Sheena, 1975), werden sie bei der Auswertung der Blickbewegungsanalyse nicht betrachtet.

Fixationen und Blickfolgebewegungen sind Bestandteil der kognitiven Verarbeitung von Informationen, die wiederum Voraussetzung für den Aufbau von Situationsbewusstsein ist (Abendroth et al. 2009). Die Frequenz, mit der eine Information aktualisiert wird, kann in Kombination mit der Verweildauer eine Aussage über den Stellenwert machen, den diese Information für den Probanden hat. Dabei bedeuten eine höhere Frequenz und eine längere Verweildauer eine höhere Priorität dieser Information (Damböck, 2013).

Bereiche, in denen eine bestimmte Klasse von Informationen vorhanden ist, werden zu Areas-of-Interest (AOIs) zusammengefasst.

Bei der Auswertung werden folgende AOIs betrachtet:

- Verkehrsraum
- Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI)
- Umgebung

Der AOI *Verkehrsraum* beinhaltet die Straße, Verkehrszeichen, die Lichtsignalanlage sowie andere Verkehrsobjekte, also alle Informationen aus dem Umfeld, die für die Fahrzeugführung relevant sind. Das AIO *HMI* umfasst alle Elemente der Mensch-Maschine-Schnittstelle, aus denen der Fahrer visuelle Informationen über den Fahrzeug-Zustand entnehmen kann. Das AOI *Umgebung* umfasst alle übrigen Bereiche.

3.3.6. Statistische Tests

Um die Hypothesen zu überprüfen, werden statistische Tests durchgeführt. Zum Vergleich von Mittelwerten wird im Falle von normalverteilten Stichproben der t-Test für abhängige oder unabhängige Stichproben angewandt (Bortz, 2005; Student, 1908). Bei nicht normalverteilten unabhängigen Stichproben wird der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt (Zöfel, 2003; Mann & Whitney, 1947). Der Fall nicht normalverteilter abhängiger Stichproben kommt in dieser Arbeit nicht vor. Ob die Stichproben normalverteilt sind, wird mit dem Shapiro-Wilk-Test (Shapiro & Wilk, 1965) überprüft. Bei Stichproben von $N > 30$ wird nach dem zentralen Grenzwerttheorem eine Normalverteilung angenommen (Bortz, 2005). Die Höhe der Irrtumswahrscheinlichkeit, ab der von einem signifikanten Unterschied der Stichproben ausgegangen wird, ist $p \leq 0,05$ (s. Tabelle 11) (Zöfel, 2003).

Werden mehr als zwei Stichproben verglichen, wird, wenn der Levene-Test auf Varianzhomogenität (Levene, 1960) keine signifikanten Unterschiede der Varianzen ergibt, eine einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA (Field, 2013) durchgeführt. Ist keine Varianzhomogenität vorhanden, wird der Kruskal-Wallis-Test für unabhängige Stichproben angewandt (Kruskal & Wallis, 1952).

Zum Vergleich von dichotomen Variablen wird der Vierfelder-Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Ist die erwartete Häufigkeit einer Zelle kleiner als fünf, wird der exakte Test nach Fisher (Fisher, 1922) verwendet, ansonsten der Chi-Quadrat-Test nach Pearson (Pearson, 1900).

Tabelle 11: Signifikanzstufen nach Zöfel (2003)

Irrtumswahrscheinlichkeit p	Signifikanz	Symbol
> 0,05	nicht signifikant	n.s.
≤ 0,05	signifikant	*
≤ 0,01	sehr signifikant	**
≤ 0,001	höchst signifikant	***

3.4. Versuchsaufbau

In diesem Abschnitt wird der Versuchsaufbau dargestellt. Zuerst werden die Versuchsstrecke und die Systemausfall-Szenarien erläutert, anschließend Versuchsfahrzeug und Messtechnik.

3.4.1. Versuchsstrecke und Szenarien

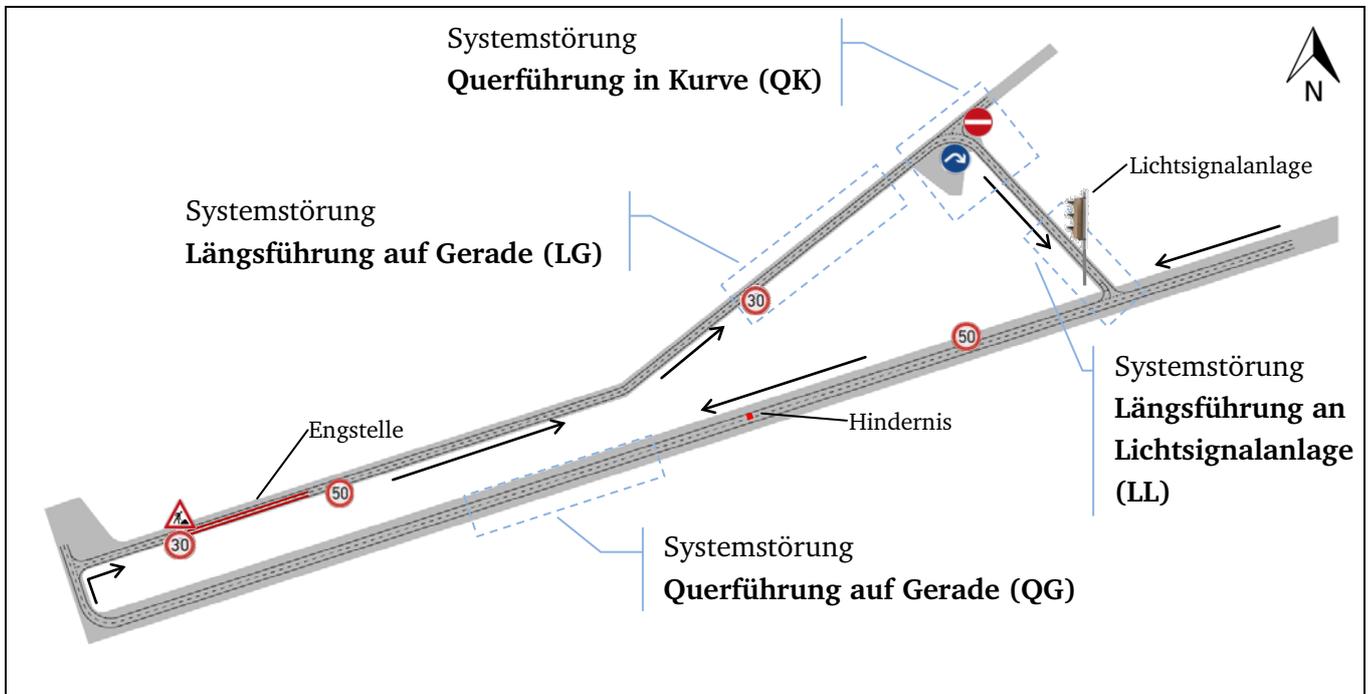


Abbildung 12: Teststrecke mit Versuchsaufbau

Die Probandenversuche finden auf dem August-Euler-Flugplatz in Griesheim bei Darmstadt statt. Der etwa 1900 m lange Rundkurs (Abbildung 12) wird im Uhrzeigersinn durchfahren. An der Engstelle im westlichen Teil der Strecke und im nordöstlichen Bereich der Strecke gilt eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h, im übrigen Teil der Strecke ist die Geschwindigkeit auf 50 km/h begrenzt. Auf der langen Geraden befindet sich ein statisches Hindernis. Weicht der Fahrer dem Hindernis nicht aus, kann er erleben, wie das Assistenzsystem das Fahrzeug automatisch davor abbremst. Im teilautomatisierten manöverbasierten Modus *Kooperative Automation* wird der Fahrer vom Versuchsleiter aufgefordert, dem Hindernis durch ein Fahrstreifenwechsel-Manöver auszuweichen. An den Kreuzungen im nordwestlichen sowie südöstlichen Teil der Strecke beauftragt der Fahrer Abbiegemanöver, um der Strecke zu folgen.

Bei den Versuchsfahrten werden vier Systemstörungen der Kooperativen Automation nachgestellt. In Abbildung 12 sind deren Auftretenspositionen an der Strecke gekennzeichnet. Es handelt sich um Störungen der Querverführung, die in der Kurve sowie auf der Geraden auftreten, und um Störungen der Längsführung, die auf der Geraden und vor der Lichtsignalanlage auftreten. Nachfolgend werden diese näher erläutert.

Die Systemstörung *Längsführung auf Gerade* (LG) (Abbildung 13) tritt im nordöstlichen Teil der Strecke auf. Bei funktionsfähiger Kooperativer Automation wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs am

Tempo30-Verkehrszeichen automatisch von den vorher zulässigen 50 km/h auf 30 km/h heruntergeregelt. Im Falle der simulierten Systemstörung ist dies nicht der Fall. Das Fahrzeug fährt unvermindert mit 50 km/h weiter. Diese Systemstörung stellt eine Nicht-Erkennung des Verkehrszeichens dar, die sich bis zu einer fehlerhaften Längsführung des Fahrzeugs fortsetzt. Diese Situation weist eine geringe Kritikalität auf. Sie stellt zwar einen Verstoß gegen die Verkehrsregeln dar, hat aber keine unmittelbare Gefährdung zur Folge. Reagiert der Fahrer nicht, fährt das Fahrzeug ca. 15 s mit überhöhter Geschwindigkeit, bevor es bei der Kurveneinfahrt die Geschwindigkeit wieder automatisch reduziert.

Bei der Systemstörung *Längsführung an Lichtsignalanlage* (LL) (Abbildung 14) wird ein Ausfall der automatischen Bremsung an der Haltelinie vor der Lichtsignalanlage (LSA) durch ein Nicht-Erkennen der Rotphase simuliert. Im Falle der funktionsfähigen Kooperativen Automation bremst das Versuchsfahrzeug automatisch bei Rotlicht ab 25 m vor der Lichtsignalanlage ab und kommt an der Haltelinie zum Stehen. Im Falle der Systemstörung findet die automatische Bremsung nicht statt. Reagiert der Fahrer nicht rechtzeitig, überfährt das Auto die Haltelinie. Diese Situation weist eine hohe zeitliche Kritikalität auf. Der Fahrer hat im Falle einer Systemstörung nur 2,2 s zur Verfügung, um eine Maximalverzögerung (10 m/s^2) des Fahrzeugs auszulösen und an der Haltelinie zum Stehen zu kommen. Wird das Fahrzeug nicht maximal verzögert, ist die zur Verfügung stehende Zeit entsprechend geringer.



Abbildung 13: Systemstörung Längsführung auf Gerade (LG) Abbildung 14: Systemstörung Längsführung an Lichtsignalanlage (LL)

Die Systemstörungs-Situation *Querführung auf Gerade* (QG) (Abbildung 15) findet auf der langen Geraden statt. Es wird ein Ausfall der automatischen Querführung des Fahrzeugs simuliert. Damit das Fahrzeugverhalten reproduzierbar ist, wird bei Ausfall der Querführung ein negativer Lenkradwinkel von ca. 1° eingestellt, damit das Fahrzeug bei jeder Systemstörungs-Situation langsam nach links von der Fahrbahn abkommt, wenn der Fahrer nicht eingreift. Vom Beginn der Systemstörung bis zum Erreichen des Fahrbahnrandes vergehen etwa 6 s. Greift der Fahrer bis dahin nicht ein, bringt der Versuchsleiter das Fahrzeug zum Stehen.

In der Situation *Querführung in Kurve* (QK) (Abbildung 16) fällt die automatische Querführung des Fahrzeugs bei der Einfahrt in die Kurve im nordöstlichen Teil der Teststrecke aus. Das Fahrzeug lenkt nicht, wie bei funktionsfähiger Kooperativer Automation, in die Kurve ein. Greift der Fahrer nicht ein, kommt das Fahrzeug von der Kurvenbahn ab und fährt in die Gegenrichtung einer Einbahnstraße ein. Vom Beginn der Systemstörung bis zur Einfahrt in die Einbahnstraße, vergehen, wenn eine Reaktion des Fahrers ausbleibt, etwa 4 s.



Abbildung 15: Systemstörung Querführung auf Gerade (QG) Abbildung 16: Systemstörung Querführung in Kurve (QK)

3.4.2. Versuchsfahrzeug und Messtechnik

Als Versuchsfahrzeug dient ein modifizierter VW Passat B7. Zur Erfassung der Umgebung um das Fahrzeug wurden verschiedene Sensoren in das Fahrzeug eingebaut. Eine Stereokamera liefert ein räumliches Abbild der Verkehrssituation vor dem Fahrzeug. Sie erfasst Fahrstreifenmarkierungen, Verkehrszeichen und Objekte. Ein Fernbereichsradarsensor (77 GHz) dient ebenfalls zur Erkennung und Entfernungsbestimmung von Objekten. Durch Fusion mit dem Kamerasignal wird die Robustheit der Erkennung gesteigert. Vier 24-GHz-Radarsensoren erkennen Objekte im Bereich neben und hinter dem Wagen (Cieler et al., 2014). Die Umgebungsdaten werden in einem Netzwerk von 6 PCs interpretiert und weiterverarbeitet (vgl. auch Bauer, o.J.; Lotz, o.J.; Schreier, 2015).

Durch elektrische Aktoren wird das Lenkrad mit einem Drehmoment beaufschlagt und so in die Querführung des Fahrzeugs eingegriffen. Außerdem kann durch eine Längsführungsschnittstelle das Fahrzeug verzögert und beschleunigt werden. Die Interaktion mit dem Fahrer findet durch eine multimodale Mensch-Maschine-Schnittstelle statt. Durch ein aktives Fahrpedal (Cieler et al., 2014) können dem Fahrer Informationen auf dem haptischen Sinneskanal übermittelt werden. Durch ein frei programmierbares Kombiinstrument (FPK) (Pfromm et al., 2015) sowie ein programmierbares 360°-LED-Lichtband (Pfromm et al., 2013) werden dem Fahrer Informationen auf dem visuellen Sinneskanal zur Verfügung gestellt. Durch akustische Hinweise können die Aufmerksamkeit des Fahrers geweckt und die optischen Hinweise unterstützt werden. Über zwei Bedienhebel am Lenkstock (Abbildung 17 und Abbildung 18) können Eingaben für die Moduswahl, Parameteränderungen oder Manöveranforderungen getätigt werden.

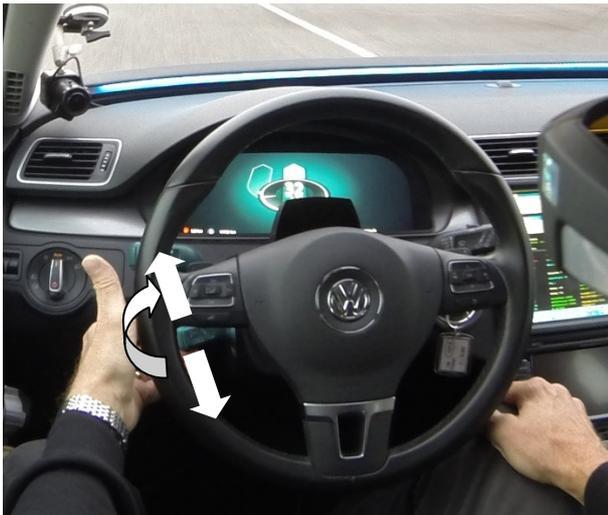


Abbildung 17: Bedienhebel zum Wechsel zwischen Kooperativer Automation und Safety Corridor sowie zur Eingabe der Wunschgeschwindigkeit



Abbildung 18: Manövereingabe per Fahrtrichtungsanzeiger-Hebel

Dem Fahrer stehen zwei Modi zur Verfügung. Dauerhaft aktiv ist der Modus *Safety Corridor* (Automatisierungsgrad *assistiert*, Abbildung 21), der ständig die Umgebung überwacht. Je nach Kritikalität der Situation wird der Fahrer gewarnt, ihm Handlungsanweisungen gegeben oder in die Längs- oder Querdynamik des Fahrzeugs eingegriffen, um die Situation zu entschärfen. Eine Annäherung an die Grenzen des befahrbaren Freiraums wird dem Fahrer im Kombiinstrument angezeigt, ebenso eine mögliche Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern, eine zu hohe Kurvengeschwindigkeit, das Überfahren von Lichtsignalanlagen bei Rotphasen und Einfahrt-verboten-Verkehrszeichen.



Abbildung 19: Blaues Leuchtband bei aktiver Kooperativer Automation

Durch Ziehen des Bedienhebels (Abbildung 17) kann der Fahrer in den Modus *Kooperative Automation* wechseln, in dem die Längs- und die Querführung des Fahrzeugs automatisch ausgeführt wird. Der Fahrer braucht Lenkrad und Pedale nicht zu betätigen. Der Fahrer erkennt den Wechsel in den Modus *Kooperative Automation* durch die veränderte Darstellung im Kombiinstrument und das jetzt blau leuchtende LED-Lichtband (Abbildung 19). Zusätzlich wird der Moduswechsel durch ein akustisches Signal besser wahrnehmbar gemacht. Durch Drücken des Bedienhebels oder bei Betätigung des Bremspedals wechselt das System zurück in den *Safety Corridor*-Modus.

Wird der Fahrer zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert, erscheint im Freiprogrammierbaren Kombiinstrument (FPK) ein Hinweis (Abbildung 20), der zusätzlich durch ein akustisches Signal unterstützt wird.

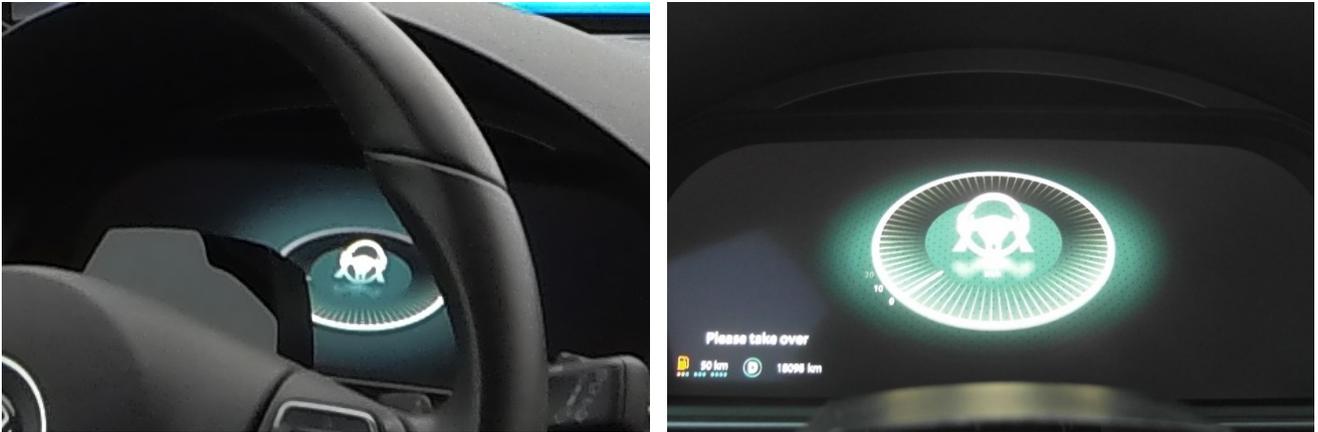


Abbildung 20: Übernahmeanforderung im Kombi-Display

Durch Heben und Senken des Bedienhebels wird die Wunschgeschwindigkeit des Fahrers eingegeben (Abbildung 17). Die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit richtet sich nach der Straßengeometrie und den Geschwindigkeitsbeschränkungen, sie überschreitet jedoch nie die vom Fahrer vorgegebene Geschwindigkeit. Bei der Zufahrt auf Verkehrsknoten werden dem Fahrer mögliche Abbiegemanöver und bei der Fahrt auf einer zweistreifigen Geraden Fahrstreifenwechselmanöver im Fahrerdisplay (Abbildung 22 bis Abbildung 24) angeboten. Der Fahrer kann die möglichen Manöver durch einen modifizierten Fahrstreifenwechselanzeiger-Hebel auswählen (Abbildung 18). Das Fahrzeug führt diese daraufhin automatisch aus.



Abbildung 21: Displayanzeige im Modus „Safety Corridor“ (Pfromm et al., 2015)



Abbildung 22: Anzeige im Modus „Kooperative Automation“: Aktives Manöver „Fahrstreifen folgen“ mit der Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels nach links (Pfromm et al., 2015)



Abbildung 23: Anzeige im Modus „Kooperative Automation“: Fahrstreifenwechsel nach links wird ausgeführt (Pfromm et al., 2015) Abbildung 24: Anzeige im Modus „Kooperative Automation“: Abbiegemöglichkeiten an einer T-Kreuzung (Pfromm et al., 2015)

Eine Lokalisierung des Fahrzeugs wird durch GPS sowie mittels Radarsensoren und Streckenmarken erreicht. Fahrzeugdaten, wie die momentane Position des Fahrzeugs, Geschwindigkeit sowie die Stellungen des Fahr- und Bremspedals werden mit einer Abtastrate von 100 Hz aufgezeichnet.

Die Blickbewegungsdaten werden mit den Eye Tracking Glasses 2.0 der Firma SensoMotoric Instruments GmbH (SMI) aufgezeichnet (Abbildung 25). Die Blickbewegung wird dabei mit der Cornea-Reflex-Methode optisch erfasst, woraus mit Hilfe einer Software die Blickrichtung des Probanden bestimmt wird. Die Videodaten werden in einer Auflösung von 1280 x 960 Pixeln mit einer Bildrate von 50 Hz aufgezeichnet. Die Blickrichtung des Probanden wird in einem Datensatz hinterlegt, und zusätzlich durch eine Markierung in den Videodaten angezeigt. Zur Datenauswertung wird die BeGaze™ Eye Tracking-Analysesoftware von SMI verwendet.



Abbildung 25: SMI Eye Tracking Glasses



Abbildung 26: Bild Fahrerkamera



Abbildung 27: Bild Pedalkamera

Zur Beobachtung des Fahrerhaltens, insbesondere der Position der Füße und der Hände, werden im Fahrzeuginnenraum Kameras (Abbildung 26 und Abbildung 27) installiert. Die Videodaten werden von einem PC in einer Bildwiederholfrequenz von 50 Hz in einer Auflösung von jeweils 320 x 200 Pixel aufgezeichnet. Die Datenaufzeichnung von Fahrzeugdaten, Blickbewegungsdaten und Innenraumkameras wird synchronisiert.

3.5. Probandenkollektiv

Nach Bubb (2003b) beträgt die Mindestprobandenzahl bei verbundenen Stichproben $N = k!$, wobei k die Anzahl der Versuchsvarianten angibt. Bei vier Varianten beträgt die Mindestprobandenzahl also $N = 24$. Damit bei allen Systemstörungs-Varianten eine Probandenzahl von $N > 30$ erreicht wird, was Voraussetzung für die Annahme der Normalverteilung der Mittelwerte ist (vgl. Bortz, 2005), werden die Versuche mit $N = 77$ Probanden durchgeführt.

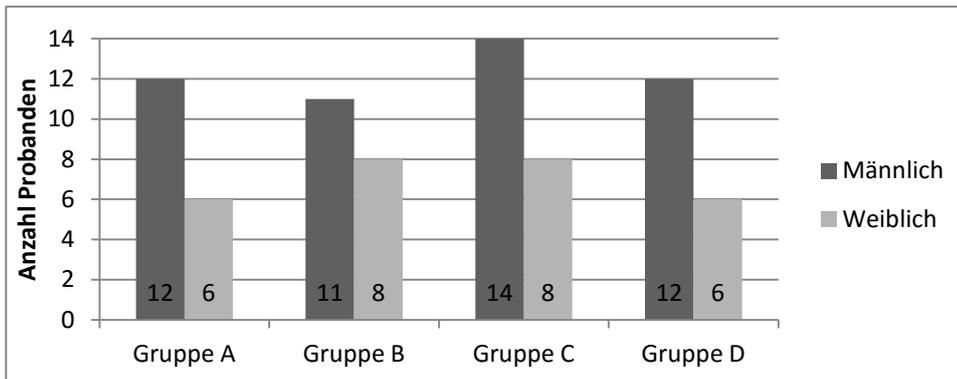


Abbildung 28: Probandenanzahl und Geschlechterverteilung in den einzelnen Versuchsgruppen

Voraussetzung zur Teilnahme an den Versuchen war, dass die Probanden noch nie an Versuchen zur teilautomatisierten oder manöverbasierten Fahrzeugführung teilgenommen hatten. Bei der Akquisition der Probanden wurde auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung von Alter und Geschlecht geachtet. In Abbildung 28 ist die Verteilung der Probanden in den verschiedenen Gruppen dargestellt. Das durchschnittliche Alter der Probanden beträgt 39,9 Jahre ($SD = 20,8$) in Gruppe A, 39,2 Jahre ($SD = 16,2$) in Gruppe B, 40,9 Jahre ($SD = 17,8$) in Gruppe C und 43,5 Jahre ($SD = 18,0$) in Gruppe D.

3.6. Versuchsablauf und Versuchsplan

In Tabelle 12 ist der Ablauf der Versuche dargestellt. Nach der Begrüßung füllt die Versuchsperson die Einverständniserklärung und den Fragebogen *Angaben zur Person* (s. Anhang) aus. Anschließend werden ihr der Ablauf des Versuchs und die Bedienung des Assistenzsystems (z.B. der Wechsel zwischen den Modi, die Manöverdelegation und die Eingabe der Wunschgeschwindigkeit) erklärt.

Zu der Funktion der beiden Modi erhält der Fahrer folgende Informationen:

- Safety Corridor
 - System läuft im Hintergrund und überwacht Fahrer und Umgebung.
 - In kritischen Situationen wird der Fahrer zuerst gewarnt, bei Nichtbeachtung der Warnung erfolgt ein Lenk- oder Bremsengriff.
- Kooperative Automation
 - Das Fahrzeug fährt selbstständig durch vom Fahrer veranlasste Befehle, wie z.B. rechts abbiegen oder Fahrstreifen wechseln.

- Das Fahrzeug hält die vom Fahrer eingestellte Geschwindigkeit und passt sie an Verkehrszeichen sowie die Straßenführung an.
- Das System befindet sich noch in der Erprobungsphase und entbindet den Fahrer nicht von seinen Pflichten der Überwachung.

Ein Hinweis auf die im Versuch auftretenden Systemstörungen wird dem Probanden nicht gegeben. Dem Proband wird nur mitgeteilt „*Unser Untersuchungsziel sind die Akzeptanz und der Umgang mit innovativen Fahrerassistenzsystemen.*“

Der Fahrauftrag lautet:

- „*Fahren Sie bitte die Strecke, die der Versuchsleiter angibt.*“
- „*Achten Sie bitte auf die Einhaltung der Geschwindigkeitsvorgaben!*“
- „*Bitte beachten Sie die StVO.*“

Der Versuchsleiter kommunizierte nur in den Einführungsrounden mit dem Probanden. Die anderen Testfahrten sollte der Fahrer auf sich allein gestellt absolvieren.

Tabelle 12: Ablauf der Versuche

Modus	Runde	Beschreibung	Fragebögen
Safety Corridor	1	Einführungsrunde	
	2	Messrunde	SART, RSME, SV
Kooperative Automation	3	Einführungsrunde	
	4	Messrunde	SART, RSME, SV, TAQ
	5	Systemstörung 1	SART, WN
	6	Zwischenrunde	
	7	Systemstörung 2	WN
	8	Systemstörung 3	WN, TAQ

Die ersten beiden Runden auf der Teststrecke absolviert der Fahrer im assistierten Modus *Safety Corridor*. Nach Ende der zweiten Runde füllt der Fahrer die Fragebögen zum Systemverständnis (SV), Situationsbewusstsein (SART) und der subjektiven Beanspruchung (RSME) aus (Fragebögen s. Anhang). Im Anschluss daran wird der Fahrer aufgefordert, die Fahrt im teilautomatisierten Modus *Kooperative Automation* fortzusetzen. Nach Runde 4 füllt der Fahrer wieder Fragebögen zum Systemverständnis (SV), Situationsbewusstsein (SART) und der subjektiven Beanspruchung (RSME) im teilautomatisierten Modus aus. Außerdem wird der Fragebogen TAQ ausgefüllt. In der nächsten Runde (5) wird der Fahrer mit der ersten Systemstörung konfrontiert. Nach dem Erleben der Systemstörung wird der Proband aufgefordert anzuhalten, sofern er dies nicht schon von alleine tut,

um die Fragebögen WN zur Beurteilung des Verständnisses der Systemstörungs-Situation sowie der Fragebogen SART ausgefüllt. Nach einer Runde ohne Systemstörung wird der Fahrer in Runde 7 und Runde 8 mit zwei weiteren Systemstörungen konfrontiert. Nach jeder der Störungen füllt der Fahrer den Fragebogen WN aus.

Im Anschluss an die Versuchsfahrten füllt der Fahrer die Fragebögen TAQ aus und wird anschließend mit einem Geschenk verabschiedet.

Tabelle 13: Versuchsplan

Gruppe	Position	Systemstörung	Streckenabschnitt	Übernahmeaufforderung
A	1	Längsführung	Gerade	Nein
	2	Querführung	Gerade	Ja
	3	Querführung	Kurve	Ja
B	1	Querführung	Gerade	Nein
	2	Längsführung	LSA	Nein
	3	Querführung	Kurve	Nein
C	1	Querführung	Kurve	Nein
	2	Längsführung	LSA	JA
	3	Längsführung	Gerade	Nein
D	1	Querführung	Kurve	Ja
	2	Querführung	Gerade	Nein
	3	Längsführung	Gerade	Ja

In Tabelle 13 ist der Versuchsplan dargestellt. Es werden vier Probandengruppen (A bis D) gebildet, die jeweils drei Systemstörungen erleben. Die Tabelle zeigt, ob es sich um eine Störung der Längs- oder Querführung handelt, auf welchem Streckenabschnitt diese auftritt (auf der Geraden, vor der Kurve oder vor der Lichtsignalanlage) und ob der Fahrer durch eine Übernahmeaufforderung unterstützt wird. Die unabhängigen Variablen sind die Ausfallart (Längs- oder Querführung), der Streckenabschnitt in dem der Ausfall stattfindet sowie die erfolgte oder nicht erfolgte Übernahmeaufforderung durch die Mensch-Maschine-Schnittstelle. Der unvollständige Versuchsplan (jeder Proband erfährt nur drei, statt aller möglichen Merkmalskombinationen) wird gewählt, um in der Lage zu sein, mehrere Einflussgrößen zu untersuchen, die Versuchszeit aber in Grenzen zu halten. Außerdem wird so verhindert, dass die Probanden mit zu vielen Systemstörungen konfrontiert werden, was zu einem Gewöhnungseffekt und Überbeanspruchung der Probanden führen könnte.

3.7. Fazit

In diesem Kapitel wurde ein Konzept zur Untersuchung des Umgangs des Fahrers mit teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung entwickelt. Das Versuchskonzept umfasst zwei Abschnitte. Im ersten Abschnitt wird der Einfluss der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung auf Systemverständnis, Situationsbewusstsein und subjektive Bewertung des Fahrers untersucht. Dazu wird die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung mit der einfachen assistierten Fahrzeugführung verglichen. Im zweiten Abschnitt wird der Umgang des Fahrers mit Systemstörungen untersucht. Die abhängigen Variablen sind das Situationsbewusstsein, das Systemverständnis, die subjektive Bewertung sowie die Reaktionszeit bei Rücknahme der Fahrzeugführung, zu deren Beurteilung Fragebögen verwendet, Blickbewegungsdaten aufgezeichnet und Reaktionszeiten ermittelt werden.

Die Probanden werden in vier Gruppen eingeteilt, in denen jeweils drei Systemstörungs-Varianten untersucht werden. Als Versuchsumgebung wird das kontrollierte Feld gewählt. Auch wenn hier der Versuch aus einem künstlich „konstruierten“ Ablauf besteht, so verspricht das kontrollierte Feld einen höheren Realitätsgrad im Vergleich zu Fahrsimulationen und eine höhere Reproduzierbarkeit der Variablen im Vergleich zu Versuchen im realen Straßenverkehr. Der Nachteil des geringeren Realitätsgrades im Vergleich zum realen Straßenverkehr muss in Kauf genommen werden, da aus Sicherheitsgründen auf weitere Verkehrsteilnehmer verzichtet werden muss.

4. Ergebnisse

4.1. Vergleich von teilautomatisierter mit assistierter Fahrzeugführung

In diesem Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse zum Einfluss des Automatisierungsgrads auf das Systemverständnis, das Situationsbewusstsein und die subjektive Bewertung des Fahrers dargestellt. Es wird die Bewertung der teilautomatisierten manöverbasierten (Kooperative Automation) mit der assistierten (Safety Corridor) Fahrzeugführung verglichen.

4.1.1. Systemverständnis

H₀ 01: Das Systemverständnis des Fahrers im teilautomatisierten manöverbasierten Modus unterscheidet sich nicht signifikant vom Systemverständnis im assistierten Modus.

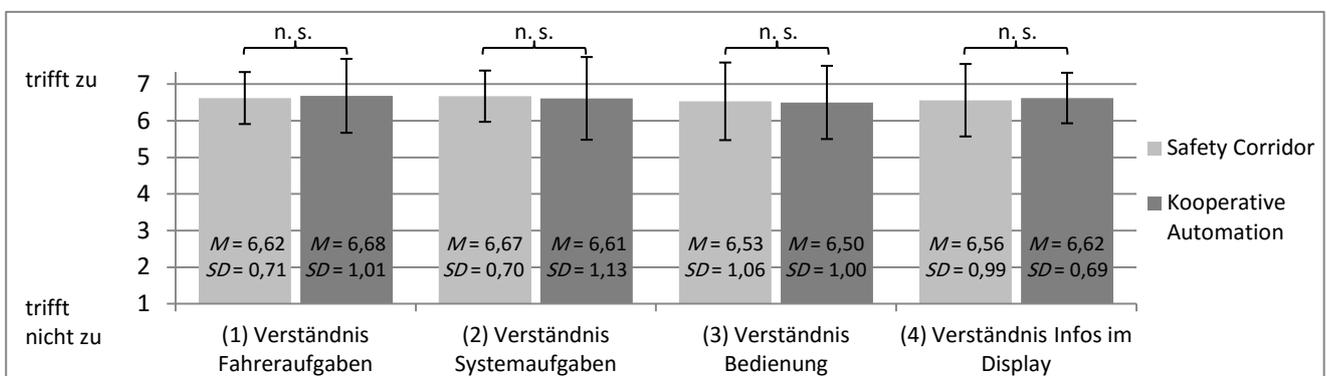


Abbildung 29: Selbsteurteilung des Systemverständnisses ($N = 69$)

Nach dem Erleben des assistierten (Safety Corridor) sowie des teilautomatisierten Modus (Kooperative Automation) wurde das Systemverständnis der Probanden untersucht. Dazu nahmen die Fahrer zunächst eine Selbsteinschätzung vor, wie weit sie ihre eigenen Aufgaben sowie die des Systems verstanden hatten. Außerdem beurteilten sie das Verständnis der Bedienung des Systems und der im Kombiinstrument-Display dargestellten Informationen. Die Ergebnisse der Selbsteinschätzung sind in Abbildung 29 dargestellt. Das selbst eingeschätzte Systemverständnis der Fahrer liegt auf einem durchgängig hohen Niveau. Bei allen Punkten in beiden Automatisierungsgraden ist die durchschnittliche Zustimmung größer als 6,5 (auf einer Skala von 1: trifft nicht zu bis 7: trifft zu). Bei keinem Punkt unterscheiden sich die Mittelwerte signifikant zwischen den beiden Automatisierungsgraden: (1) $t(68) = 0,42$; $p = 0,68$; (2) $t(68) = 0,48$; $p = 0,63$; (3) $t(67) = 0,22$; $p = 0,83$; (4) $t(67) = 0,45$; $p = 0,65$; $N = 69$; t-Test für abhängige Stichproben. Die Hypothese H₀ 01 wird also nicht verworfen. Die Vermutung, dass die sich zwischen den beiden Modi unterscheidende Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine eine Auswirkung auf das von den Probanden eingeschätzte Systemverständnis hat, kann nicht bestätigt werden. Auch das Verständnis der Bedienung sowie der in der Anzeige dargestellten Informationen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Modi.

Im Anschluss an die Selbsteinschätzung wurde die Versuchsperson durch eine offene Frage im Fragebogen aufgefordert, die Aufgaben zu benennen, die, der eigenen Einschätzung nach, durch die Automation ausgeführt werden, sowie die, die der Fahrer selbst auszuführen hat.

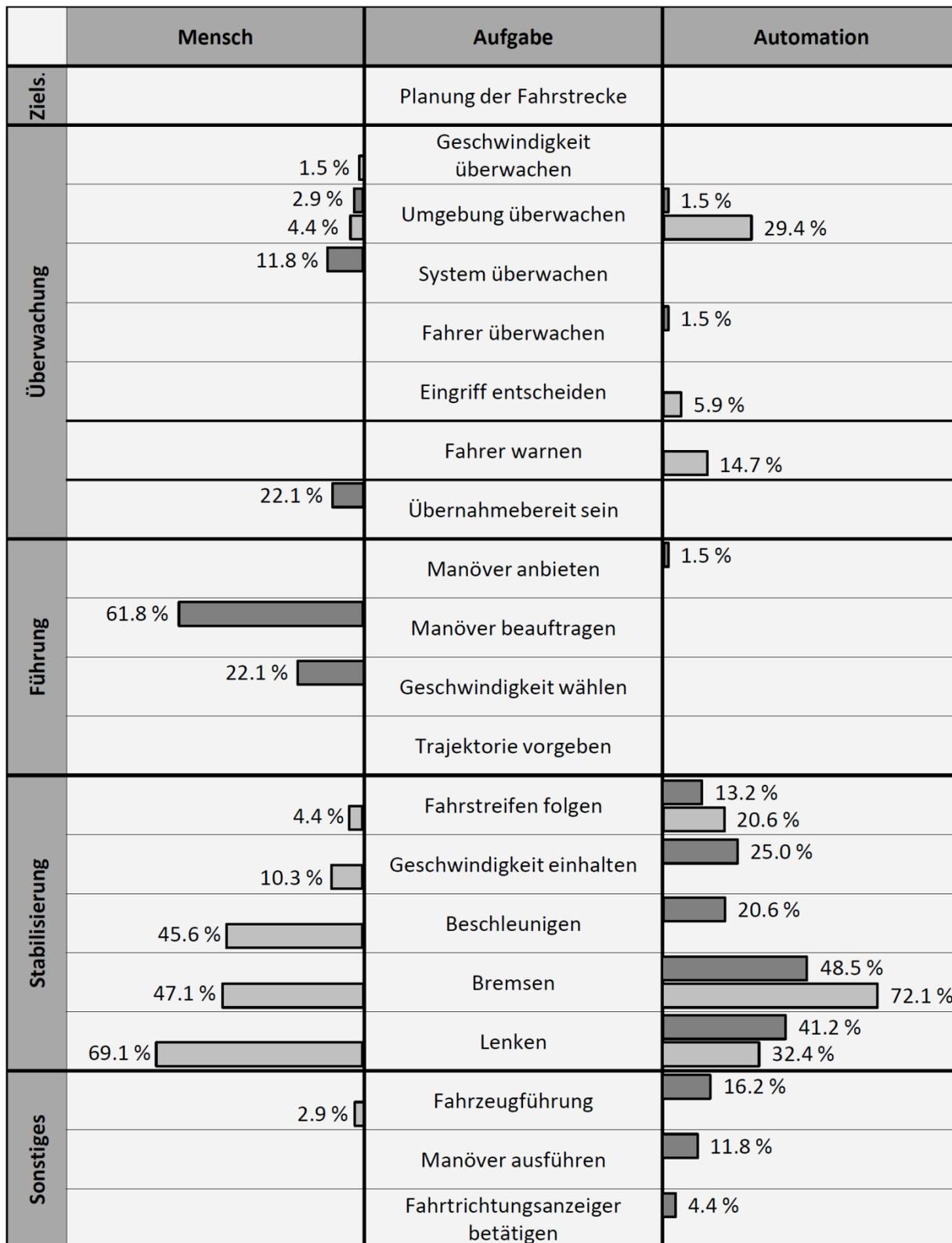
Die Häufigkeitsverteilung der Antworten ist in Abbildung 30 dargestellt. Im assistierten Modus *Safety Corridor* sehen die Fahrer ihre hauptsächlichsten Aufgaben in der Stabilisierung des Fahrzeugs. Am häufigsten wurden das Lenken (69 %), Bremsen (47 %) und Beschleunigen (46 %) des Fahrzeugs genannt. Aufgaben der Führungs- und Zielsetzungsebene wurden gar nicht angegeben. Auf der Überwachungsebene wurde die Überwachung der Umgebung lediglich von 4,4 % der Befragten erwähnt. Kein Proband sah die Überwachung des Assistenzsystems als seine Aufgabe an.

Die Aufgaben der Automation im assistierten Modus sahen die Befragten ebenfalls hauptsächlich in der Stabilisierungsebene. Am häufigsten wurde das Bremsen (72 %) genannt, gefolgt vom Lenken (32 %) und dem Folgen des Fahrstreifens (21 %). Das Beschleunigen wurde, übereinstimmend mit dem wirklichen Systemumfang, von keinem der Befragten erwähnt. Auf der Überwachungsebene sieht immerhin ein Drittel der Probanden die Überwachung der Umgebung als Aufgabe des Systems an. 15 % nennen die Warnung des Fahrers, 6 % die Entscheidung für einen Eingriff als Aufgabe des Safety Corridors.

In der Kooperativen Automation sehen die Probanden ihre Aufgaben hauptsächlich auf der Führungsebene. Das Beauftragen von Manövern wurde von 62 %, das Wählen der Wunschgeschwindigkeit von 22 % genannt. Aufgaben der Stabilisierungsebene wurden richtigerweise gar nicht erwähnt. Die Aufgaben auf der Überwachungsebene wurden deutlich seltener genannt als die auf der Stabilisierungsebene. 22 % sehen ihre Aufgabe darin, „übernahmebereit“ zu sein, 12 % in der Überwachung des Systems und lediglich 3 % in der Überwachung der Umgebung. Als Aufgabe der Kooperativen Automation sehen die Fahrer die Stabilisierung des Fahrzeugs. Bremsen wurde von 49 % der Befragten genannt, Lenken von 41 % und das Halten der Geschwindigkeit von einem Viertel der Probanden. Auffällig ist, dass die Befragten der Automation praktisch keine Aufgaben der Überwachungsebene zuschreiben. Das Überwachen der Umgebung und des Fahrers wurde jeweils nur von 1,5 % genannt.

Die Befragung zeigt, dass die Fahrer in den beiden Modi die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine in der Stabilisierungs- sowie der Führungsebene weitgehend richtig einschätzen. Auffällig ist jedoch die geringe Nennung der Überwachungsaufgaben. Gerade die Aufgaben des Fahrers der Überwachung des Systems und der Umgebung wurden auffällig selten genannt.

Die Tatsache, dass die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine nur teilweise richtig eingeschätzt wurde, steht im Kontrast zur hohen Selbsteinschätzung des Systemverständnisses durch den Fahrer.



Safety Corridor
 Kooperative Automation

Abbildung 30: Genannte Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Automation in den Modi Safety Corridor und Kooperative Automation (N= 68)

4.1.2. Situationsbewusstsein

H₀ 02: Das Situationsbewusstsein des Fahrers während der Fahrt im teilautomatisierten manöverbasierten Modus ist größer oder gleich dem Situationsbewusstsein im assistierten Modus.

Zur Bestimmung des Situationsbewusstseins wird die SART-Methode nach Taylor (1990) angewandt. Außerdem werden die während der Fahrt aufgenommenen Blickbewegungsdaten der Fahrer herangezogen, um Rückschlüsse auf die Aufnahme relevanter Informationen zu ziehen und so eine Abschätzung des Situationsbewusstseins vorzunehmen.

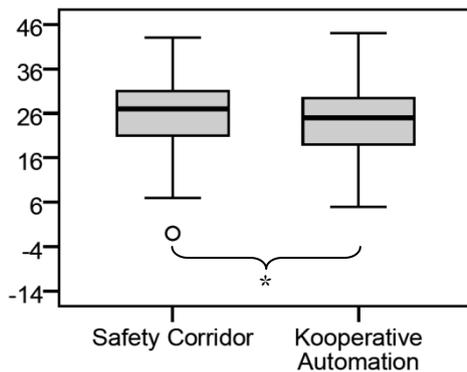


Abbildung 31: Bewertung des Situationsbewusstseins mittels der SART-Methode (Skala von -14 bis 46, $N = 67$)

In Abbildung 31 ist das mit der SART-Methode (Taylor, 1990) ermittelte Situationsbewusstsein im *Safety Corridor* (assistiert) und der *Kooperativen Automation* (teilautomatisiert manöverbasiert) dargestellt. Die Mittelwerte des SART-Wertes zwischen *Safety Corridor* ($M = 26,13$; $SD = 7,97$) und *Kooperativer Automation* ($M = 24,31$; $SD = 7,50$) unterscheiden sich signifikant ($t(66) = 1,85$; $p = 0,035$, einseitiger t-Test für abhängige Stichproben). Hypothese H₀ 02 wird also verworfen und die Alternativhypothese H₁ 02 als gültig angenommen.

H₁ 02: Das Situationsbewusstsein des Fahrers während der Fahrt im teilautomatisierten manöverbasierten Modus ist kleiner als das Situationsbewusstsein im assistierten Modus.

In Abbildung 32 bis Abbildung 34 wird die Anzahl der Blicke auf die Areas-of-Interest (AOIs) Verkehrsraum, Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) und Umgebung während der 5 s dauernden Messungen an den Stellen *Gerade*, *Fahrbahnverengung* und *Kurve* während der Fahrten im assistierten (*Safety Corridor*) und teilautomatisierten manöverbasierten (*Kooperative Automation*) Modus dargestellt. Es fällt auf, dass die Anzahl der AOI-Fixationen in den Situationen *Fahrbahnverengung* und *Kurve* etwa das Dreifache der Fixationen in der Situation *Gerade* betragen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass durch die Enge bzw. die Fahrbahnkrümmung der Fahrer stärker stabilisierend tätig werden muss. Dementsprechend ist auch ein häufigerer visueller Abgleich mit dem Umgebungszustand nötig. Bemerkenswert ist jedoch, dass sich die Gesamtzahl der Fixationen in keiner der drei Situationen zwischen den beiden Automatisierungsgraden signifikant unterscheidet (*Gerade*: $t(41) = 0,76$; $p = 0,45$; *Fahrbahnverengung*: $t(41) = -0,5$; $p = 0,60$; *Kurve*: $t(41) = -0,12$; $p = 0,91$; $N = 42$).

In allen drei Situationen ist eine signifikante Erhöhung der Fixations-Anzahl auf das AOI *Umgebung* in der Kooperativen Automation (KA) im Vergleich zum Safety Corridor (SC) festzustellen (Gerade: $M_{SC} = 0,2$; $SD_{SC} = 0,7$; $M_{KA} = 1,3$; $SD_{KA} = 2,5$; $t(41) = 2,68$; $p = 0,01$; $N = 42$; Fahrbahnverengung: $M_{SC} = 1,5$; $SD_{SC} = 1,9$; $M_{KA} = 2,9$; $SD_{KA} = 4,2$; $t(41) = 2,2$; $p = 0,03$; $N = 42$; Kurve: $M_{SC} = 0,9$; $SD_{SC} = 1,7$; $M_{KA} = 3,1$; $SD_{KA} = 3,7$; $t(41) = 3,9$; $p < 0,001$; $N = 42$; t-Test für abhängige Stichproben).

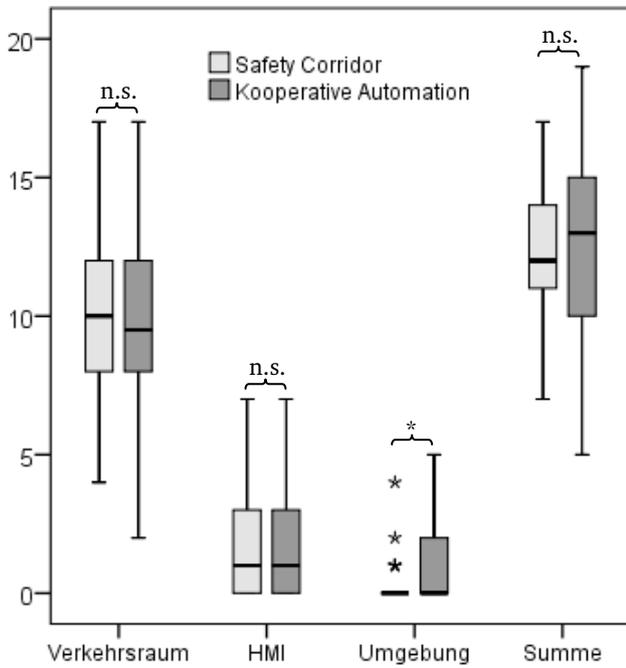


Abbildung 32: Anzahl der Fixationen der AOI in der Situation *Gerade*, $N = 42$

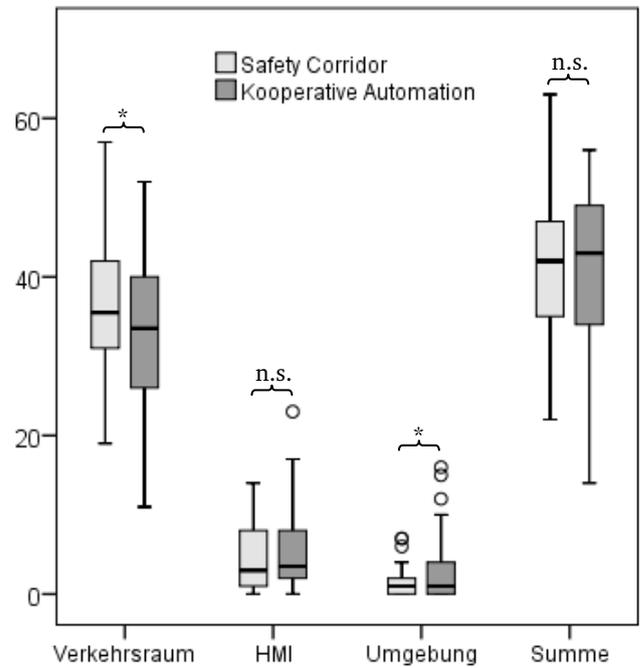


Abbildung 33: Anzahl der Fixationen der AOI in der Situation *Fahrbahnverengung*, $N = 42$

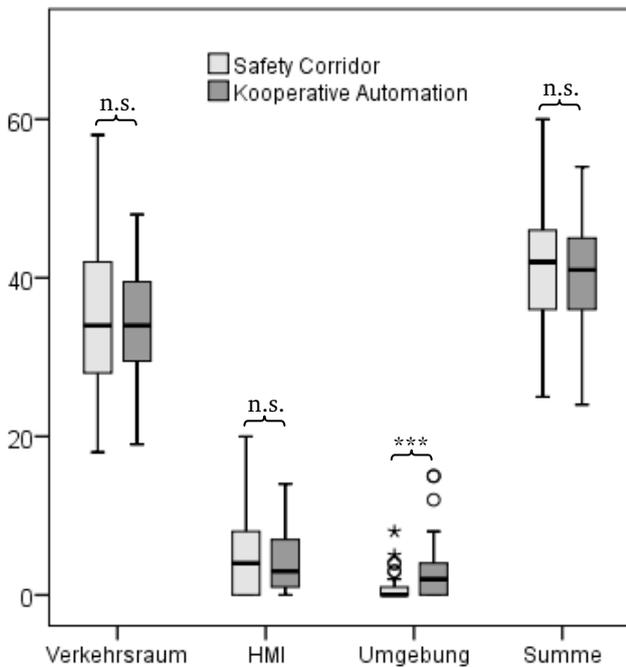


Abbildung 34: Anzahl der Fixationen der AOI in der Situation *Kurve*, $N = 42$

Im Gegensatz zur signifikanten Erhöhung der Fixationen auf das AOI *Umgebung* lässt sich lediglich in der Situation *Fahrbahnverengung* in der Kooperativen Automation eine signifikante Verringerung der Fixationen auf das AOI *Verkehrsraum* feststellen ($M_{SC} = 36,5$; $SD_{SC} = 8,8$; $M_{KA} = 33,1$; $SD_{KA} = 9,9$; $t(41) = -2,5$; $p = 0,015$; $N = 42$; t-Test für abhängige Stichproben).

In der Situation *Gerade* wird eine durchschnittliche Verringerung der Fixationen in der Kooperativen Automation im Vergleich zum Safety Corridor auf das AOI *HMI* festgestellt, die jedoch nicht signifikant ist ($M_{SC} = 1,9$; $SD_{SC} = 2,2$; $M_{KA} = 1,6$; $SD_{KA} = 2,0$; $t(41) = -0,77$; $p = 0,45$; $N=42$; t-Test für abhängige Stichproben).

In der Situation *Kurve* ist auch in der Kooperativen Automation eine Tendenz zur Verringerung der Fixationen auf die AOI *HMI* und *Verkehrsraum* zu sehen, die ebenfalls nicht signifikant ist (HMI: $M_{SC} = 5,3$; $SD_{SC} = 5,5$; $M_{KA} = 4,6$; $SD_{KA} = 5,4$; $t(41) = -0,73$; $p = 0,47$; Verkehrsraum: $M_{SC} = 34,7$; $SD_{SC} = 9,4$; $M_{KA} = 33,0$; $SD_{KA} = 7,8$; $t(41) = -1,04$; $p = 0,30$; $N = 42$; t-Test für abhängige Stichproben).

In der Kooperativen Automation werden also häufiger Blicke der Umgebung, die keine für die Fahrzeugführung relevanten Informationen enthält, zugewandt als im Safety Corridor. Die signifikante Abnahme der Blicke in für die Fahrzeugführung relevante AOIs im Safety Corridor wird nur für das AOI „Verkehrsraum“ in der Situation „Fahrbahnverengung“ festgestellt. Die Ergebnisse der Blickbewegungsanalyse stützen die Ergebnisse des SART-Ratings, das zeigt, dass das Situationsbewusstsein des Fahrers im teilautomatisierten Modus im Vergleich zum assistierten leicht abnimmt.

4.1.3. Subjektive Bewertung

H₀ 03: Die subjektive Bewertung des Systems unterscheidet sich bei der Nutzung des teilautomatisierten manöverbasierten Modus nicht signifikant von der subjektiven Bewertung im assistierten Modus.

Abbildung 35 zeigt das Ergebnis der subjektiven Bewertung von *Safety Corridor* und *Kooperativer Automation*, durch die Probanden jeweils nach Fahrtende. Auf einer 7-stufigen Skala (7: trifft zu bis 1: trifft nicht zu) gab der Proband die Zustimmung auf folgende Aussagen an:

- (1) Ich hatte während der Fahrt Vertrauen in das System.
- (2) Ich habe mich während der Fahrt sicher gefühlt.
- (3) Ich hatte das Gefühl, stets die Kontrolle über das Fahrzeug zu haben.

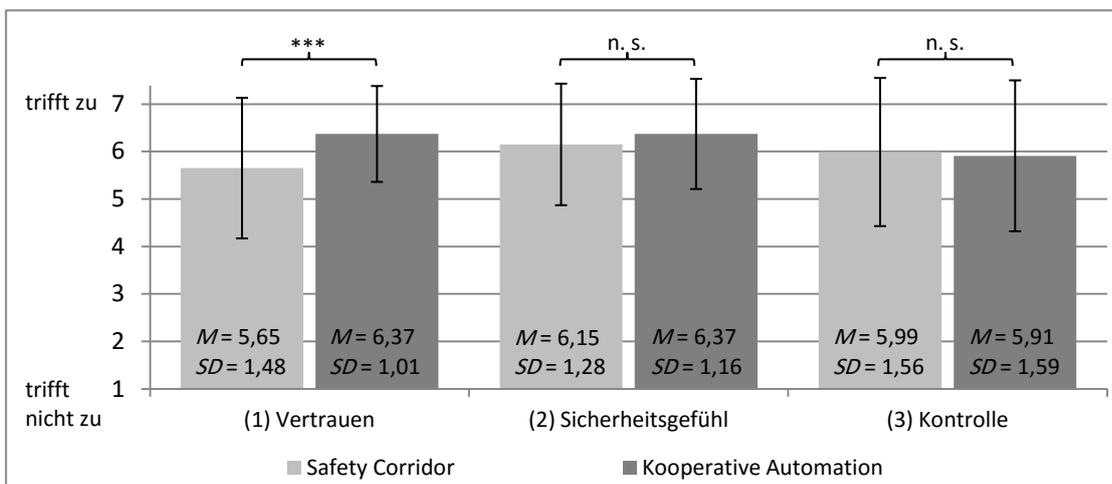


Abbildung 35: Subjektive Bewertungen der Fahrten in *Safety Corridor* und *Kooperative Automation* (N = 68)

Wie in Abbildung 35 zu sehen ist, ist die Zustimmung bei allen Aussagen auf einem hohen Niveau. Auffällig ist jedoch, dass das Vertrauen in die *Kooperative Automation* (teilautomatisiert manöverbasiert) signifikant höher ist als das Vertrauen in den *Safety Corridor* (assistiert) ($t(67) = -3,73$; $p < 0,001$; $N = 68$; t-Test für abhängige Stichproben). Bei den Items *Sicherheitsgefühl* und *Kontrolle* ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Automatisierungsgraden festzustellen (*Sicherheitsgefühl*: $t(67) = -1,22$; $p = 0,23$; *Kontrolle*: $t(67) = 0,33$; $p = 0,74$; $N = 68$; t-Test für abhängige Stichproben).

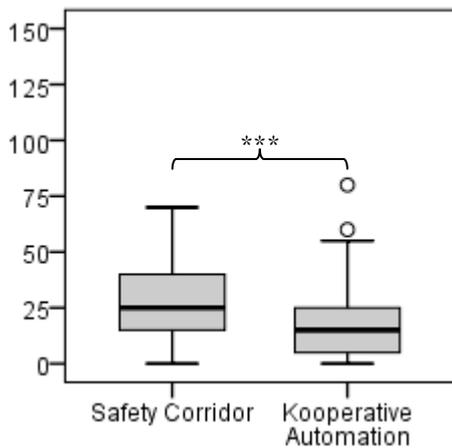


Abbildung 36: Mit der RSME-Methode (Zijlstra, 1993) ermittelte Beanspruchung des Fahrers in den Modi *Safety Corridor* und *Kooperative Automation* (Skala von 0 bis 150, $N = 66$)

In Abbildung 36 ist die Höhe der vom Probanden empfundenen subjektiven Beanspruchung bei den Fahrten mit *Safety Corridor* und *Kooperativer Automation* dargestellt. Die Beanspruchung ist in beiden Modi auf einem niedrigen Niveau. Sie bewegt sich jeweils im Bereich zwischen „fast nicht anstrengend“ und „ein bisschen anstrengend“. Trotzdem wird der Fahrer im teilautomatisierten manöverbasierten Modus (*Kooperative Automation*) signifikant geringer beansprucht als im assistierten Modus (*Safety Corridor*) ($M_{KA} = 17,2$; $SD_{KA} = 16,5$; $M_{SC} = 26,6$; $SD_{SC} = 16,3$; $t(65) = 4,35$; $p < 0,001$; $N = 66$; t-Test für abhängige Stichproben).

Also muss die Hypothese $H_0 03$ verworfen werden und dafür die Alternativhypothese als gültig angenommen werden.

$H_1 03$: Die subjektive Bewertung des Systems unterscheidet sich bei der Nutzung des teilautomatisierten manöverbasierten Modus signifikant von der subjektiven Bewertung im assistierten Modus.

4.2. Umgang mit Systemstörungen

In diesem Abschnitt werden die Untersuchungsergebnisse zum Umgang des Fahrers mit Systemstörungen bei teilautomatisierter Fahrzeugführung (Kooperative Automation) dargestellt.

Zuerst wird das Systemverständnis der Probanden in Systemstörungs-Situationen betrachtet. Es wird untersucht, ob die Fahrer die Systemstörung erkennen, die veränderte Aufgabenteilung verstehen und die Fahraufgaben von der Automation übernehmen. Danach wird die Fahrerreaktion bei Systemstörungen betrachtet. Es werden die Fahrerhandlungen bei Systemstörungen dargestellt und Reaktionszeiten zur Beurteilung der Rückübernahme der Fahrzeugführung ermittelt. Zuletzt werden das Situationsbewusstsein des Fahrers in den verschiedenen Situationen beurteilt und die subjektive Bewertung der Systemstörungen dargestellt.

4.2.1. Systemverständnis

H₀ 04: Die Systemstörungen werden von allen Fahrern erkannt.

H₀ 05: Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wird.

Um zu untersuchen, ob die Fahrer das Eintreten der Systemstörungen verstehen, wurde ihnen nach Erleben der Systemstörungs-Situation die offene Frage gestellt: „Ist Ihnen im letzten Fahrabschnitt etwas aufgefallen?“ Wenn ja: „Was ist Ihnen aufgefallen?“ Die Antworten werden interpretiert, um herauszufinden, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wurde. Die Anzahl der von den Probanden erkannten Systemstörungen ist in Abbildung 37 dargestellt.

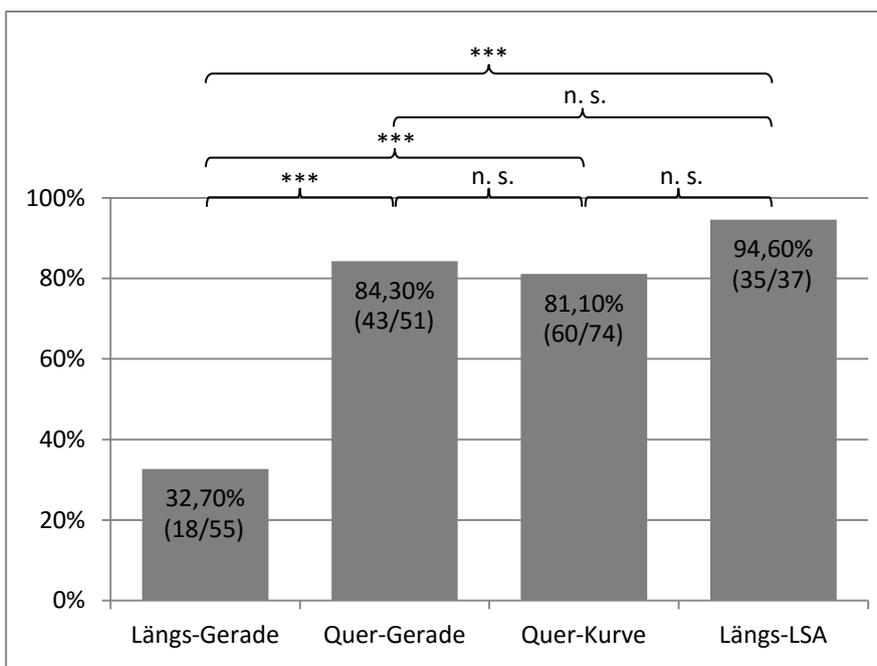


Abbildung 37: Anzahl der vom Fahrer erkannten Systemstörungen in den Systemstörungs-Situationen; in Klammern: Anzahl erkannte Systemstörungen / N

Zwischen den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* bestehen keine signifikanten Unterschiede (QG – QK: $\chi^2(1, N = 125) = 0,22$; $p = 0,64$; LL – QG: $\chi^2(1, N = 88) = 2,25$; $p = 0,13$; LL – QK: $\chi^2(1, N = 111) = 3,65$; $p = 0,056$). In den Situationen *Quer-Gerade* und *Quer-Kurve* liegt die Erkennungsrate bei über 80 %, in der Situation *Längs-LSA* bei fast 95 %. Da die Systemstörungen nicht von allen Fahrern erkannt wurden, wird Hypothese $H_0 04$ verworfen und Alternativhypothese $H_1 04$ angenommen:

$H_1 04$: Die Systemstörungen werden nicht von allen Fahrern erkannt.

Die Systemstörungen in der Situation *Längs-Gerade* wurden höchst signifikant seltener erkannt als die Systemstörungen in den übrigen Situationen (QG: $\chi^2(1, N = 106) = 28,83$; $p < 0,001$; LL: $\chi^2(1, N = 92) = 34,67$; $p < 0,001$; QK: $\chi^2(1, N = 129) = 30,86$; $p < 0,001$). Nur ein Drittel der Fahrer erkannten die Systemstörung in dieser Situation. Hypothese $H_0 05$ wird also ebenfalls verworfen und Alternativhypothese $H_1 05$ angenommen:

$H_1 05$: Die Situation hat signifikanten Einfluss darauf, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wird.

$H_0 06$: Die Position im Versuchsablauf hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wird.

Da ein Versuchsdesign mit Messwiederholung gewählt wurde, hat der Proband in Systemstörungssituationen, die an Stelle 2 oder 3 im Versuchsablauf vorkommen, bereits ein oder zwei andere Systemstörungen erlebt. Deshalb wird überprüft, ob ein vorheriges Erleben einer Systemstörung die Erkennung einer Systemstörung beeinflusst.

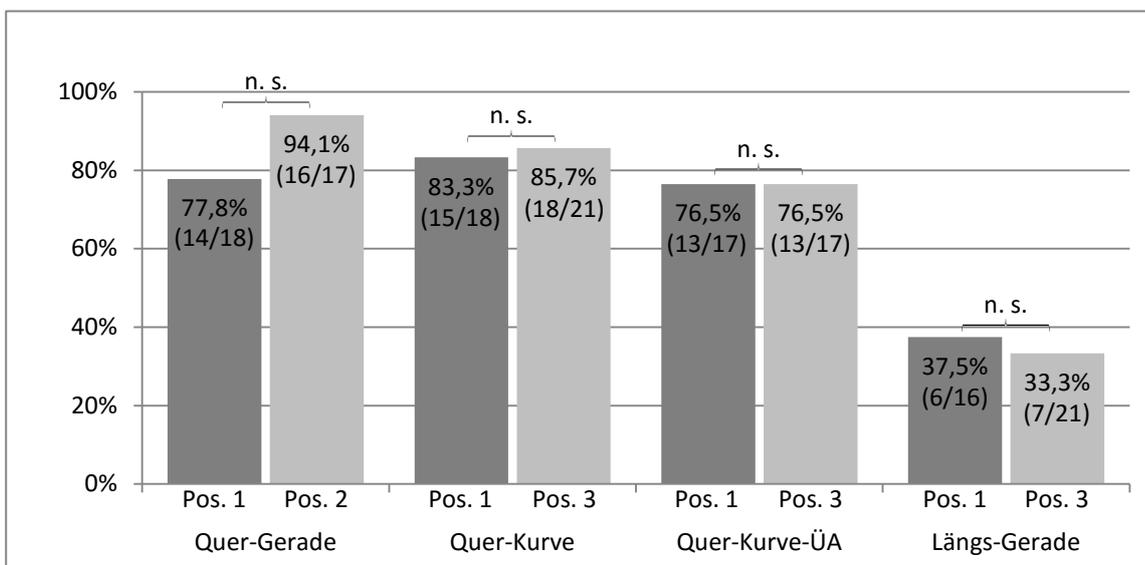


Abbildung 38: Vom Fahrer erkannte Systemstörungen in den Systemstörungssituationen in Abhängigkeit von der Position im Versuchsablauf; in Klammern: Anzahl erkannte Systemstörungen / N

In Abbildung 38 ist die Anzahl der erkannten Systemstörungen in den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve*, *Quer-Kurve mit Übernahmeaufforderung* (ÜA) und *Längs-Gerade* für beide Positionen im Versuchsablauf dargestellt. Bei keiner der untersuchten Situationen kann ein signifikanter Reihenfolgeeffekt nachgewiesen werden ($p_{QG} = 0,34$; $p_{QK} = 0,59$; $p_{QKÜ} = 1,0$; $p_{LG} = 1,0$; exakter χ^2 -Test nach Fisher). $H_0 06$ wird folglich nicht verworfen. Die Situationen *Quer-Gerade-ÜA*, *Längs-LSA*, *Längs-LSA-HMI* sowie *Längs-Gerade-HMI* wurden nicht in Bezug auf Reihenfolgeeffekte untersucht, da sie aufgrund des Versuchsdesigns nur an einer Stelle im Ablauf vorkamen.

H₀ 07: Die Übernahmeaufforderung im Kombi-Display hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Systemstörung vom Fahrer erkannt wird.

Diese Hypothese wird geprüft, um herauszufinden, ob die Systemstörung vom Fahrer besser erkannt wird, wenn beim Auftreten der Systemstörung eine Übernahmeaufforderung ausgelöst wird. In Abbildung 39 ist die Erkennung der Systemstörung in Abhängigkeit von der Übernahmeaufforderung dargestellt. Durch den exakten χ^2 -Test nach Fisher kann in keiner Situation eine signifikante Veränderung der Erkennungshäufigkeit durch die Übernahmeaufforderung festgestellt werden ($p_{QG} = 0,34$; $p_{LL} = 0,46$; $p_{QK} = 0,69$; $p_{LG} = 0,74$). Hypothese $H_0 07$ kann also nicht verworfen werden.

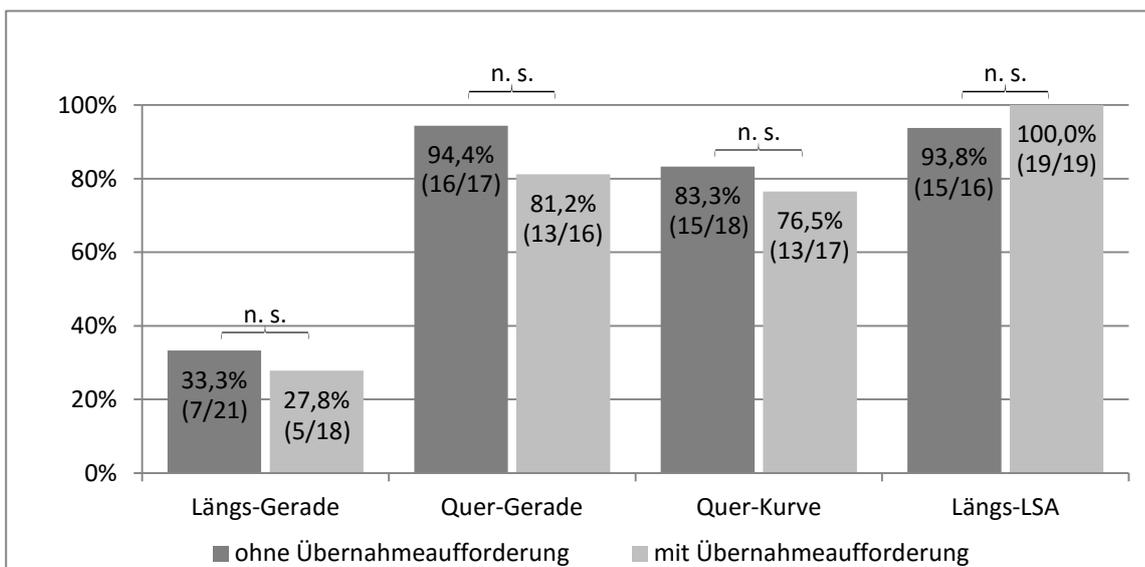


Abbildung 39: Vom Fahrer erkannte Systemstörungen in den Systemstörungs-Situationen in Abhängigkeit von der Übernahmeaufforderung im HMI; in Klammern: Anzahl erkannte Systemstörungen / N

H₀ 08: Alle Fahrer erkennen die Übernahme-Aufforderung im Kombi-Display.

H₀ 09: Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob die Übernahme-Aufforderung im Kombi-Display vom Fahrer erkannt wird.

Um zu untersuchen, ob der Fahrer die Übernahmeaufforderung wahrgenommen und verstanden hat, werden ihm in Situationen mit Übernahmeaufforderung im HMI zuerst die Fragen „Ist Ihnen im Fahrerdisplay etwas aufgefallen?“ und, falls bejaht, „Welche Bedeutung hatte dies?“ gestellt.

In Abbildung 40 ist die Anzahl der Antworten auf diese Frage dargestellt, die eine Erkennung der Übernahmeaufforderung zeigten.

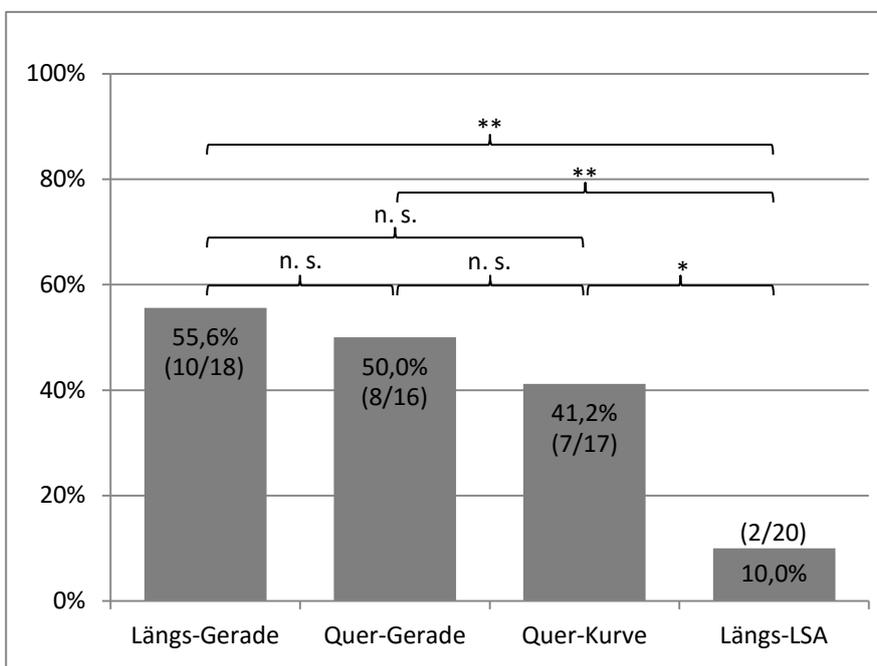


Abbildung 40: Vom Fahrer erkannte Übernahmeaufforderungen in den Systemstörungs-Situationen; in Klammern: Anzahl erkannte Übernahmeaufforderungen / N

Es kann kein signifikanter Unterschied zwischen den Situationen *Längs-Gerade*, *Quer-Gerade* und *Quer-Kurve* nachgewiesen werden (LG – QG: $\chi^2(1, N = 34) = 0,11$; $p = 0,746$; LG – QK: $\chi^2(1, N = 35) = 0,72$; $p = 0,395$; QG – QK: $\chi^2(1, N = 33) = 0,26$; $p = 0,611$).

Die Situation *Längs-LSA* unterscheidet sich signifikant von den anderen Situationen (LG – LL: $\chi^2(1, N = 38) = 9,10$; $p = 0,003$; QG – LL: Fisher, $p = 0,01$; QK – LL: Fisher, $p = 0,05$).

Die Hypothese H₀ 09 wird also verworfen und die Alternativhypothese angenommen:

H₁ 09: Die Situation hat signifikanten Einfluss darauf, ob die Übernahme-Aufforderung im Kombi-Display vom Fahrer erkannt wird.

Es ist bemerkenswert, wie gering die Anzahl der von den Fahrern erkannten Übernahmeaufforderungen ist. In den Situationen *Längs-Gerade*, *Quer-Gerade* und *Quer-Kurve* wird sie bestenfalls

von der Hälfte der Probanden erkannt, in der Situation Längs-LSA nur von jedem zehnten. Hypothese H_0 08 wird also ebenfalls verworfen und die Alternativhypothese angenommen:

H_1 08: Nicht alle Fahrer erkennen die Übernahme-Aufforderung im Kombi-Display.

H_0 10: Alle Fahrer schauen während der Übernahme-Aufforderung auf das Kombi-Display.

Um herauszufinden, ob die Übernahmeaufforderung vom Fahrer wahrgenommen wurde, werden Blickbewegungsdaten herangezogen. In Abbildung 41 ist der Anteil der Fahrer dargestellt, die während der Übernahme-Aufforderung ins Kombi-Display blicken.

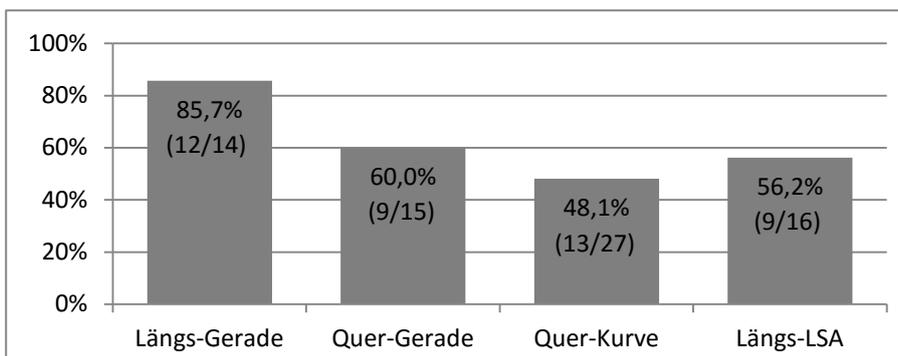


Abbildung 41: Anteil der Fahrer, die während der Übernahmeaufforderung ins Kombi-Display blicken; in Klammern: Anzahl der Fahrer, die ins Kombi-Display blicken / N

Es fällt auf, dass die optische Übernahmeaufforderung in den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* von nur etwa der Hälfte der Fahrer wahrgenommen wird. In der Situation *Längs-Gerade* liegt der Anteil der wahrgenommenen Übernahmeaufforderungen bei 85 %. Hypothese H_0 10 wird verworfen und Alternativhypothese H_1 10 angenommen:

H_1 10: Nicht alle Fahrer schauen während der Übernahme-Aufforderung auf das Kombi-Display.

Der geringe Anteil der wahrgenommenen Übernahme-Aufforderungen erklärt teilweise den geringen Anteil der vom Fahrer erkannten Übernahme-Aufforderungen. Die hohe Differenz zwischen wahrgenommenen und erkannten Übernahme-Aufforderungen in der Situation *Längs-LSA* lässt sich dadurch aber nicht erklären. Vermutlich führen andere Faktoren in dieser Situation zu der geringen Erkennung der Übernahmeaufforderung.

H_0 11: Alle Fahrer verstehen die bei einer Systemstörung geänderte Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine.

Um zu überprüfen, ob die Fahrer die Änderung der Aufgabenverteilung durch die Systemstörungen verstanden haben, werden sie im Anschluss an die Systemstörungs-Situationen gefragt:

„Haben Sie eine Aufgabe übernommen, die vorher das System ausgeführt hat?“ Wenn ja: „Welche?“

Falls ja: „Warum haben Sie dies getan?“

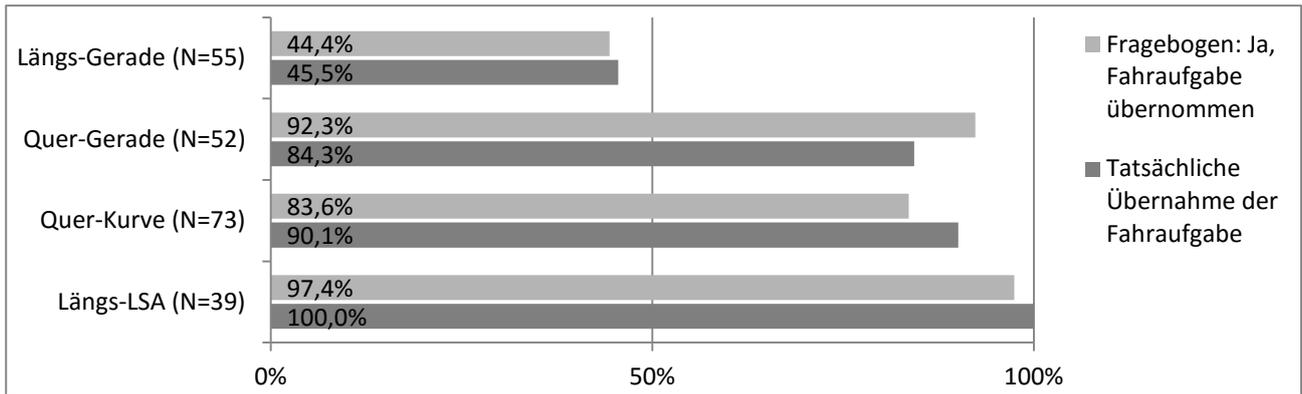


Abbildung 42: Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer bei Systemstörung

In Abbildung 42 sind die Antworten der Fahrerbefragung der durch Videodaten ermittelten tatsächlichen Übernahme der Fahraufgabe gegenübergestellt. Sie stimmen mit den Fahrerantworten weitgehend überein. In den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* sowie *Längs-LSA* wird vom größten Teil der Fahrer der Übernahmbedarf der Fahraufgabe erkannt und ausgeführt. Lediglich in der Situation *Längs-Gerade* liegt der Anteil der übernommenen Fahraufgaben bei weniger als der Hälfte. Da die Fahraufgaben nicht von allen Fahrern bei geänderter Aufgabenteilung übernommen werden, ist H_0 11 zu verwerfen und H_1 11 anzunehmen:

H_1 11: Nicht alle Fahrer verstehen die bei einer Systemstörung geänderte Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine.

4.2.2. Fahrerreaktionen

In diesem Abschnitt werden die Fahrerreaktionen auf die Systemstörungen dargestellt, die durch Auswertung von Video- und Fahrzeugdaten ermittelt wurden. Es wird die Übernahme der Fahrzeugführung betrachtet, und es werden die Reaktionszeiten vom Auftreten der Systemstörung bis zur ersten Brems- oder Lenkbetätigung bestimmt.

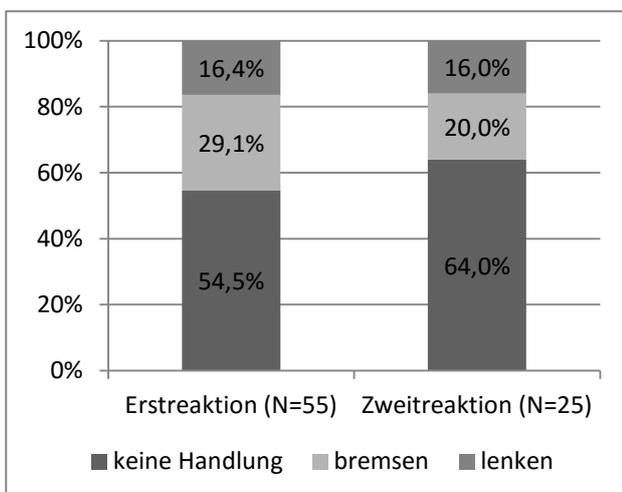


Abbildung 43: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation *Längs-Gerade*

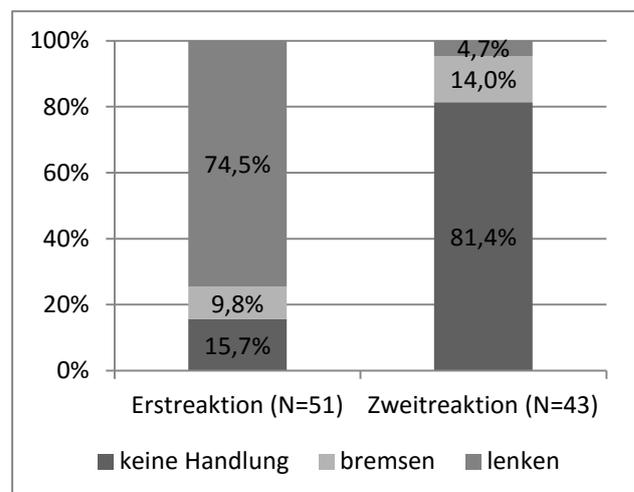


Abbildung 44: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation *Quer-Gerade*

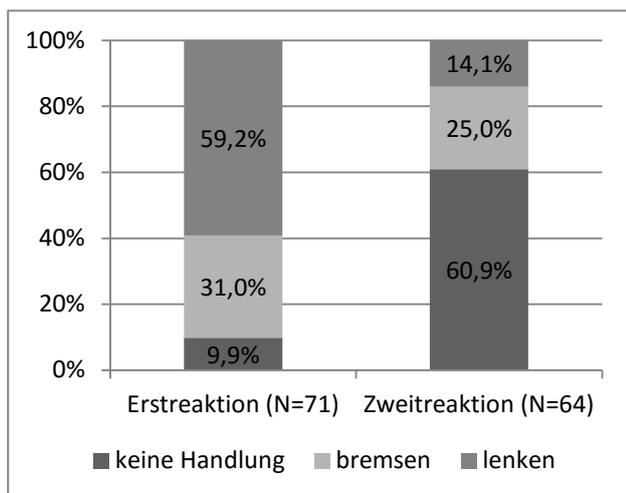


Abbildung 45: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation *Quer-Kurve*

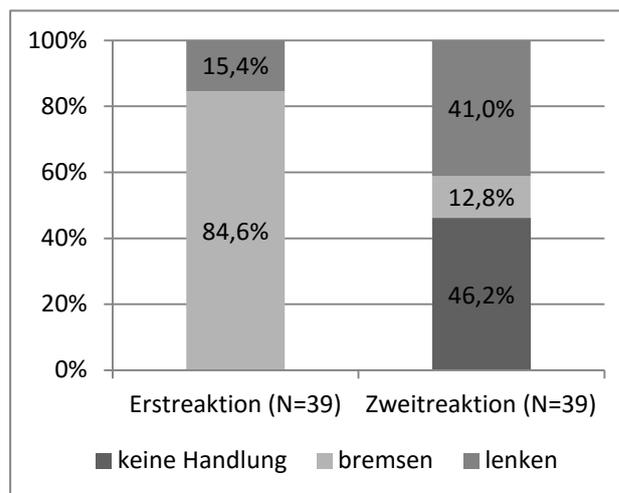


Abbildung 46: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation *Längs-LSA*

In Abbildung 43 bis Abbildung 46 sind die Fahrerreaktionen auf die Systemstörungen dargestellt. In der Situation *Längs-Gerade* (Abbildung 43), in der die Geschwindigkeitsanpassung des Fahrzeugs am Verkehrszeichen versagt, reagieren 54,5 % nicht auf die Systemstörung. Reagiert der Fahrer, wird als erste Reaktion doppelt so häufig gebremst (29,1 %) wie gelenkt (16,4 %). In 64 % der Fälle, in denen der Fahrer reagiert, bleibt es bei der ersten Reaktion. In 16 % der Fälle übernimmt der Fahrer zusätzlich zum Bremsen die Querführung des Fahrzeugs, in 20 % der Fälle bremst der Fahrer zusätzlich zum Lenkeingriff.

In der Situation *Quer-Gerade* (Abbildung 44), in der die automatische Querführung des Fahrzeugs versagt, wodurch es von der Fahrbahn abzukommen droht, übernehmen 74,5 % der Fahrer als Erstreaktion die Querführung durch einen Lenkeingriff, 9,8 % bremsen zuerst. 14 % der Fahrer, die reagiert haben, bremsen das Fahrzeug zusätzlich. Lediglich 4,7 % davon übernehmen die Querführung als zweite Reaktion.

Abbildung 45 zeigt die Fahrerreaktionen in der Situation *Quer-Kurve*, in der die automatische Querführung des Fahrzeugs in einer Kurve versagt. 59,2 % übernehmen als erste Reaktion die Lenkung, ein Viertel der Fahrer, die reagiert haben, betätigen zusätzlich die Bremse. 31 % der Fahrer bremsen als erste Reaktion. 14,1 % der Fahrer, die reagieren, übernehmen als Zweitreaktion die Lenkung. Ca. 10 % der Fahrer übernehmen in der Situation *Quer-Kurve* die Fahrzeugführung nicht.

In der Situation *Längs-LSA* versagt vor einer Lichtsignalanlage das automatische Bremsen bei Rot. Alle Fahrer reagieren. 84,6 % als erstes durch eine Bremsung, 15,4 % als erstes durch einen Lenkeingriff. Der Anteil der Fahrer, der als zweites einen Lenkeingriff vornimmt, liegt bei 41 %, der Anteil, der als zweites bremst, bei 12,8 %.

H₀ 12: Die Übernahmeaufforderung beeinflusst die Handlung des Fahrers in Systemstörungssituationen nicht signifikant.

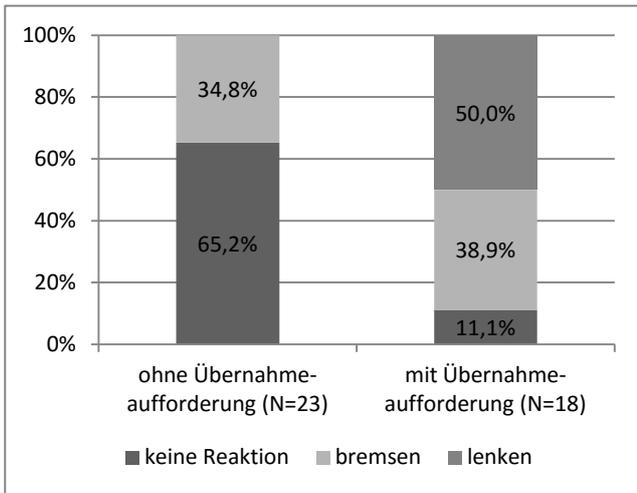


Abbildung 47: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation *Längs-Gerade*

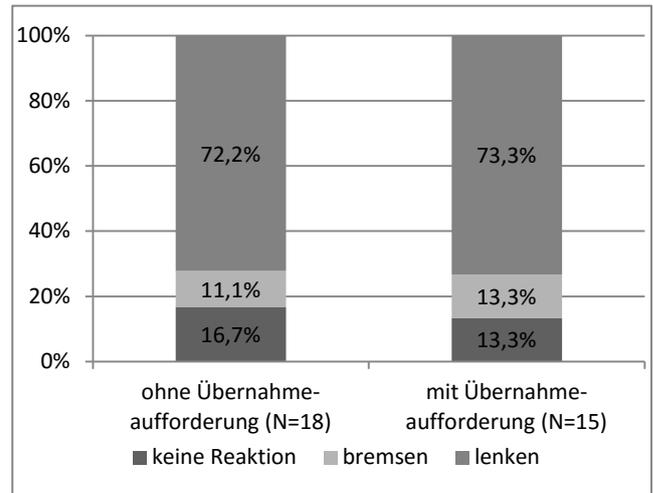


Abbildung 48: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation *Quer-Gerade*

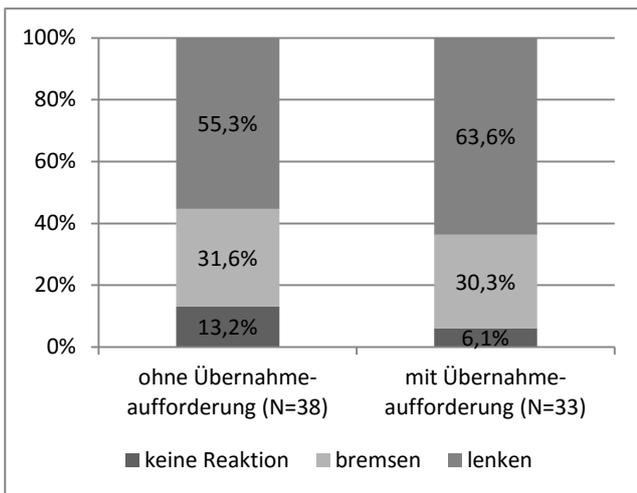


Abbildung 49: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation *Quer-Kurve*

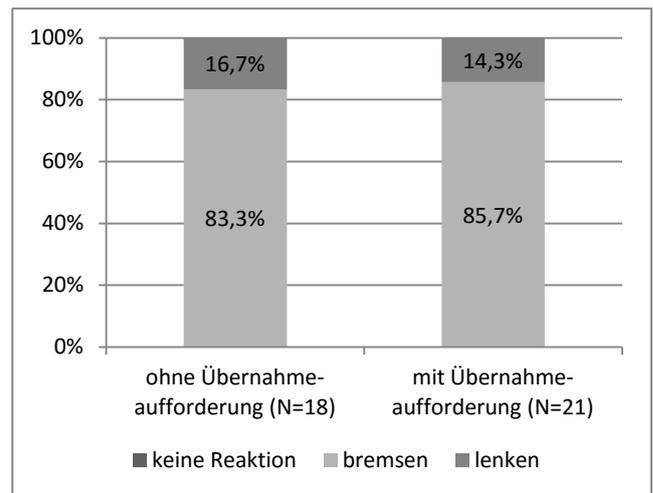


Abbildung 50: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation *Längs-LSA*

Abbildung 47 bis Abbildung 50 zeigen den Einfluss der Übernahmeaufforderung auf die Erstreaktion der Fahrer. In der Situation *Längs-Gerade* unterscheidet sich die Erstreaktion der Probanden mit Übernahmeaufforderung höchst signifikant von der Reaktion ohne Übernahmeaufforderung ($\chi^2(2, N = 55) = 28,6; p < 0,001$). Es sinkt der Anteil der Fahrer, der nicht reagiert, von 65,2 % ohne Übernahmeaufforderung auf 11,1 % mit Übernahmeaufforderung. Es ist auffällig, dass der Anteil der Fahrer, der durch Lenken reagiert, sich von 0 % ohne Übernahmeaufforderung auf 50 % mit Übernahmeaufforderung erhöht. In der Situation *Quer-Kurve* verringert sich der Anteil der Fälle ohne Reaktion von 13,2 % ohne Übernahmeaufforderung auf 6,1 % mit Übernahmeaufforderung. Der Anteil der Fahrer, die durch Lenken reagieren, erhöht sich von 55,3 % auf 63,6 %. Die Reaktionen mit und ohne Übernahmeaufforderung unterscheiden sich jedoch nicht signifikant ($\chi^2(2, N = 71) = 1,1$;

$p = 0,571$). In den Situationen *Quer-Gerade* ($\chi^2(2, N = 51) = 0,3; p = 0,84$) und *Längs-LSA* ($\chi^2(1, N = 39) = 0,1; p = 1,00$) ist keine signifikante Veränderung durch die Übernahmeaufforderung zu beobachten.

Hypothese H_0 12 wird verworfen, es wird angenommen, dass die Übernahmeaufforderung das Verhalten des Fahrers in Systemstörungs-Situationen beeinflussen kann.

H_1 12: Die Übernahmeaufforderung beeinflusst die Handlung des Fahrers in Systemstörungs-Situationen *Längs-Gerade* signifikant.

Um Erkenntnisse über die Gründe zu gewinnen, warum Fahrer die Fahrzeugführung im Falle einer Systemstörung nicht übernahmen, wurde ihnen im Falle einer ausbleibenden Reaktion die Frage gestellt: „Warum haben sie nicht reagiert?“. Die Anzahl der verschiedenen Antworten auf die Frage sind in Abbildung 51 bis Abbildung 53 dargestellt. In allen Situationen, in denen der Proband nicht reagierte, war der meistgenannte Grund das Vertrauen in das System. Eine geringe Anzahl reagierte nicht, da sie keinen Grund zum Eingriff sahen oder da sie sich in einer Versuchssituation befanden. Auffällig ist zudem, dass in der Situation *Längs-Gerade* 10 von 26 Probanden angaben, nichts bemerkt zu haben.

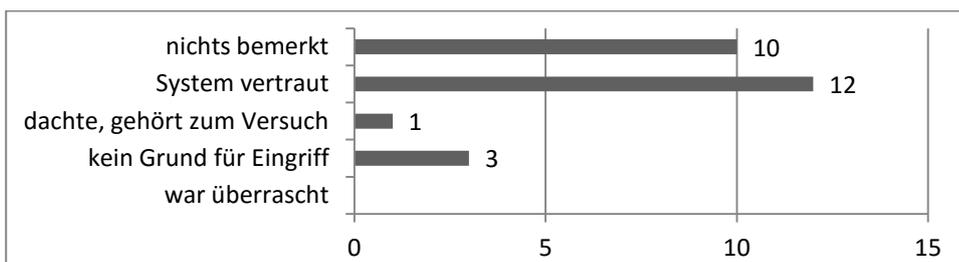


Abbildung 51: Anzahl der Antworten auf die Frage, warum nicht reagiert bei Systemstörung *Längs-Gerade*

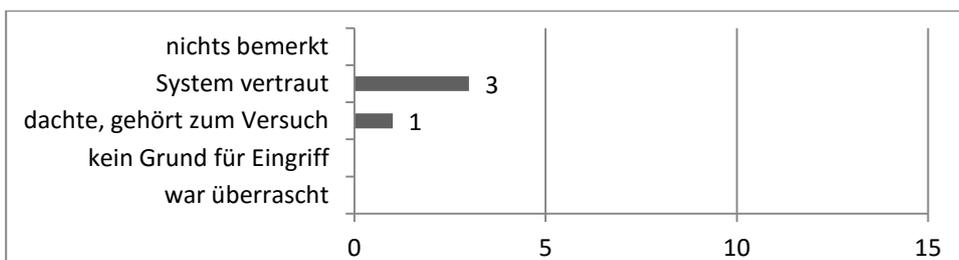


Abbildung 52: Anzahl der Antworten auf die Frage, warum nicht reagiert bei Systemstörung *Quer-Gerade*

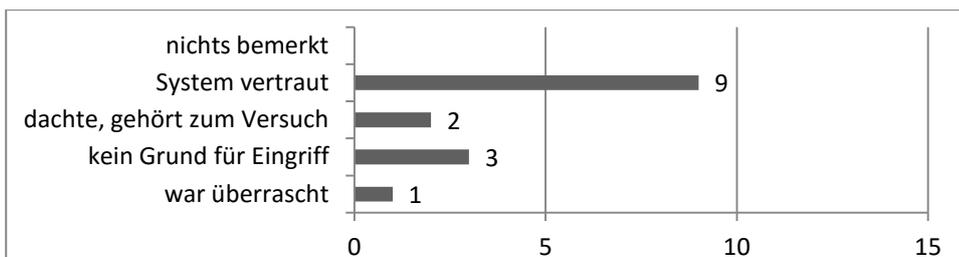


Abbildung 53: Anzahl der Antworten auf die Frage, warum nicht reagiert bei Systemstörung *Quer-Kurve*

H₀ 13: Die Reaktionszeit des Fahrers auf die Systemstörung unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Abbildung 54 zeigt die Reaktionszeiten vom Eintreten der Systemstörung bis zur ersten Reaktion des Fahrers (Umfassung Lenkrad oder Fuß auf Bremspedal). Die verschiedenen Situationen unterscheiden sich höchst signifikant (einfaktorielle ANOVA: $F(3, 167) = 12,07; p < 0,001$). H₀ 13 wird folglich verworfen und stattdessen die Alternativhypothese als wahr angenommen.

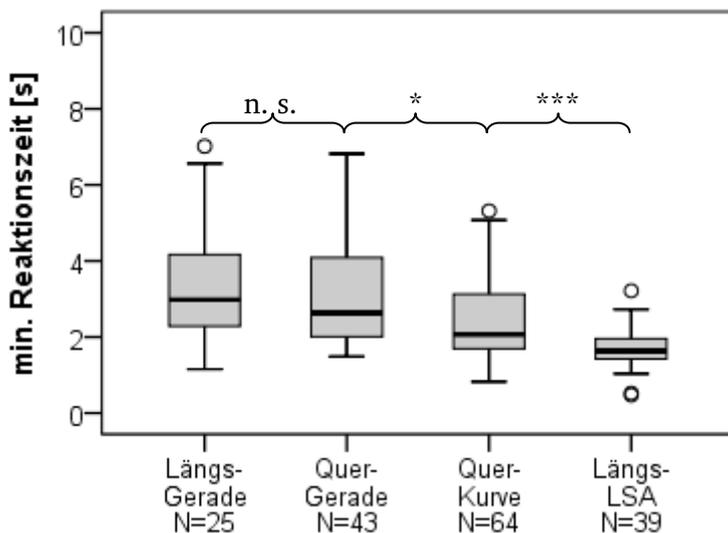


Abbildung 54: Zeit bis zur ersten Reaktion (Übernahme Längs- oder Querführung)

H₁ 13: Die Reaktionszeit des Fahrers auf die Systemstörung unterscheidet sich signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

In den Situationen *Längs-Gerade* und *Quer-Gerade* werden die längsten Reaktionszeiten gemessen (LG: $M = 3,30$ s; $SD = 1,54$ s; QG: $M = 3,23$ s; $SD = 1,47$ s). Zwischen ihren Mittelwerten besteht kein signifikanter Unterschied ($t(66) = 0,18; p = 0,856$, t-Test für unabhängige Stichproben). Eine signifikant geringere Reaktionszeit als die Situationen *Längs-Gerade* und *Quer-Gerade* weist die Situation *Quer-Kurve* auf ($M = 2,57$ s; $SD = 1,40$ s; LG – QK: $t(87) = 2,14; p = 0,035$; $t(105) = 2,346; p = 0,021$; t-Test für unabhängige Stichproben).

Die geringste Reaktionszeit wird in der Situation *Längs-LSA* beobachtet ($M = 1,70$ s; $SD = 0,54$ s), sie unterscheidet sich höchst signifikant von den anderen Situationen (LG – LLSA: $t(27,86) = 5,01; p < 0,001$; QG – LLSA: $t(54,34) = 6,41; p < 0,001$; QK – LLSA: $t(88,99) = 4,49; p < 0,001$; t-Test für unabhängige Stichproben).

H₀ 14: Die Übernahmeaufforderung hat keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit des Fahrers.

Abbildung 55 zeigt die Auswirkung der Übernahmeaufforderung auf die Reaktionszeit. In der Situation *Längs-Gerade* ist die durchschnittliche Reaktionszeit mit Übernahmeaufforderung ($M = 2,97$; $SD = 1,26$) ca. 1 s kürzer als ohne ($M = 3,94$; $SD = 2,01$). Der Unterschied ist allerdings nicht signifikant ($t(22) = 1,453; p = 0,160$; t-Test für unabhängige Stichproben). In den übrigen Situationen kann auch kein signifikanter Unterschied zwischen der durchschnittlichen Reaktionszeit

mit und der durchschnittlichen Reaktionszeit ohne Übernahmeaufforderung nachgewiesen werden (Quer-Gerade: $t(26) = 0,247$; $p = 0,807$; Quer-Kurve: $t(62) = 1,813$; $p = 0,075$; Längs-LSA: $t(37) = 1,753$; $p = 0,088$; t-Test für unabhängige Stichproben). Hypothese H_0 14 wird folglich nicht verworfen.

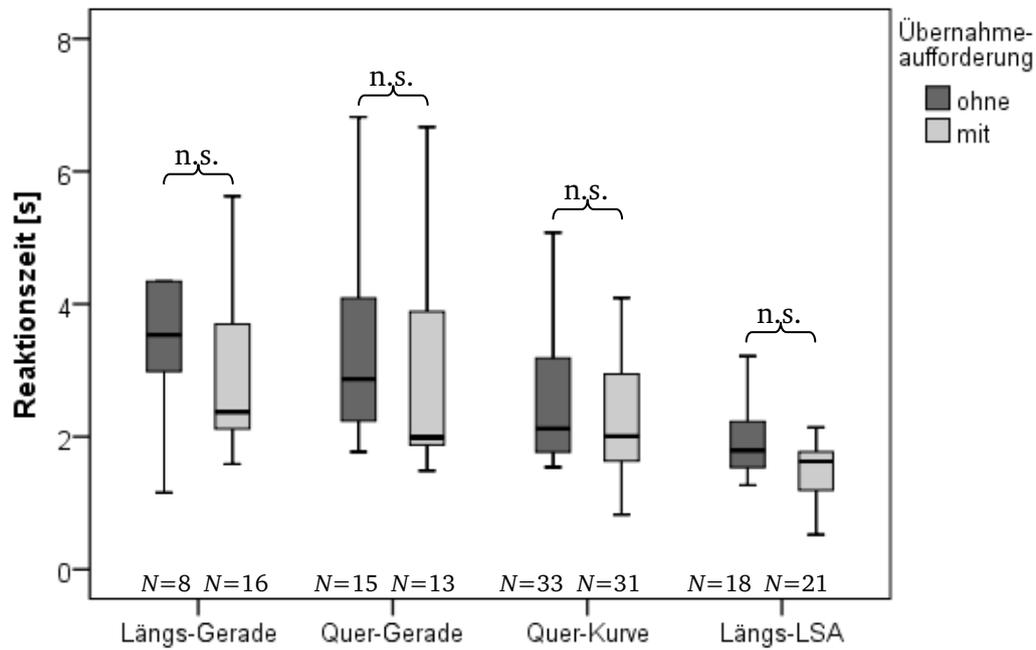


Abbildung 55: Auswirkung der Übernahmeaufforderung auf die Reaktionszeit

4.2.3. Situationsbewusstsein

H₀ 15: Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob relevante Informationen aus der Umgebung erkannt werden.

Um ausreichendes Situationsbewusstsein zu bilden, ist es nötig, dass der Fahrer für die Fahrzeugführung relevante Informationen aus der Umgebung aufnimmt. Um zu untersuchen, ob dies der Fall war, werden dem Fahrer nach der erlebten Systemstörung, abhängig von der Situation, folgende Fragen gestellt:

Quer-Kurve und Quer-Gerade: „Haben Sie gemerkt, dass das Auto von der Fahrbahn abkommt?“

Längs-Gerade: „Haben Sie das „Tempo 30“-Schild gesehen?“

Längs-LSA: „Haben Sie die rote Ampel gesehen?“

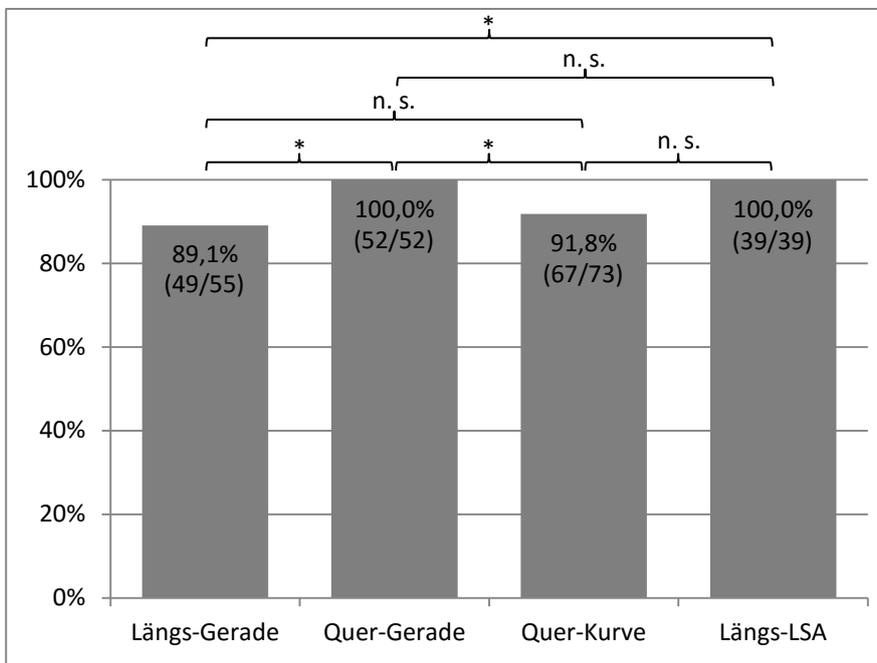


Abbildung 56: Anteil der Fahrer, die relevante Umgebungsinformationen in den Systemstörungs-Situationen wahrnehmen; in Klammern: Anzahl der Fahrer, die relevante Information wahrgenommen haben / N

Der Anteil der Antworten, bei denen der Proband mit „Ja“ antwortet, ist in Abbildung 56 dargestellt. Kein signifikanter Unterschied ist zwischen den Situationen *Längs-Gerade* und *Quer-Kurve* ($\chi^2(1, N = 128) = 0,3; p = 0,605$) sowie zwischen *Quer-Gerade* und *Längs-LSA* (beide 100%) festzustellen. Ein signifikanter Unterschied wird zwischen *Längs-Gerade* und *Quer-Gerade* (Fisher; $p = 0,03$), *Quer-Gerade* und *Quer-Kurve* (Fisher; $p = 0,04$) sowie *Längs-Gerade* und *Längs-LSA* (Fisher; $p = 0,04$) beobachtet. In den Situationen *Quer-Gerade* und *Längs-LSA* geben alle befragten Probanden an, die relevanten Informationen wahrgenommen zu haben. In den Situationen *Längs-Gerade* und *Quer-Kurve* nimmt nach eigenen Informationen etwa jeder zehnte Proband die relevanten

Informationen nicht wahr. Die Hypothese H_0 15 wird somit verworfen und Alternativhypothese H_1 15 als wahr angenommen.

H_1 15: Die Situation hat signifikanten Einfluss darauf, ob relevante Informationen aus der Umgebung erkannt werden.

In den Situationen *Quer-Gerade* und *Längs-LSA* werden die relevanten Informationen aus der Umgebung von allen Fahrern wahrgenommen. In den Situationen *Längs-Gerade* und *Quer-Kurve* ist ein geringerer Anteil an wahrgenommenen Informationen festzustellen.

Um Hinweise darauf zu bekommen, ob die relevanten Informationen in den Systemstörungssituationen von den Fahrern wahrgenommen wurden, werden die Daten der Blickbewegungsanalyse in den Situationen *Längs-Gerade* und *Längs-LSA* ausgewertet. In der Systemstörungssituation *Längs-Gerade* fixieren 24 von 45 Probanden (53,3 %) das Verkehrszeichen mit ihrem Blick, in der Systemstörungssituation *Längs-LSA* fixieren 21 von 31 Probanden (67,7 %) die Lichtsignalanlage. Der Anteil der Probanden, der LSA und Verkehrszeichen fixiert, scheint gering; es ist aber bei der Interpretation zu berücksichtigen, dass das Verkehrszeichen schon in einer vorhergehenden Runde wahrgenommen werden konnte und die Existenz aus dem Gedächtnis abgerufen werden kann. Um den Status der Lichtsignalanlage wahrzunehmen, muss diese nicht mit dem Blick fixiert werden, da der Status auch peripher wahrgenommen werden kann.

H_0 16: Die Situation hat keinen signifikanten Einfluss darauf, ob der weitere Verlauf der Situation korrekt antizipiert wird.

Die dritte Stufe des Situationsbewusstseins wird erreicht, wenn der Fahrer in der Lage ist, den Verlauf der Situation korrekt zu antizipieren. Um dieses zu bewerten, wird dem Fahrer folgende Frage gestellt:

Falls gebremst / gelenkt „Was hätte in der Situation passieren können, wenn Sie nicht reagiert hätten?“

Falls nicht gebremst / nicht gelenkt „Was hätte in der Situation passieren können?“

In Abbildung 57 ist der Anteil des korrekt antizipierten Verlaufs der Situationen dargestellt. Der Anteil der korrekten Antizipation der Situation *Längs-Gerade* ist höchst signifikant geringer als in der Situation *Quer-Gerade* ($\chi^2(1, N = 107) = 13,88; p < 0,001$), *Quer-Kurve* ($\chi^2(1, N = 128) = 19,02; p < 0,001$) und *Längs-LSA* ($\chi^2(1, N = 94) = 19,18; p < 0,001$). Zwischen den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* besteht kein signifikanter Unterschied (QG – QK: Fisher, $p = 1,00$; LL – QG: Fisher, $p = 0,132$; QK – LL: Fisher, $p = 0,161$).

Hypothese H_0 16 wird verworfen und die Alternativhypothese als wahr angenommen, da die Prädiktion der Entwicklung der zukünftigen Situation in der Situation *Längs-Gerade* signifikant schlechter ist als in den anderen Situationen.

H_1 16: Die Situation hat signifikanten Einfluss darauf, ob der weitere Verlauf der Situation korrekt antizipiert wird.

In den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* sowie *Längs-LSA* wird der Verlauf der Situation weitgehend richtig antizipiert, was auf ein hohes Situationsbewusstsein in diesen Situationen schließen lässt.

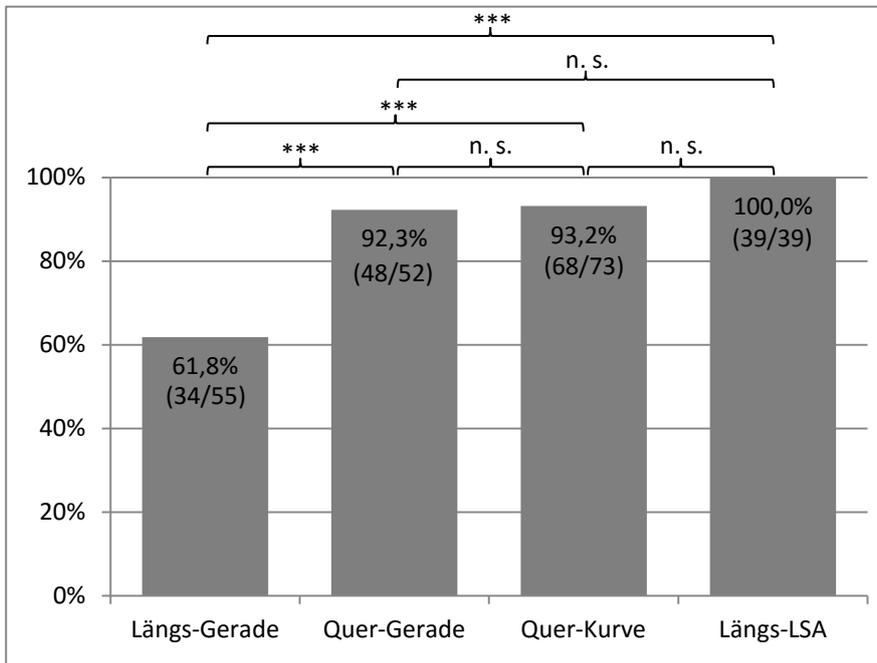


Abbildung 57: Anteil der Fahrer, die die Entwicklung der Situation in den Systemstörungs-Situationen korrekt antizipieren; in Klammern: Anzahl der Fahrer, die Situation korrekt antizipieren / N

H_0 17: Das Situationsbewusstsein in Systemstörungs-Situationen unterscheidet sich nicht signifikant vom Situationsbewusstsein vor Erleben der Systemstörung.

Das Situationsbewusstsein wurde mit der SART-Methode sowohl vor dem Eintreten einer Systemstörung als auch direkt nach der ersten Systemstörung im Versuchsablauf ermittelt. Die Ergebnisse des SART-Ratings sind in Abbildung 58 dargestellt.

Da der Test auf Normalverteilung nach Shapiro-Wilk eine Normalverteilung aller Wertemengen ergab, wird der t-Test für abhängige Stichproben angewandt. Das Situationsbewusstsein in den Systemstörungs-Situationen ist signifikant bis höchst signifikant geringer als vor den Systemstörungen (LG: $t(13) = 3,59$; $p = 0,03$; QG: $t(16) = 5,01$; $p < 0,001$; QK: $t(17) = 2,74$; $p = 0,01$; QK mit Übernahmeaufforderung: $t(16) = 6,45$; $p < 0,001$; t-Test für gepaarte Stichproben).

Hypothese H_{017} wird verworfen und die Alternativhypothese als wahr angenommen:

H_1 17: Das Situationsbewusstsein in Systemstörungs-Situationen unterscheidet sich signifikant vom Situationsbewusstsein vor Erleben der Systemstörung.

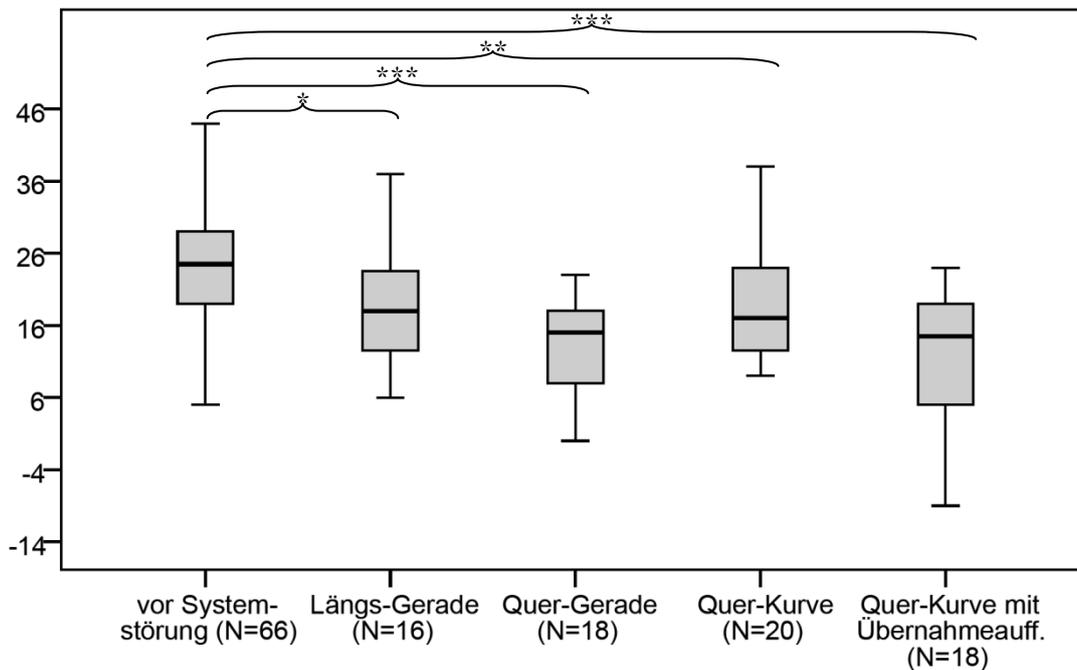


Abbildung 58: Bewertung des Situationsbewusstseins mit der SART-Methode im Modus „Kooperative Automation“ vor Eintreten der Systemstörung und nach Erleben der ersten Systemstörung (Skala von -14 bis 46)

Eine weitere zu prüfende Hypothese lautet:

H_0 18: Das Situationsbewusstsein in den Systemstörungs-Situationen unterscheidet sich nicht signifikant voneinander.

Nachdem der Levene-Test auf Varianzhomogenität keine signifikante Abweichung der Varianzen ergibt ($p = 0,801$), wird eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Sie ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($F(3, 68) = 3,81; p = 0,014$). Hypothese H_0 18 wird folglich verworfen.

H_1 18: Das Situationsbewusstsein in den Systemstörungs-Situationen unterscheidet sich signifikant voneinander.

Anschließend wird der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet, um Unterschiede zwischen den Gruppen herauszufinden. Das Situationsbewusstsein zwischen der Situation Längs-Gerade und Quer-Kurve sowie zwischen der Situation Quer-Gerade und Quer-Kurve mit Übernahmeaufforderung unterscheidet sich nicht signifikant. Zwischen den anderen Situationen lassen sich signifikante Unterschiede nachweisen. (LG – QG: $t(32) = 2,12; p = 0,041$; LG – QK: $t(34) = -0,16; p = 0,87$; LG - QK_ÜA: $t(32) = 2,29; p = 0,029$; QG – QK: $t(36) = -2,40; p = 0,022$; QG – QK_ÜA: $t(34) = 0,466; p = 0,644$; QK-QK_ÜA: $t(36) = 2,59; p = 0,014$; t-Test für unabhängige Stichproben)

4.2.4. Subjektive Bewertung

H₀ 19: Die Akzeptanz des Systems nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich nicht signifikant von der Akzeptanz nach Erleben der Systemstörungen.

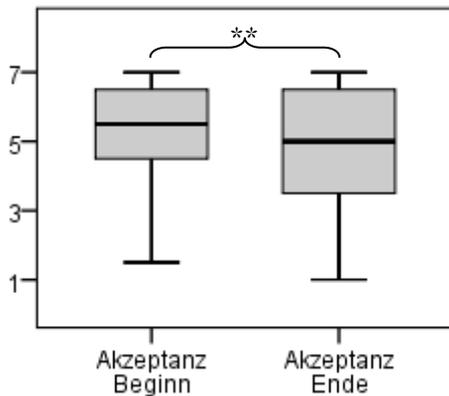


Abbildung 59: Akzeptanz des Modus *Kooperative Automation*
(1: niedrig bis 7: hoch, $N = 65$)

Abbildung 59 zeigt die mit der TAQ-Methode ermittelte Akzeptanz der kooperativen Automation vor (Beginn) und nach (Ende) Erleben der Systemstörung. Durch das Erleben der Systemstörung sinkt die Akzeptanz sehr signifikant ($t(64) = 3,11$; $p = 0,003$; $N = 65$; t-Test für abhängige Stichproben), bleibt aber auf einem relativ hohen Niveau (Beginn: $M = 5,22$; $SD = 1,49$; Ende: $M = 4,78$; $SD = 1,88$; Skala von 1: niedrig bis 7: hoch). Hypothese H₀ 19 wird verworfen und die Alternativhypothese angenommen.

H₁ 19: Die Akzeptanz des Systems nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich signifikant von der Akzeptanz nach Erleben der Systemstörungen.

H₀ 20: Die Mode-Awareness des Fahrers nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich nicht signifikant von der Mode-Awareness nach Erleben der Systemstörungen.

H₀ 21: Die Bewertung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens durch den Fahrer nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich nicht signifikant von der Bewertung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens nach Erleben der Systemstörungen.

In Abbildung 60 sind die mit der TAQ-Methode ermittelten Werte der Mode-Awareness vor (Beginn) und nach (Ende) Erleben der Systemstörungen dargestellt (Beginn: $M = 3,47$; $SD = 1,88$;

Ende: $M = 4,08$; $SD = 1,71$). Der t-Test für verbundene Stichproben ergibt eine höchst signifikante Steigerung der Mode-Awareness zum Versuchsende ($t(64) = -3,64$; $p = 0,001$; $N = 65$). Hypothese H_0 20 wird folglich verworfen.

H_1 20: Die Mode-Awareness des Fahrers nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich signifikant von der Mode-Awareness nach Erleben der Systemstörungen.

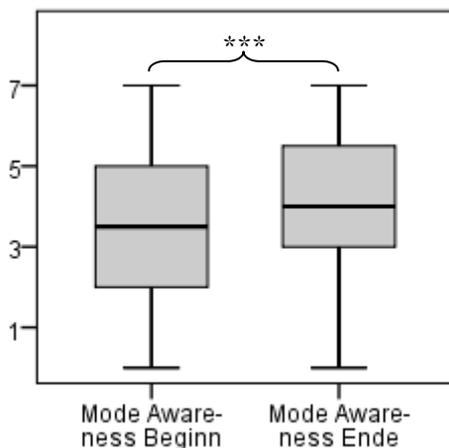


Abbildung 60: Mode-Awareness des Fahrers (1: niedrig bis 7: hoch, $N = 65$)

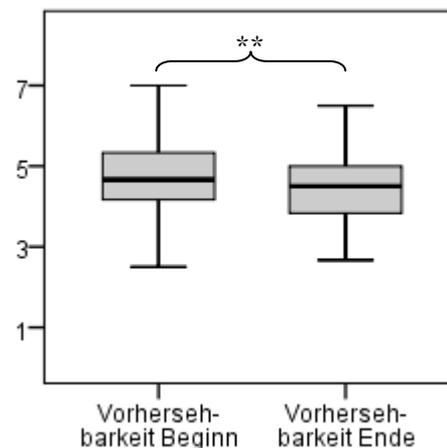


Abbildung 61: Vorhersehbarkeit der Kooperativen Automation durch den Fahrer (1: niedrig bis 7: hoch, $N = 65$)

Abbildung 61 zeigt die mit der TAQ-Methode ermittelten Werte der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens der Automation vor (Beginn) und nach (Ende) Erleben der Systemstörungen (Beginn: $M = 4,76$; $SD = 0,89$; Ende: $M = 4,46$; $SD = 0,91$). Der t-Test für verbundene Stichproben ergibt eine sehr signifikante Verringerung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens zum Versuchsende ($t(64) = 2,980$; $p = 0,004$). Hypothese H_0 21 wird also verworfen und H_1 21 angenommen:

H_1 21: Die Bewertung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens durch den Fahrer nach ausschließlichem Erleben der funktionsfähigen teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung unterscheidet sich nicht signifikant von der Bewertung der Vorhersehbarkeit des Systemverhaltens nach Erleben der Systemstörungen.

H_0 22: Die Kritikalitätsbewertung der Gesamtsituation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungen-Situationen.

Abbildung 62 zeigt die Beurteilung der Kritikalität der Gesamtsituation nach der Systemstörung. Die einfaktorielle ANOVA ergibt einen höchst signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen an ($F(3, 212) = 14,72$; $p < 0,001$). Hypothese H_0 22 wird also verworfen und die Alternativhypothese als wahr angenommen:

H_1 22: Die Kritikalitätsbewertung der Gesamtsituation unterscheidet sich signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungen-Situationen.

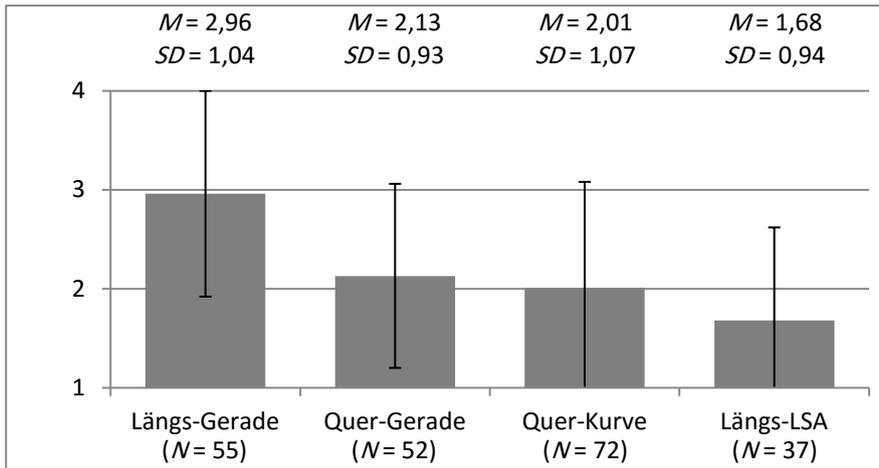


Abbildung 62: Beurteilung der Kritikalität der Gesamtsituation (1: sehr kritisch, 4: sehr unkritisch)

Die am unkritischsten empfundene Situation ist *Längs-Gerade* ($M = 2,96$; $SD = 1,04$). Der Mittelwert unterscheidet sich signifikant von den anderen drei Situationen Quer-Gerade ($M = 2,13$; $SD = 0,93$; $t(105) = 4,349$; $p < 0,001$), Quer-Kurve ($M = 2,01$; $SD = 1,07$; $t(125) = 5,031$, $p < 0,001$) und Längs-LSA ($M = 1,68$; $SD = 0,94$; $t(90) = 6,056$; $p < 0,001$). Getestet wurde mit dem t-Test für unabhängige Stichproben.

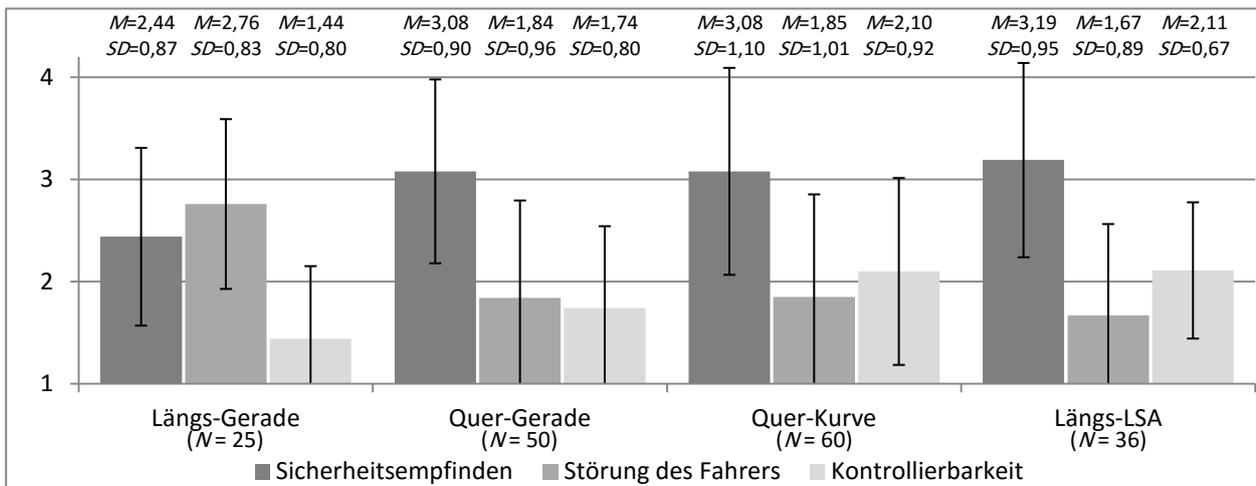


Abbildung 63: Subjektive Bewertung der Systemstörung in den verschiedenen Systemstörungs-Situationen (1: sehr sicher bis 4: sehr unsicher, 1: sehr störend bis 4: gar nicht störend, 1: sehr gut kontrollierbar bis 4: gar nicht kontrollierbar)

Abbildung 63 zeigt die subjektive Bewertung der Systemstörungen bezüglich Sicherheitsempfinden, Störung des Fahrers und Kontrollierbarkeit in den vier Systemstörungs-Situationen.

H_0 23: Die Bewertung des Sicherheitsempfindens unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Nachdem der Levene-Test auf Varianzhomogenität keinen signifikanten Unterschied der Varianzen ($p=0,908$) feststellt, wird eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Sie zeigt, dass ein signifikanter

Unterschied zwischen den Gruppen existiert ($F(3, 167) = 3,68; p = 0,013$). H_0 23 wird verworfen und die Alternativhypothese angenommen:

H_1 23: Die Bewertung des Sicherheitsempfindens unterscheidet sich signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Das Sicherheitsempfinden in den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* liegt auf einem etwa gleich hohen Niveau. Es existiert kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (QG – QK: $t(108) = -0,018; p = 0,986$; QG – LL: $t(84) = -0,568; p = 0,571$; QK – LL: $t(94) = -0,532; p = 0,596$; t-Test für unabhängige Stichproben). Das Sicherheitsempfinden in der Situation *Längs-Gerade* hingegen ist signifikant höher als in den übrigen drei Situationen (LG – QG: $t(73) = -2,935; p = 0,004$; LG – QK: $t(83) = -2,775; p = 0,007$; LG-LLSA: $t(59) = -3,154; p = 0,003$; t-Test für unabhängige Stichproben).

H_0 24: Die Bewertung der Störung des Fahrers unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Bei der Beurteilung der Störung des Fahrers zeigt die einfaktorielle ANOVA, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen existiert ($F(3, 167) = 7,657; p < 0,001$), (Levene-Test auf Varianzhomogenität ergab keinen signifikanten Unterschied der Varianzen: $p = 0,477$). Hypothese H_0 24 wird verworfen und die Alternativhypothese als wahr angenommen:

H_1 24: Die Bewertung der Störung des Fahrers unterscheidet sich signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Die Störung des Fahrers wird in den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* ähnlich beurteilt. Es existiert kein signifikanter Unterschied zwischen den Situationen (QG – QK: $t(108) = -0,053; p = 0,958$; QG – LL: $t(84) = 0,852; p = 0,396$; QK – LL: $t(94) = 0,901; p = 0,370$; t-Test für unabhängige Stichproben). Die Störung des Fahrers in der Situation *Längs-Gerade* wird als signifikant weniger stark beurteilt als in den übrigen drei Situationen (LG – QG: $t(73) = 4,099; p < 0,001$; LG – QK: $t(83) = 3,989; p < 0,001$; LG – LL: $t(59) = 4,832; p < 0,001$; t-Test für unabhängige Stichproben).

H_0 25: Die Bewertung der Kontrollierbarkeit der Systemstörung unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Auch bei der Beurteilung der Kontrollierbarkeit zeigt die einfaktorielle ANOVA, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen existiert ($F(3, 167) = 5,414; p = 0,001$; Levene-Test auf Varianzhomogenität: kein signifikanter Unterschied der Varianzen: $p = 0,219$). Hypothese H_0 25 wird verworfen, H_1 25 als wahr angenommen:

H_1 25: Die Bewertung der Kontrollierbarkeit der Systemstörung unterscheidet sich signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Insgesamt liegt die Kontrollierbarkeit über dem Mittelwert der Skala. Als am schlechtesten kontrollierbar wurden die Situationen *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* beurteilt. Die Bewertung der beiden Situationen unterscheidet sich untereinander nicht signifikant (QK – LL: $t(94) = -0,063$; $p = 0,950$; t-Test für unabhängige Stichproben), sie sind aber signifikant schwerer kontrollierbar als die Systemstörungen in den Situationen auf der Geraden (LG – QK: $t(83) = -3,219$; $p = 0,002$; LG – LLSA: $t(59) = -3,761$; $p < 0,001$; QG – QK: $t(108) = -2,171$; $p = 0,032$; QG – LL: $t(84) = -2,266$; $p = 0,026$; t-Test für unabhängige Stichproben). Die Kontrollierbarkeit der Systemstörungen in den Situationen *Längs-Gerade* und *Quer-Gerade* unterscheidet sich nicht signifikant (LG – QG: $t(73) = -1,581$; $p = 0,118$; t-Test für unabhängige Stichproben).

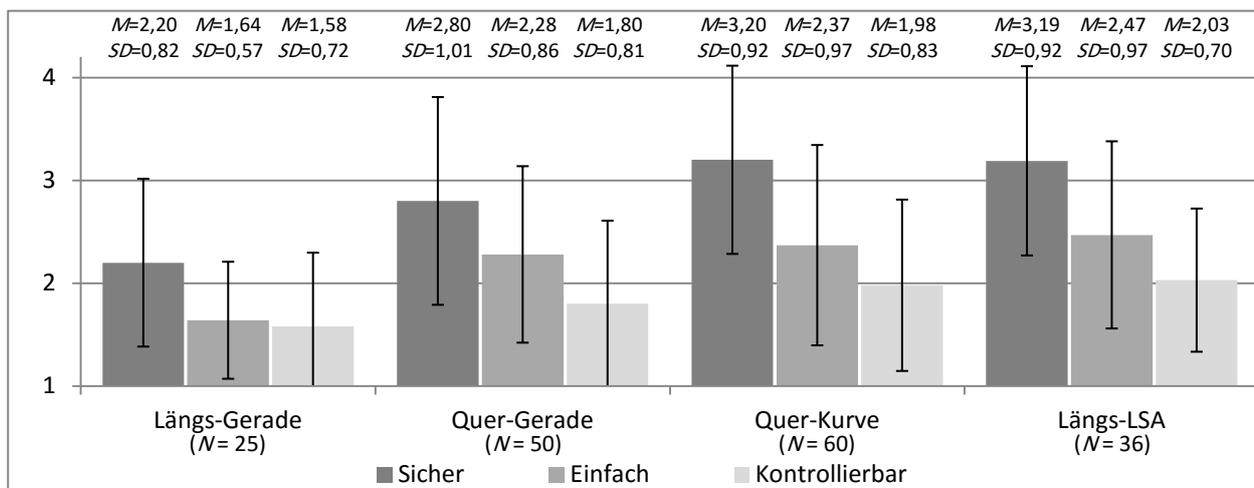


Abbildung 64: Subjektive Beurteilung der aus der Systemstörung resultierenden Situation (1: sehr sicher bis 4: sehr unsicher, 1: sehr einfach bis 4: sehr schwierig, 1: sehr gut kontrollierbar bis 4: gar nicht kontrollierbar)

Abbildung 64 zeigt die Ergebnisse der subjektiven Beurteilung der aus der Systemstörung resultierenden Situation bezüglich Sicherheit, Einfachheit und Kontrollierbarkeit.

H₀ 26: Die Bewertung der Sicherheit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Die einfaktorielle ANOVA zeigt, dass ein signifikanter Unterschied zwischen der Sicherheitsbewertung der einzelnen Situationen besteht ($F(3, 167) = 7,018$; $p < 0,001$). Der Levene-Test auf Varianzhomogenität zeigt keinen signifikanten Unterschied der Varianzen ($p = 0,476$). Hypothese H₀ 26 wird verworfen, die Alternativhypothese angenommen:

H₁ 26: Die Bewertung der Sicherheit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Am wenigsten sicher wurden die aus den Situationen *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* resultierenden Situationen beurteilt. Zwischen ihnen besteht kein signifikanter Unterschied ($t(94) = 0,029$; $p = 0,977$; t-Test für unabhängige Stichproben). Sie wurden als signifikant unsicherer beurteilt als die anderen beiden Situationen (QG – QK: $t(108) = -2,175$; $p = 0,032$; LG – QK: $t(83) = -4,725$;

$p < 0,001$; QG – LL: $t(84) = -1,853$; $p = 0,067$; LG – LL: $t(59) = -4,343$; $p < 0,001$; t-Test für unabhängige Stichproben).

Als am sichersten wurde die aus der Situation *Längs-Gerade* resultierende Situation beurteilt. Sie wird als signifikant sicherer als alle anderen Situationen bewertet (LG – QG: $t(73) = -2,576$; $p = 0,012$; t-Test für unabhängige Stichproben).

H₀ 27: Die Bewertung der Einfachheit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Der Levene-Test auf Varianzhomogenität zeigt einen signifikanten Unterschied der Varianzen ($p = 0,032$). Der daraufhin angewendete Kruskal-Wallis-Test unabhängiger Stichproben zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p = 0,002$) bezüglich der Beurteilung der Einfachheit der resultierenden Situation. Hypothese H₀ 27 wird verworfen und die Alternativhypothese als wahr angenommen.

H₁ 27: Die Bewertung der Einfachheit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Die aus der Situation *Längs-Gerade* resultierende Situation wird als signifikant einfacher bewertet als die aus den anderen drei Situationen resultierende (LG – QG: $z = -3,163$; $p = 0,002$; LG – QK: $z = -3,249$; $p = 0,001$; LG – LL: $z = -3,630$; $p < 0,001$). Zwischen den Situationen *Quer-Gerade*, *Quer-Kurve* und *Längs-LSA* besteht kein signifikanter Unterschied in der Bewertung der Einfachheit, sie liegt auf einem mittleren Niveau (QG – QK: $z = -0,392$; $p = 0,695$; QG – LL: $z = -0,969$; $p = 0,332$; QK – LL: $z = -0,575$; $p = 0,565$).

H₀ 28: Die Bewertung der Kontrollierbarkeit der aus der Systemstörung resultierenden Situation unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Systemstörungs-Situationen.

Für die Bewertung der Kontrollierbarkeit zeigt die einfaktorielle ANOVA, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen existiert ($F(3, 166) = 2,097$; $p = 0,103$). (Levene-Test Varianzhomogenität: kein signifikanter Unterschied der Varianzen, $p = 0,660$). Hypothese H₀ 28 wird also nicht verworfen. Die Kontrollierbarkeit wird besser als durchschnittlich bewertet.

4.3. Fazit

Im ersten Teil der Untersuchung wurden Systemverständnis, Situationsbewusstsein und subjektive Bewertung zwischen teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung und assistierter Fahrzeugführung verglichen.

In beiden Automatisierungsgraden ist das durch den Fahrer selbst eingeschätzte Systemverständnis hoch. Es unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Graden. Wird der Fahrer aufgefordert, die von ihm selbst auszuführenden Aufgaben zu benennen, lassen sich jedoch Defizite im Systemverständnis feststellen: Die Aufgaben der Überwachung des Systems und der Umgebung werden von den meisten Fahrern nicht genannt. Dies steht im Kontrast zur guten Selbsteinschätzung des Systemverständnisses durch den Probanden. Die übrigen Aufgaben des Fahrers, die im assistierten Modus hauptsächlich in der Fahrzeugstabilisierung und im teilautomatisierten Modus hauptsächlich auf der Führungsebene liegen, werden weit häufiger korrekt zugeordnet als die Überwachungsaufgaben.

Mit der SART-Methode (Taylor, 1990) und der Blickbewegungsanalyse wird im teilautomatisierten manöverbasierten Modus ein niedrigeres Situationsbewusstsein festgestellt als im assistierten Modus.

Die subjektive Bewertung zeigt, dass die Fahrer signifikant mehr Vertrauen in den teilautomatisierten als in den assistierten Modus haben. Diese Bewertung ist bemerkenswert, da der Fahrer im teilautomatisierten Modus die gesamte Fahrzeugstabilisierung dem Assistenzsystem überlässt. Außerdem ergibt die subjektive Bewertung, dass der Fahrer im teilautomatisierten Modus signifikant weniger beansprucht wird als im assistierten Modus. In beiden Automatisierungsgraden fühlten die Fahrer sich während der Fahrt sicher und hatten das Gefühl, stets die Kontrolle über das Fahrzeug zu haben.

Im zweiten Teil der Untersuchung wurden die Fahrer mit verschiedenen Systemstörungs-Situationen konfrontiert. In einigen Situationen wurden sie zudem durch eine optische und akustische Übernahmeaufforderung zur Übernahme der Fahrzeugführung aufgefordert. Es wurden in den Systemstörungs-Situationen das Systemverständnis, das Situationsbewusstsein und die subjektive Bewertung untersucht. Außerdem wurden die Reaktionen des Fahrers bei der Konfrontation mit Systemstörungen betrachtet und Reaktionszeiten ermittelt.

Bei der Untersuchung des Systemverständnisses im Systemstörungs-Fall wurde beobachtet, dass die Systemstörungen, die sich durch einen Ausfall der Querführung in der Kurve oder Geraden äußerten (Quer-Kurve und Quer-Gerade) sowie der Ausfall der Bremsung vor einer roten Lichtsignalanlage (Längs-LSA) von einem großen Teil der Fahrer (84 % bis 94 %) als Systemstörung erkannt wurden. Im Kontrast dazu steht die Erkennungshäufigkeit der Systemstörung in der Situation Längs-Gerade (Ausfall der automatischen Geschwindigkeitsanpassung an einem Tempolimit-Verkehrszeichen). Diese wurde nur von einem Drittel der Fahrer erkannt und als Systemstörung benannt.

Die Position im Versuchsablauf hat keinen Einfluss darauf, ob eine Systemstörung erkannt wurde. Das vorherige Erleben einer Systemstörung führt somit nicht zu einer besseren Erkennung einer darauffolgenden.

Eine Übernahmeaufforderung, die beim Eintreten der Systemstörung erscheint, hat ebenfalls keinen Einfluss auf die Erkennung der Systemstörung. Allerdings wurde die Übernahmeaufforderung selbst häufig gar nicht als solche erkannt. In der Situation Längs-LSA lag die Erkennungsquote der Übernahmeaufforderung bei nur 10 %, in den übrigen Situationen zwischen 41 % und 56 %.

Eine teilweise Erklärung für die schlechte Erkennung der Systemstörung liefern die Daten der Blickbewegungsanalyse, die zeigen, dass während der Systemstörungen nur die Hälfte der Fahrer ins Kombi-Display geschaut hat (mit Ausnahme der Situation Längs-Gerade, in der 85 % ins Display schauten) und so die Übernahmeaufforderung überhaupt wahrnehmen konnte.

Durch die Auswertung der Videoaufzeichnungen wurde ermittelt, ob die Fahrer im Falle von Systemstörungen die Fahrzeugführung übernahmen. In der Situation Längs-Gerade wurde die Fahrzeugführung von weniger als der Hälfte (45 %) der Fahrer übernommen, während der Anteil der übernommenen Fahrzeugführung in den anderen Situationen deutlich höher lag (Quer-Gerade: 85 %, Quer-Kurve: 90 %, Längs-LSA: 100 %). Bei der Befragung im Anschluss an die Systemstörungssituation konnten die meisten Fahrer die Übernahme der Fahrzeugführung benennen, die Übernahme der Fahrzeugführung wurde also bewusst ausgeführt.

In allen Situationen, in denen der Proband bei einer Systemstörung die Fahrzeugführung nicht übernahm, war der meistgenannte Grund das Vertrauen in das System. Eine geringe Anzahl reagierte nicht, weil sie keinen Grund zum Eingriff sahen oder weil es sich um eine Versuchssituation handelte. Auffällig ist zudem, dass in der Situation Längs-Gerade 10 von 26 Probanden angaben, die Systemstörung nicht bemerkt zu haben.

Bei Systemstörungen der Längsführung betätigte die Mehrheit der reagierenden Fahrer als erstes die Bremse, bei Systemstörungen der Querführung übernahm die Mehrheit der reagierenden Fahrer als erstes das Lenkrad. Beim Ausfall der Querführung in der Kurve stieg im Vergleich zum Ausfall der Querführung auf der Geraden der Anteil der Fahrer, die bremsten.

In der Situation Längs-Gerade hat die Übernahmeaufforderung starken Einfluss auf die Rückübernahme der Fahrzeugführung durch die Fahrer. Obwohl nur 86 % während der Übernahmeaufforderung ins Kombi-Display blickten und nur 56 % sie als Übernahmeaufforderung erkannten, steigerte sich die Anzahl der Fälle, in denen die Fahrzeugführung übernommen wurde, von 34 % auf 89 %.

Die Reaktionszeiten unterscheiden sich signifikant zwischen den einzelnen Situationen. Die kürzesten Reaktionszeiten wurden beim Ausfall der automatischen Bremsung an der Lichtsignalanlage gemessen ($M = 1,7$ s), gefolgt vom Ausfall der Querführung in der Kurve ($M = 2,57$ s). Die längsten Reaktionszeiten wurden beim Ausfall der Längsführung ($M = 3,3$ s) und Querführung ($M = 3,23$ s) auf

der Geraden gemessen. Ein signifikanter Einfluss der Übernahmeaufforderung auf die Reaktionszeit des Fahrers lässt sich nicht feststellen. In der Situation Längs-Gerade verringert sich die durchschnittliche Reaktionszeit durch die Übernahmeaufforderung zwar um 1 s, der Effekt ist aber nicht signifikant.

Neben dem Systemverständnis und der Rückübernahme wurde auch das Situationsbewusstsein in den Systemstörungs-Situationen untersucht. Nach dem SART-Rating ist dies während der Systemstörungs-Situationen geringer als vor dem Erleben der Systemstörung.

Um weitere Erkenntnisse über das Situationsbewusstsein zu gewinnen, wurde von den Fahrern erfragt, ob sie bestimmte, in der Situation relevante Informationen erkannt haben. Bei den Ausfällen der Querführung war dies das Abkommen des Fahrzeugs von der Fahrbahn, bei dem Ausbleiben des Bremsens vor dem Rotlicht der Lichtsignalanlage das Vorhandensein der roten Ampel und bei Nichtanpassung der Geschwindigkeit an das Tempolimit das Vorhandensein des Tempolimits. Die Zustimmung zu den Fragen ist hoch. Bei Quer-Gerade und Längs-LSA 100 %, bei Längs-Gerade und Quer-Kurve ca. 90 %. Auffällig ist, dass zwar 89 % der Fahrer angaben, das Tempolimit wahrgenommen zu haben, aber nur 56 % erkannten, dass das Fahrzeug seine Geschwindigkeit nicht anpasste. Die Antizipation des zukünftigen Verlaufs der Situation war in der Situation Längs-Gerade mit 62 % schlechter als in den anderen drei Situationen (in denen in zwischen 92 % und 100 % der Fälle richtig antizipiert wurde), was auf ein geringeres Situationsbewusstsein in dieser Situation schließen lässt.

Die subjektive Beurteilung ergab, dass durch das Erleben der Systemstörungen die Akzeptanz des Assistenzsystems durch den Fahrer sinkt, sie bleibt aber dennoch auf einem hohen Niveau. Am Ende des Versuchs ist die Mode-Awareness höher als am Anfang, die Vorhersehbarkeit des Verhaltens der Automation hingegen wird schlechter eingeschätzt als am Anfang.

Die Situation Längs-Gerade wird am unkritischsten bewertet, die Situation Längs-LSA am kritischsten, die Situationen Quer-Gerade und Quer-Kurve liegen in der Kritikalitätsbewertung zwischen den beiden anderen.

Die Systemstörungen Quer-Kurve, Quer-Gerade und Längs-LSA werden als eher unsicher beurteilt, die Systemstörung Längs-Gerade wird als weniger unsicher eingeschätzt. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den anderen Punkten der Fragebögen. Die Systemstörung Längs-Gerade wird als weniger störend beurteilt als die anderen Systemstörungen, die als störend empfunden werden. Alle Systemstörungen werden als eher kontrollierbar eingeschätzt, wobei auch hier die Situation Längs-Gerade als am besten kontrollierbar beurteilt wird.

Die aus der Situation Längs-Gerade resultierende Situation wird als eher sicher beurteilt, die anderen resultierenden Situationen werden als eher unsicher beurteilt. Am unsichersten wird sie in den Situationen Quer-Kurve und Längs-LSA beurteilt.

Die Situation Längs-Gerade wird eher nicht kritisch eingeschätzt, die übrigen Systemstörungssituationen als kritisch. Am kritischsten wird die Situation Längs-LSA beurteilt. Die Situation Längs-Gerade wird weder als sicher noch als unsicher eingeschätzt. Die übrigen Systemstörungssituationen werden als eher unsicher beurteilt.

Alle Systemstörungen und die daraus resultierenden Situationen werden als kontrollierbar eingeschätzt.

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Ergebnisse

Die zentrale Fragestellung bei der Beurteilung der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung ist die, ob der Fahrer die ihm zugewiesenen Aufgaben versteht und ausführt, um so eine sichere und regelkonforme Fahrzeugführung durch das Mensch-Maschine-System zu gewährleisten. Ein besonders kritischer Fall stellt der der Systemstörungen dar, weil der Fahrer diese erkennen und die Fahrzeugführung vom Assistenzsystem übernehmen muss.

Ob der Fahrer die Fahrzeugführung zurückübernimmt, hängt bei der Untersuchung sehr stark von der Situation ab. Beim Ausfall der automatischen Bremsung an der Lichtsignalanlage (Längs-LSA) übernehmen alle (100 %) Fahrer die Fahrzeugführung, beim Ausfall der automatischen Geschwindigkeitsanpassung an einem Tempolimit-Verkehrszeichen (Längs-Gerade) übernehmen weniger als die Hälfte (45 %) der Fahrer die Fahrzeugführung. Beim Ausfall der Querverführung übernahmen auch nicht alle Fahrer die Fahrzeugführung: auf der Geraden 85 %, in der Kurve 90 %.

Das Verhalten der Fahrer in der Situation Längs-Gerade, aber auch beim Ausfall der Querverführung, stellt eine unzureichende Ausführung der Fahraufgaben dar. Würde ein solches Ergebnis im Straßenverkehr erzielt werden, würde dies eine Gefährdung oder zumindest das Risiko eines Bußgelds nach sich ziehen.

Um eine Erklärung für die ungenügende Übernahmeleistung des Fahrers zu finden, wird zunächst die Erkennung der Systemstörung durch den Fahrer betrachtet. Hier zeigt sich ein Hinweis, warum die Fahrzeugführung in der Situation Längs-Gerade signifikant seltener übernommen wurde als in den anderen Situationen: Die Systemstörung wurde in dieser Situation signifikant seltener erkannt als in den anderen Situationen. Sie wurde nur von einem Drittel der Fahrer erkannt, wohingegen die Systemstörung in der Situation Längs-LSA vom 95 % der Fahrer erkannt wurde und die Systemstörungen der Querverführung noch von 81 % (Kurve) und 84 % (Gerade).

Um eine Erklärung zu bekommen, warum die Systemstörungen in einem großen Teil der Fälle nicht erkannt wurden, werden die Antworten auf die Frage nach dem Grund für das Nicht-Reagieren betrachtet, die den Fahrern bei einer ausbleibenden Reaktion gestellt wurden. In allen Situationen ist der meistgenannte Grund das Vertrauen in das System. Einzelne Probanden reagierten auch nicht, weil sie sich in einer Versuchs-Situation befanden. Die Antwort deckt sich mit den subjektiven Bewertungen des Systemvertrauens, das im teilautomatisierten manöverbasierten Modus eine Zustimmung von 6.4 (auf einer Skala von 1: trifft nicht zu bis 7: trifft zu) auf die Aussage „Ich hatte während der Fahrt Vertrauen in das System“ ergab. Das hohe Systemvertrauen und das besondere Verhalten in Versuchssituationen liefert jedoch keine Antwort für die 38 % der Fälle, in denen die Fahrer angaben, nicht reagiert zu haben, weil sie „nichts bemerkt“ hätten. Aus diesem Grund wird die Befragung zum Systemverständnis betrachtet, in der die Probanden angaben, welche Aufgaben ihrer Ansicht nach vom System und welche vom Fahrer ausgeführt werden. Hier zeigt sich, dass die Aufgaben der

Überwachung der Umgebung und des Systems nur von einem kleinen Teil (3 % und 12 %) der Fahrer als die ihren betrachtet wurden. Dies lässt den Schluss zu, dass ein Großteil der Fahrer den Abgleich der Umgebung mit dem Systemzustand nicht als ihre Aufgabe ansahen und deshalb nicht durchführten. Außerdem ist der Fahrer in diesem Fall trotz der Einbindung in die Fahrzeugführung durch die Manöverautomation ein passiver Überwacher (wodurch, wie unter Punkt 2.3.2 beschrieben, häufig Probleme bei der Rückübernahme der Fahrzeugführung verursacht werden). Dies lässt den Schluss zu, dass bei der zukünftigen Gestaltung von teilautomatisierter Fahrzeugführung der Fahrer auch bei dieser Aufgabe stärker eingebunden werden sollte, wenn die automatische Geschwindigkeitsanpassung nicht ausreichend zuverlässig automatisiert werden kann. Dies könnte beispielsweise dadurch geschehen, indem die Übernahme erkannter Tempolimits vom Fahrer bestätigt oder diese ihm zumindest gut wahrnehmbar angezeigt werden. Die Aufgabe der Manöverbeauftragung, die der Fahrer aktiv ausführt, wird von einem Großteil der Fahrer als ihre Aufgabe benannt.

Ebenfalls als problematisch angesehen werden kann die Tatsache, dass die Fahrer ein unzureichendes Systemverständnis aufweisen, aber bei der Selbstbeurteilung ein sehr hohes Verständnis der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine angeben. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Studien mit Fahrern durchgeführt wurden, die in der manuellen Fahrzeugführung geschult wurden und nur eine kurze Einführung in die teilautomatisierte manöverbasierter Fahrzeugführung erhielten. Möglicherweise kann hier durch eine Ausbildung in automatisierter Fahrzeugführung eine Verbesserung erzielt werden.

Eine weitere Frage, die sich stellte, war die, ob mit einer visuellen Übernahmeaufforderung, die über die Mensch-Maschine-Schnittstelle ausgegeben wird, die Fähigkeit der Fahrer zur Rückübernahme der Fahrzeugführung gesteigert werden kann. Da davon ausgegangen wurde, dass eine *Systemstörung* sich nicht vorhersagen lässt, wurde die *Übernahmeaufforderung* gleichzeitig mit der auftretenden Systemstörung ausgegeben.

Zur Wirksamkeit der untersuchten Übernahmeaufforderung ergibt sich ein gemischtes Bild. Einerseits hat die Übernahmeaufforderung keinen Einfluss darauf, ob eine Systemstörung als solche vom Fahrer erkannt und benannt werden konnte. Andererseits wurde die Übernahmeaufforderung häufig gar nicht als solche erkannt. In der Situation Längs-LSA lag die Erkennungsquote der Übernahmeaufforderung bei nur 10 %, in den übrigen Situationen zwischen 41 % und 56 %. Dies liegt wahrscheinlich zum einen daran, dass während der Übernahmeaufforderung nur die Hälfte der Fahrer auf das Kombi-Display geschaut hat (bis auf die Situation Längs-Gerade, in der 85 % ins Display schauten) und so die Übernahmeaufforderung überhaupt wahrnehmen konnte. Andererseits liegt es gerade in der zeitkritischen Situation Längs-LSA daran, dass der Fahrer in dieser Situation seine kognitiven Ressourcen dazu nutzt, die Fahrzeugführung zu übernehmen und deshalb keine Ressourcen frei bleiben, die Übernahmeaufforderung zu erkennen. In dieser Situation ist dies aber nicht problematisch, weil alle Fahrer die Fahrzeugführung übernehmen.

Obwohl die visuelle Übernahmeaufforderung die Erkennung der Systemstörung nicht steigern konnte, steigerte sie in der Situation Längs-Gerade (hier schauten 85 % ins Display) die Anzahl der Fälle, in denen die Fahrer die Fahrzeugführung übernahmen, von 34 % auf 89 %. Die Situation Längs-Gerade war die am wenigsten zeitkritische. Das Ergebnis zeigt, dass eine Übernahmeaufforderung hilfreich sein kann, wenn sie so gestaltet ist, dass der Fahrer sie wahrnehmen kann und in der Situation ausreichend freie Ressourcen hat, eine Handlung abzuleiten. Dies zeigt, dass eine Übernahmeaufforderung so gestaltet sein sollte, dass die möglichst wenige Ressourcen zur Interpretation benötigt und gut wahrnehmbar ist. Trotzdem wird vermutet, dass ein Effekt in besonders zeitkritischen Situationen gering ist. Dies müssen weitere Studien klären.

In der Situation Längs-Gerade ist die durchschnittliche Reaktionszeit in der Variante mit Übernahmeaufforderung etwa 1 s geringer als ohne, der Effekt ist nicht signifikant.

Die kürzesten Reaktionszeiten wurden in der Situation Längs-LSA (Ausfall Bremsung an Lichtsignalanlage) gemessen ($M = 1,7$ s). Gleichzeitig war dies die am zeitkritischsten gestaltete Situation, die auch von den Fahrern als am kritischsten beurteilt wurde. Die längsten Reaktionszeiten ($M = 3,3$ s) wurden in der Situation Längs-Gerade (Ausfall der Tempoanpassung) gemessen, die am wenigsten zeitkritisch gestaltet wurden war und auch von den Fahrern als am wenigsten kritisch beurteilt wurde. Die Reaktionszeiten der Situationen Quer-Gerade ($M = 3,23$ s) und Quer-Kurve ($M = 2,57$ s) belegen genau wie die Zeitkritikalität der Situationen und das bewertete Risiko, dass der Fahrer die Reaktionszeiten die der zur Verfügung stehenden Zeit und der Situationskritikalität anpasst (Wie auch von Stancyk & Jurecki (2008) und Damböck et al. (2013) in ähnlichen Kontexten herausgefunden). Die Reaktionszeit ist nach unten durch die kognitive Verarbeitungskapazität des Menschen begrenzt.

Wie von verschiedenen Autoren herausgefunden (z.B. von Endsley & Kiris, 1995), kann ein Mangel an Situationsbewusstsein zu einer unzureichenden Erkennung von Systemstörungen führen. Deshalb wurde der Einfluss der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung auf das Situationsbewusstsein durch einen Vergleich mit einfacher assistierter Fahrzeugführung untersucht. Es ist eine signifikante Verringerung des Situationsbewusstseins durch die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung festzustellen. Auf der SART-Skala beträgt die Verringerung jedoch nur 8 %, was als gering anzusehen ist. Ob die geringe Verringerung des Situationsbewusstseins durch das Konzept der Manöverautomation bedingt ist, müsste eine weitere Studie klären, in der das Situationsbewusstsein teilautomatisierter manöverbasierter mit nicht manöverbasierter teilautomatisierter Fahrzeugführung verglichen wird. Einen Hinweis darauf, dass in der Situation Längs-Gerade die signifikant geringere Rückübernahme-Häufigkeit durch ein geringeres Situationsbewusstsein bedingt war, gibt die Tatsache, dass in dieser Situation das durch die Antizipation des zukünftigen Verlaufs der Situation bestimmte Situationsbewusstsein signifikant geringer war als in den anderen Situationen. Das SART-Rating ergibt jedoch in den Systemstörungs-Situationen für die Situation Längs-Gerade kein signifikant geringeres Situationsbewusstsein als in den anderen Situationen. Allerdings wird festge-

stellt, dass nach allen Systemstörungen die SART-Bewertung des Situationsbewusstseins geringer ist als vor den Systemstörungen. Möglicherweise wird hier jedoch, wie von Jeannot et al. (2003) postuliert, die Bewertung durch den vom Fahrer empfundenen Aufgabenerfüllungsgrad beeinflusst.

Die subjektiven Ergebnisse sprechen für die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung. Sie zeigen, dass der Fahrer durch sie, im Vergleich zur assistierten Fahrzeugführung, entlastet wird. Das Vertrauen des Fahrers in das System und das Sicherheitsgefühl sind hoch. Hier muss darauf geachtet werden, dass die wirkliche Systemzuverlässigkeit der vom Fahrer empfundenen entspricht. Bemerkenswert ist auch, dass die Systemakzeptanz selbst durch das Erleben von Systemstörungen nicht stark beeinflusst wird. Vom Fahrer werden die Systemstörungen als kontrollierbar eingeschätzt. Es muss aber noch in weiteren Untersuchungen die Kontrollierbarkeit abgesichert werden. Der RESPONSE (2009) „Code of Practice“ und Weitzel (2013) geben Anhaltspunkte für das Vorgehen.

5.2. Diskussion der Methodik

Um das Systemverständnis zu ermitteln, wurde der Fahrer in einer offenen Frage nach der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine gefragt. Dabei wurden Defizite bei der Überwachungsaufgabe sichtbar. Die Frage wurde offen gestellt, um die Antworten des Fahrers nicht durch die Fragestellung zu beeinflussen. Der Nachteil dieser Fragetechnik ist, dass diejenigen Fälle nicht erfasst werden, in denen der Proband zwar die Aufgabenverteilung verstanden hat, dieses aber nicht oder nur unvollständig äußert.

Das Situationsbewusstsein wurde mit verschiedenen Methoden ermittelt. Die SART-Methode eignet sich gut zum Vergleich zwischen den verschiedenen Automatisierungsgraden, aber weniger zur Beurteilung der kurzzeitigen und dynamischen Systemstörungssituationen, weil sie immer nur nach der Situation angewandt und durch den vom Probanden empfundenen Aufgabenerfüllungsgrad beeinflusst werden kann (vgl. Jeannot et al., 2003). Die Befragung des Fahrers zu den in der Situation wahrgenommenen Informationen und zur Antizipation der Situation ist dazu besser geeignet, erfasst aber nur einen Teil des Situationsbewusstseins.

Die verschiedenen Systemstörungs-Situationen im kontrollierten Feld eigneten sich gut zur Beantwortung der Fragestellungen zum menschenbezogenen Umgang mit Systemstörungen bei teilautomatisierter Fahrzeugführung, weil verschiedene Einflussfaktoren auf den Umgang mit Systemstörungen betrachtet werden konnten. Die Anzahl der darzustellenden Situationen war dabei versuchsbedingt beschränkt. Soll ein Fahrerassistenzsystem abgesichert werden, sollten beispielsweise mithilfe der Fehlerbaumanalyse alle möglichen Systemstörungen ermittelt und diese in den kritischsten Situationen umgesetzt werden.

Als objektives Maß der Fahrerreaktionen wurden die Reaktionszeiten herangezogen. Zur Beurteilung der Güte einer Rückübernahme sollte aber auch der ganze Prozess der Übergabe betrachtet werden. Um ein angemessenes Handeln des Fahrers beurteilen zu können, müsste die Situation einen hohen

Realitätsgrad, vor allem bezüglich anderer Verkehrsteilnehmer, aufweisen, dem aber im Versuch Grenzen gesetzt sind.

Zur Beurteilung der Informationsaufnahme wurde die Blickbewegungsmethode genutzt. Eine Schwäche dieser Methode ist, dass zwar die Ausrichtung des Ortes des scharfen Sehens ermittelt werden kann, nicht aber, ob die aufgenommenen Informationen auch kognitiv weiterverarbeitet werden.

Bei Betrachtung der Fahrerreaktionen auf die Übernahmeaufforderung ist bemerkenswert, dass in den Situationen mit gestörter Querführung die Differenz zwischen wahrgenommener und erkannter Übernahmeaufforderung deutlich geringer ist (Quer-Gerade: 10 %, Quer-Kurve: 7 %) als in den Situationen mit gestörter Längsführung (Längs-LSA: 46 %, Längs-Gerade: 29 %). Dies lässt sich dadurch erklären, dass zur Übernahmeaufforderung neben dem erklärenden Text ein Lenkradsymbol verwendet wurde, was in Situationen mit Systemstörungen der Längsführung vermutlich weniger gut verstanden wurde als in Situationen mit Systemstörungen der Querführung. Dies zeigt, dass bei der Gestaltung einer Übernahmeaufforderung neben der guten Wahrnehmbarkeit auch auf eine gute Verständlichkeit geachtet werden muss.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Ziele der Studie erreicht wurden. Durch die Untersuchung von Systemverständnis, Situationsbewusstsein, Rückübernahme und subjektiver Bewertung konnten Erkenntnisse zum Umgang des Fahrers mit Systemstörungen bei teilautomatisierter manöverbasierter Fahrzeugführung gewonnen und daraus Gestaltungshinweise für die teilautomatisierte manöverbasierte Fahrzeugführung abgeleitet werden.

5.3. Ausblick

Die Versuche zeigen, dass die manöverbasierte Fahrzeugführung ein erfolgversprechendes Konzept darstellt. Bei allen Aufgaben, in denen der Fahrer aktiv einbezogen ist, weist er ein hohes Systemverständnis auf. Andererseits ist das Verständnis schlecht, wenn der Fahrer die Aufgabe eines passiven Überwachers einnimmt. Dies bedeutet für die Gestaltung manöverbasierter Fahrzeugführung, dass der Fahrer aktiv in alle Aufgaben einbezogen werden sollte, die nicht mit ausreichend hoher Zuverlässigkeit automatisiert werden können. Dazu könnte der Fahrer auch bei Überwachungsaufgaben, wie auch schon bei der Automatisierung von Manövern stärker in die Fahrzeugführung eingebunden werden, indem er beispielsweise aus der Umgebung übernommene Tempolimits durch eine Bedienhandlung bestätigt.

Die Versuche wurden mit Fahrern durchgeführt, die für die herkömmliche Fahrzeugführung ausgebildet wurden. Die Rolle der Überwachung eines automatisierten Systems gehört bisher nicht zum Bestandteil der Ausbildung. Es sollte untersucht werden, ob durch ein spezielles Training die Erkennung von und der Umgang mit Systemstörungen verbessert werden kann.

Die Untersuchungen zeigen, dass visuelle Übernahmeaufforderungen dem Fahrer in speziellen Situationen helfen können, die Fahrzeugführung zu übernehmen, Voraussetzung ist aber ausreichend Zeit zur Wahrnehmung und Verständnis der Übernahmeaufforderungen. Außerdem sollten Untersuchungen stattfinden, wie diese möglichst intuitiv verständlich gestaltet werden sollen.

Letztendlich sollte vor Einführung der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung eine umfassende Absicherung stattfinden. RESPONSE (2009) und Weitzel (2013) geben dazu Hinweise.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hierarchische 3-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführungsaufgabe (Donges, 1982).....	7
Abbildung 2: Prinzipien des Driver-in-Control-Modells nach Hollnagel et al. (2003).....	8
Abbildung 3: Mensch-Maschine-Regelkreis der Fahrzeugführung nach Bubb (1975) und Schlick, Bruder & Luczak (2010).....	11
Abbildung 4: Modell des Situationsbewusstseins nach Endsley (1988), Abbildung in Anlehnung an Jones & Endsley (2000).....	13
Abbildung 5: Modell menschlicher Verhaltensebenen (Rasmussen, 1983), Darstellung nach (Abendroth, 2001)	15
Abbildung 6: Beschreibung zweier Systeme mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden auf den verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung (Parasuraman et al., 2000)	18
Abbildung 7: Klasseneinteilung der Fahrerassistenzsysteme (Donges, 1999).....	19
Abbildung 8: Automatisierungsgrade automatisierten Fahrens (VDA, 2015).....	21
Abbildung 9: PRORETA 3: Funktionales Mensch-Maschine-System (Abbildung PRORETA 3-Systemarchitektur nach Hohm et al. (2014), Abbildung Situationsbewusstsein nach Jones & Endsley (2000), Abbildung 4-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführung nach Hollnagel et al. (2003))	30
Abbildung 10: Messung von Situationsbewusstsein nach Endsley & Jones (2012)	42
Abbildung 11: Ablauf einer erfolgreichen Übernahme der Fahrzeugführung durch den Fahrer im Falle einer Systemstörung.....	45
Abbildung 12: Teststrecke mit Versuchsaufbau.....	48
Abbildung 13: Systemstörung Längsführung auf Gerade (LG)	49
Abbildung 14: Systemstörung Längsführung an Lichtsignalanlage (LL).....	49
Abbildung 15: Systemstörung Querführung auf Gerade (QG).....	50
Abbildung 16: Systemstörung Querführung in Kurve (QK)	50
Abbildung 17: Bedienhebel zum Wechsel zwischen Kooperativer Automation und Safety Corridor sowie zur Eingabe der Wunschgeschwindigkeit	51
Abbildung 18: Manövereingabe per Fahrtrichtungsanzeiger-Hebel	51
Abbildung 19: Blaues Leuchtband bei aktiver Kooperativer Automation	51
Abbildung 20: Übernahmeaufforderung im Kombi-Display	52
Abbildung 21: Displayanzeige im Modus „Safety Corridor“ (Pfromm et al., 2015)	52

Abbildung 22: Anzeige im Modus „Kooperative Automation“: Aktives Manöver „Fahrstreifen folgen“ mit der Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels nach links (Pfromm et al., 2015)	52
Abbildung 23: Anzeige im Modus „Kooperative Automation“: Fahrstreifenwechsel nach links wird ausgeführt (Pfromm et al., 2015)	53
Abbildung 24: Anzeige im Modus „Kooperative Automation“: Abbiegemöglichkeiten an einer T-Kreuzung (Pfromm et al., 2015)	53
Abbildung 25: SMI Eye Tracking Glasses	53
Abbildung 26: Bild Fahrerkamera	53
Abbildung 27: Bild Pedalkamera	53
Abbildung 28: Probandenanzahl und Geschlechterverteilung in den einzelnen Versuchsgruppen	54
Abbildung 29: Selbstbeurteilung des Systemverständnisses ($N = 69$)	58
Abbildung 30: Genannte Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Automation in den Modi Safety Corridor und Kooperative Automation ($N = 68$)	60
Abbildung 31: Bewertung des Situationsbewusstseins mittels der SART-Methode (Skala von -14 bis 46, $N = 67$)	61
Abbildung 32: Anzahl der Fixationen der AOI in der Situation <i>Gerade</i> , $N = 42$	62
Abbildung 33: Anzahl der Fixationen der AOI in der Situation <i>Fahrbahnverengung</i> , $N = 42$	62
Abbildung 34: Anzahl der Fixationen der AOI in der Situation <i>Kurve</i> , $N = 42$	62
Abbildung 35: Subjektive Bewertungen der Fahrten in <i>Safety Corridor</i> und <i>Kooperative Automation</i> ($N = 68$)	64
Abbildung 36: Mit der RSME-Methode (Zijlstra, 1993) ermittelte Beanspruchung des Fahrers in den Modi <i>Safety Corridor</i> und <i>Kooperative Automation</i> (Skala von 0 bis 150, $N = 66$)	65
Abbildung 37: Anzahl der vom Fahrer erkannten Systemstörungen in den Systemstörungs-Situationen; in Klammern: Anzahl erkannte Systemstörungen / N	66
Abbildung 38: Vom Fahrer erkannte Systemstörungen in den Systemstörungs-Situationen in Abhängigkeit von der Position im Versuchsablauf; in Klammern: Anzahl erkannte Systemstörungen / N	67
Abbildung 39: Vom Fahrer erkannte Systemstörungen in den Systemstörungs-Situationen in Abhängigkeit von der Übernahmeaufforderung im HMI; in Klammern: Anzahl erkannte Systemstörungen / N	68
Abbildung 40: Vom Fahrer erkannte Übernahmeaufforderungen in den Systemstörungs-Situationen; in Klammern: Anzahl erkannte Übernahmeaufforderungen / N	69

Abbildung 41: Anteil der Fahrer, die während der Übernahmeaufforderung ins Kombi-Display blicken; in Klammern: Anzahl der Fahrer, die ins Kombi-Display blicken / N.....	70
Abbildung 42: Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer bei Systemstörung	71
Abbildung 43: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation <i>Längs-Gerade</i>	71
Abbildung 44: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation <i>Quer-Gerade</i>	71
Abbildung 45: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation <i>Quer-Kurve</i>	72
Abbildung 46: Fahrerreaktionen bei der Systemstörung in der Situation <i>Längs-LSA</i>	72
Abbildung 47: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation <i>Längs-Gerade</i>	73
Abbildung 48: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation <i>Quer-Gerade</i>	73
Abbildung 49: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation <i>Quer-Kurve</i>	73
Abbildung 50: Einfluss der Übernahmeaufforderung auf Erstreaktion in Situation <i>Längs-LSA</i>	73
Abbildung 51: Anzahl der Antworten auf die Frage, warum nicht reagiert bei Systemstörung <i>Längs- Gerade</i>	74
Abbildung 52: Anzahl der Antworten auf die Frage, warum nicht reagiert bei Systemstörung <i>Quer- Gerade</i>	74
Abbildung 53: Anzahl der Antworten auf die Frage, warum nicht reagiert bei Systemstörung <i>Quer- Kurve</i>	74
Abbildung 54: Zeit bis zur ersten Reaktion (Übernahme Längs- oder Querführung)	75
Abbildung 55: Auswirkung der Übernahmeaufforderung auf die Reaktionszeit.....	76
Abbildung 56: Anteil der Fahrer, die relevante Umgebungsinformationen in den Systemstörungs- Situationen wahrnehmen; in Klammern: Anzahl der Fahrer, die relevante Information wahrgenommen haben / N.....	77
Abbildung 57: Anteil der Fahrer, die die Entwicklung der Situation in den Systemstörungs-Situationen korrekt antizipieren; in Klammern: Anzahl der Fahrer, die Situation korrekt antizipieren / N.....	79
Abbildung 58: Bewertung des Situationsbewusstseins mit der SART-Methode im Modus „Kooperative Automation“ vor Eintreten der Systemstörung und nach Erleben der ersten Systemstörung (Skala von -14 bis 46)	80
Abbildung 59: Akzeptanz des Modus <i>Kooperative Automation</i> (1: niedrig bis 7: hoch, $N = 65$)	81
Abbildung 60: Mode-Awareness des Fahrers (1: niedrig bis 7: hoch, $N = 65$)	82
Abbildung 61: Vorhersehbarkeit der Kooperativen Automation durch den Fahrer (1: niedrig bis 7: hoch, $N = 65$)	82

Abbildung 62: Beurteilung der Kritikalität der Gesamtsituation (1: sehr kritisch, 4: sehr unkritisch)...83

Abbildung 63: Subjektive Bewertung der Systemstörung in den verschiedenen Systemstörungssituationen (1: sehr sicher bis 4: sehr unsicher, 1: sehr störend bis 4: gar nicht störend, 1: sehr gut kontrollierbar bis 4: gar nicht kontrollierbar)83

Abbildung 64: Subjektive Beurteilung der aus der Systemstörung resultierenden Situation (1: sehr sicher bis 4: sehr unsicher, 1: sehr einfach bis 4: sehr schwierig, 1: sehr gut kontrollierbar bis 4: gar nicht kontrollierbar)85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Funktionale Charakteristika der vier Ebenen des DiC-Modells (Hollnagel et al., 2003)	10
Tabelle 2: Allokation der Systemfunktionen zwischen Mensch (M) und Automation (A) in den Automatisierungsgraden 1 bis 10 nach Sheridan (1992).....	17
Tabelle 3: Automatisierungsgrade nach Flemisch et al. (2008), Beschreibung nach Damböck (2013) .	20
Tabelle 4: Automationsgrade nach Gasser et al. (2012)	21
Tabelle 5: Aufgabenteilung zwischen Mensch und Automation im Modus <i>Kooperative Automation</i> des PRORETA 3-Systems	28
Tabelle 6: Hypothesen zur Bewertung der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung	38
Tabelle 7: Hypothesen zum Systemverständnis bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung	39
Tabelle 8: Hypothesen zur Rückübernahme der Fahrzeugführung bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung	40
Tabelle 9: Hypothesen zum Situationsbewusstsein des Fahrers bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung	40
Tabelle 10: Hypothesen zur subjektiven Bewertung des Systems bei Systemstörungen der teilautomatisierten manöverbasierten Fahrzeugführung	41
Tabelle 11: Signifikanzstufen nach Zöfel (2003).....	47
Tabelle 12: Ablauf der Versuche	55
Tabelle 13: Versuchsplan.....	56

Literaturverzeichnis

- Abendroth, B. (2001). Gestaltungspotentiale für ein PKW-Abstandsregelsystem unter Berücksichtigung verschiedener Fahrer Typen. Stuttgart: Ergonomia-Verlag.
- Abendroth, B., Bruder, R., Fuchs, K. & Schramm, T. (2009). Beurteilung von Systemen im Fahrzeug – welche Messmethoden sind geeignet? Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 3, 223–231.
- Abendroth, B., Landau, K. & Weiße, J. (2012). Menschliche Anforderungen. In B. Breuer & K.H. Bill (Hrsg.), Bremsenhandbuch (S. 51–64). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Adams, M.J., Tenney, Y.J. & Pew, R.W. (1995). Situation Awareness and the Cognitive Management of Complex Systems. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 37 (1), 85–104.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. Automatica, 19 (6), 775–779.
- Banks, V.A. & Stanton, N.A. (2014). Hands and Feet Free Driving: Ready or Not? Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014, Kraków, Poland.
- Bauer, E., Lotz, F., Pfromm, M., Schreier, M., Abendroth, B., Cieler, S., Eckert, A., Hohm, A., Lüke, S., Rieth, P., Abendroth, B., Willert, V., Adamy, J., Bruder, R., Konigorski, U., Winner, H. (2012). PRORETA 3: An Integrated Approach to Collision Avoidance and Vehicle Automation. at - Automatisierungstechnik, 60 (12), 755–765.
- Bauer, E. (o. J.). Modellprädiktive integrale Trajektorienplanung für Fahrerassistenzsysteme. Dissertation (in Vorbereitung), Technische Universität Darmstadt.
- Baumann, M., Petzoldt, T. & Krems, J. (2006). Situation Awareness beim Autofahren als Verstehensprozess. MMI-Interaktiv Nr. 11, Dezember 2006, 43–57.
- Becker, J. (2016). Diese Woche: Wiener Konvention. sueddeutsche.de. Zugriff am 27.05.2016. Verfügbar unter: <http://www.sueddeutsche.de/auto/diese-woche-wiener-konvention-1.2936198>
- Bedny, G. & Meister, D. (1999). Theory of Activity and Situation Awareness. International Journal of Cognitive Ergonomics, 3 (1), 63–72.
- Beller, J., Heesen, M. & Vollrath, M. (2013). Improving the Driver-Automation Interaction: An Approach Using Automation Uncertainty. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 55 (6), 1130–1141.
- Bender, E. (2008). Handlungen und Subjektivurteile von Kraftfahrzeugführern bei automatischen Brems- und Lenkeingriffen eines Unterstützungssystems zur Kollisionsvermeidung. Stuttgart: Ergonomia-Verlag.

-
- Benmimou, A., Lawson, M., Marques, A., Giustiniani, G. & Parent, M. (2009). Demonstration of Advanced Transport Applications in CityMobil Project. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2110, 9–17.
- Bernhart, D.W. (2015). Automatisiertes Fahren — Evolution statt Revolution. *ATZextra*, 20 (7), 12–17.
- Bernotat, R. (1970). Plenary Session: Operation Functions in Vehicle Control. *Ergonomics*, (13 (1970) 3), 353–377.
- van den Beukel, A.P. & van der Voort, M.C. (2013a). The Influence of Time-criticality on Situation Awareness when Retrieving Human Control after Automated Driving. *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, The Hague.
- van den Beukel, A.P. & van der Voort, M.C. (2013b). *Retrieving Human Control After Situations of Automated Driving: How to Measure Situation Awareness (Lecture Notes in Mobility)*. (J. Fischer-Wolfarth & G. Meyer, Hrsg.). Heidelberg: Springer International Publishing.
- BGBI. (1977). Gesetz zu den Übereinkommen vom 8. November 1968 über den Straßenverkehr und über Straßenverkehrszeichen, zu den Europäischen Zusatzübereinkommen vom 1. Mai 1971 zu diesen Übereinkommen sowie zum Protokoll vom 1. März 1973 über Straßenmarkierungen. *Bundesgesetzblatt Teil II*, (39), 809.
- Billings, C.E. (1996). *Human-centered aviation automation: Principles and guidelines*. National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center. Zugriff am 23.9.2015. Verfügbar unter: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19960016374.pdf>
- Billings, C.E. (1997). *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach*. Mahwah, N.J: CRC Press.
- Blanco, M., Atwood, J., Vasquez, H.M., Trimble, T.E., Fitchett, V.L., Radlbeck, J. et al. (2015). Human Factors Evaluation of Level 2 and Level 3 Automated Driving Concepts. Zugriff am 15.6.2016. Verfügbar unter: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1367054>
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Braess, H. & Donges, E. (2006). *Technologien zur aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen (Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, 4.-5.4.2006 München)*.
- Brookhuis, K.A., van Driel, C.J.G., Hof, T., van Arem, B. & Hoedemaeker, M. (2009). Driving with a congestion assistant; mental workload and acceptance. *Applied Ergonomics*, 40 (6), 1019–1025.
- Bruder, R., Abendroth, B. & Landau, K. (2007). Zum Nutzen von Fahrversuchen für die Gestaltung. In R. Bruder & H. Winner (Hrsg.), *Wie objektiv sind Fahrversuche? Darmstädter Kolloquium*

-
- Mensch & Fahrzeug, Technische Universität Darmstadt, 14./15. März 2007 (S. 79–93). Stuttgart: Ergonomia-Verlag.
- Bruder, R., Kauer, M. & Franz, B. (2014). Von Conduct-by-Wire zu einer kooperativen Fahrzeugführung - Nutzerzentrierte Evaluation der manöverbasierten Fahrzeugführung und Weiterentwicklung der Interaktion (Ergebnisbericht zum Forschungsvorhaben mit dem DFG-Geschäftszeichen BR 3544/1-2).
- Bubb, H. (1975). Untersuchung über die Anzeige des Bremsweges im Kraftfahrzeug. Dissertation, Technische Universität München.
- Bubb, H. (2002). Umsetzung psychologischer Forschungsergebnisse in die ergonomische Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, (Heft 01), 8–15.
- Bubb, H. (2003a). Fahrerassistenz - primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? VDI-Berichte, (1768).
- Bubb, H. (2003b). Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen? (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik). In K. Landau & H. Winner (Hrsg.), Fahrversuche mit Probanden - Nutzwert und Risiko: Darmstädter Kolloquium Mensch & Fahrzeug, Technische Universität Darmstadt, 3./4. April 2003 (S. 26–39). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Buld, S., Krüger, H.-P., Hoffmann, S., Kausser, A., Tietze, H. & Totzke, I. (2002). Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit: Projekt: EMPHASIS, Effort-Management und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen; Abschlussbericht.
- Cebr. (2014). The future economic and environmental costs of gridlock in 2030. London. Zugriff am 8.9.2015. Verfügbar unter: http://inrix.com/wp-content/uploads/2015/08/Whitepaper_Cebr-Cost-of-Congestion.pdf
- Cieler, S., Konigorski, U., Lüke, S. & Winner, H. (2014). Projekt Proreta 3 Sicherheit und Automation mit Assistenzsystemen. ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift, 116 (10), 20–27.
- Cottrell, N.D. & Barton, B.K. (2013). The role of automation in reducing stress and negative affect while driving. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 14 (1), 53–68.
- Damböck, D. (2013). Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme. Dissertation, Technische Universität München.
- Damböck, D., Farid, M., Tönert, L. & Bengler, K. (2012). Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren. München: Technische Universität München. Zugriff am 21.6.2015. Verfügbar unter: http://www.ftm.mw.tum.de/uploads/media/24_Damboeck.pdf

-
- Damböck, D., Kienle, M. & Bengler, K. (2010). Die Zügel fest in der Hand halten – Automationsgradumschaltung durch Griffkraftmessung. Gehalten auf der VDI-Kongress, Useware.
- Damböck, D., Weißgerber, T., Kienle, M. & Bengler, K. (2013). Requirements for Cooperative Vehicle Guidance. Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013) (S. 1656–1661), The Hague.
- Debus, T. (2015, Dezember 2). Neue E-Klasse von Mercedes: Fahren im E-Netz. Frankfurter Allgemeine Zeitung. Zugriff am 27.05.2015. Verfügbar unter: <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/auto-verkehr/neue-mercedes-benz-e-klasse-mit-drive-pilot-im-test-13937318.html>
- Deutschle, D.-I.S., Kessler, D.-I.G.C., Lank, D.-I.C., Hoffmann, G., Hakenberg, D.-I.M. & Brummer, D.-I.F.M. (2010). Einsatz elektronisch gekoppelter Lkw-Konvois auf Autobahnen. ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift, 112 (7–8), 570–575.
- Donges, E. (1982). Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. Automobil-Industrie, 27 (2), 183–190.
- Donges, E. (1999). A Conceptual Framework for Active Safety in Road Traffic. Vehicle System Dynamics, 32 (2–3), 113–128.
- Donges, E. (2008). Fahrerhaltensmodelle. Handbuch Fahrerassistenzsysteme (S. 15–23). Wiesbaden: Vieweg, F.
- Duden. (2016). Duden | Sys-tem | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme, Herkunft. Zugriff am 15.6.2016. Verfügbar unter: <http://www.duden.de/rechtschreibung/>
- DVR. (2015). Neue Fahrerassistenzsysteme machen das Fahren immer sicherer. Zugriff am 8.9.2015. Verfügbar unter: <http://www.dvr.de/presse/informationen/4160.htm>
- Endsley, M.R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Band 32, S. 97–101). SAGE Publications.
- Endsley, M.R. (2006). Situation Awareness. In G. Salvendy (Hrsg.), Handbook of human factors and ergonomics (S. 528–542). Hoboken and N.J.: John Wiley.
- Endsley, M.R. & Garland, D.J. (2000). Situation awareness analysis and measurement. CRC Press.
- Endsley, M.R. & Jones, D.G. (2012). Designing for situation awareness an approach to user-centered design. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. Ergonomics, 42 (3), 462–492.

-
- Endsley, M.R. & Kiris, E.O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 (2), 381–394.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using SPSS (4th Edition.)*. Los Angeles: Sage Publications Ltd.
- Fisher, R.A. (1922). On the Interpretation of χ^2 from Contingency Tables, and the Calculation of P. *Journal of the Royal Statistical Society*, 85 (1), 87–94.
- Flemisch, F., Griesche, S., Heesen, M., Kaussner, A., Niemann, J., Petermann, I. et al. (2009). HAVEit Deliverable D33.3 - Validation of preliminary design by simulation. Verfügbar unter: http://haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEit_212154_D33.3_Superfinal.pdf
- Flemisch, F., Schieben, A., Kelsch, J. & Löper, C. (2008). Automation spectrum, inner/outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation. *Human factors for assistance and automation*. Zugriff am 25.9.2015. Verfügbar unter: <http://elib.dlr.de/57625/>
- Flemisch, F., Winner, H., Bruder, R. & Bengler, K. (2015). Kooperative Fahrzeugführung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Flemisch, F.O., Adams, C.A., Conway, S.R., Goodrich, K.H., Palmer, M.T. & Schutte, P. (2003). The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction.
- Franz, B. (2014). Entwicklung und Evaluation eines Interaktionskonzepts zur manöverbasierten Führung von Fahrzeugen. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Fujioka, T. & Muramatsu, K. (1996). Driver's behavior in ITS environment investigated by a driving simulator, 295–299.
- Furukawa, H., Inagaki, T., Shiraishi, Y. & Watanabe, T. (2003). Mode-Awareness of a dual-mode adaptive cruise control system. *Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on* (Band 1, S. 832–837).
- Gasser, T., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J. et al. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung: Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe; [Bericht zum Forschungsprojekt F 1100.5409013.01] (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen Fahrzeugtechnik (F)) (Band 83). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wiss.
- Geyer, S. (2013). Entwicklung und Evaluierung eines kooperativen Interaktionskonzepts an Entscheidungspunkten für die teilautomatisierte, manöverbasierte Fahrzeugführung. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.

-
- Google. (2015). Google Self-Driving Car Project - Monthly Report September 2015. Zugriff am 07.10.2015 Verfügbar unter: www.google.com/de//selfdrivingcar/files/reports/report-0915.pdf
- Gründl, M. (2005). Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotential und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen. Dissertation, Universität Regensburg.
- Hahn, S. (1993). Switching Between Autonomous And Conventional Car Driving A Simulator Study. Intelligent Vehicles '93 Symposium (S. 25–30). Gehalten auf der Intelligent Vehicles '93 Symposium.
- Hakuli, D.-I.S., Geyer, D.-I.S., Winner, P.D.H. & Henning, D.-I.J. (2011). Integriertes Konzept für die manöverbasierte Fahrerassistenz. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, 113 (3), 220–223.
- Hakuli, S., Bruder, R., Flemisch, F.O., Löper, C., Rausch, H., Schreiber, M. et al. (2012). Kooperative Automation (Kraftfahrzeugtechnik). In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme (S. 641–650). Wiesbaden: Vieweg & Teubner.
- Heesen, M., Kelsch, J., Löper, C. & Flemisch, F. (2010). Haptischmultimodale Interaktion für hochautomatisierte, kooperative Fahrzeugführung bei Fahrstreifenwechsel-, Brems- und Ausweichmanövern. Braunschweiger Symposium Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET), Braunschweig. Zugriff am 10.11.2013. Verfügbar unter: <http://elib.dlr.de/63247/1/100216Heesen-DLR-ITS-AAET2010.pdf>
- Hoess, A., Zeng, H. & Hoeger, R. (2011). HAVEit Final Report (No. Deliverable D61.1).
- Hohm, A., Lotz, F., Fochler, O., Lueke, S. & Winner, H. (2014). Automated Driving in Real Traffic: from Current Technical Approaches towards Architectural Perspectives.
- Hollnagel, E., Nabo, A. & Lau, I.V. (2003). A systemic model for driver-in-control. second international driving symposium on human factors in driver assessment, training and vehicle design (S. 86–91). Zugriff am 26.10.2013. Verfügbar unter: http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2003/pdf/23_Hollnagelformat.pdf
- Houck, M. & Waag, W. (1994). Tools for Assessing Situational Awareness in an Operational Fighter Environment. Aviation, Space and Environmental Medicine, 65 (5), A13–A19.
- Hughes, E.R. & Vidulich, M.A. (1991). Testing a Subjective Metric of Situation Awareness. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 35 (18), 1307–1311.
- Hussy, W. & Jain, A. (2002). Experimentelle Hypothesenprüfung in der Psychologie. Göttingen: Hogrefe, Verl. für Psychologie.
- INVENT. (2005). Gemeinsamer öffentlicher Abschlussbericht der Projektpartner. Zugriff am 15.6.2016. Verfügbar unter: <http://www.invent-online.de/index.html>

-
- ISO 15007-1:2002 (2002). Straßenfahrzeuge - Messung des Blickverhaltens von Fahrern bei Fahrzeugen mit Fahrerinformations- und -assistenzsystemen - Teil 1: Begriffe und Parameter (Band ICS 43.040.30). Berlin: Beuth.
- Jeannot, E., Kelly, C. & Thompson, D. (2003). The Development of Situation Awareness Measures in ATM Systems. (European organisation for the safety of air navigation, Hrsg.). Eurocontrol.
- Jones, D.G. & Endsley, M.R. (2000). Overcoming representational errors in complex environments. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 42 (3), 367–378.
- Kauer, M. (2012). Identification as Determining Factor of Technology Acceptance for Hedonic and Dual Use Products (Dissertation). Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Kauer, M., Theuerling, H. & Bruder, R. (2013). The importance of identification for the acceptance of consumer electronics on the example of the Wii. *Behaviour & Information Technology*, 32 (4), 344–358.
- Kienle, M.M. (2015). Kooperative Interaktionskonzepte zum Fahren eines teilautomatisierten Fahrzeugs. Dissertation, Technische Universität München.
- Knothe, D.-I.F., Mast, D.-W.-I. (FH) J., Böttger, D.-W.-I.M.S.M., Pfeiffer, P.P., Futschik, D.-D.H.-P., Hutzenlaub, D.-D.D.-I.H. et al. (2006). Die neue CL-Klasse von Mercedes-Benz. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 108 (10), 800–813.
- König, W. (2009). Nutzergerechte Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 33–42). Vieweg+Teubner.
- Kotte, J., Huang, Q. & Zlocki, A. (2012). Impact of platooning on traffic efficiency. Gehalten auf der 19th ITS World Congress, Vienna, Austria.
- Kruskal, W.H. & Wallis, W.A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47 (260), 583–621.
- Landau, K. (2002). Usability criteria for intelligent driver assistance systems. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (4), 330–345.
- Larsson, A.F.L. (2012). Driver usage and understanding of adaptive cruise control. *Applied ergonomics*, 43 (3), 501–506.
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. *Contributions to probability and statistics: Essays in honor of Harold Hotelling* (Band 2, S. 278–292). Stanford University Press.
- Lio, M.D., Biral, F., Galvani, M. & Saroldi, A. (2012). Will intelligent vehicles evolve into Human-peer Robots? *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2012 IEEE (S. 304–309).

-
- Lotz, F. (o. J.). Entwicklung einer Referenzarchitektur für die assistierte und automatisierte Fahrzeugführung mit Fahrereinbindung. Dissertation (in Vorbereitung), Technische Universität Darmstadt.
- Lüke, S., Fochler, O., Schaller, T. & Regensburger, U. (2015). Stauassistentz und -automation. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme (S. 995–1007). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Mann, H.B. & Whitney, D.R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The annals of mathematical statistics*, 50–60.
- Marienfild, H. (1970). Modelle für den Regler „Mensch“. In W. Oppelt & G. Vossius (Hrsg.), *Der Mensch als Regler*. Berlin: VEB Verlag Technik.
- McKnight, A.J. & Adams, B.B. (1970a). Driver Education Task Analysis. Volume II: Task Analysis Methods. Washington: National Highway Traffic Safety Administration. Zugriff am 25.5.2015. Verfügbar unter: <http://eric.ed.gov/?id=ED075624>
- McKnight, A.J. & Adams, B.B. (1970b). Driver Education Task Analysis. Volume I: Task descriptions. Washington: National Highway Traffic Safety Administration.
- McKnight, A.J. & Hundt, A.G. (1971a). Driver Education Task Analysis. Volume III: Instructional Objectives. Washington: National Highway Traffic Safety Administration. Zugriff am 15.9.2015. Verfügbar unter: <http://eric.ed.gov/?id=ED072249>
- McKnight, A.J. & Hundt, A.G. (1971b). Driver Education Task Analysis. Volume IV: The Development of Instructional Objectives. Washington: National Highway Traffic Safety Administration. Zugriff am 15.9.2015. Verfügbar unter: <http://eric.ed.gov/?id=ED075623>
- Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? Springer. Zugriff am 26.7.2014. Verfügbar unter: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-2173-6_19
- Naujoks, F., Mai, C. & Neukum, A. (2014). The Effect of Urgency of Take-Over Requests During Highly Automated Driving Under Distraction Conditions. Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014. Gehalten auf der AHFE 2014, Kraków, Poland.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Neukum, A., Lübbecke, T., Krüger, H.-P., Mayser, C. & Steinle, J. (2008). ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen (S. 141–150). Gehalten auf der 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme - FAS 2008, Walting im Altmühltal.

-
- NHTSA. (2013). U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development. Zugriff am 15.6.2016. Verfügbar unter: <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development>
- Niederée, U. & Vollrath, M. (2009). Systemausfälle bei Längsführungsassistenten - Sind bessere Systeme schlechter? (Berichte aus dem Zentrum Mensch-Maschine-Systeme der Technischen Universität Berlin). In A. Lichtenstein, C. Stößel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme* (Band 29, S. 38–43). VDI-Verlag.
- Nilsson, J., Strand, N., Falcone, P. & Vinter, J. (2013). Driver performance in the presence of adaptive cruise control related failures: Implications for safety analysis and fault tolerance. *Dependable Systems and Networks Workshop (DSN-W), 2013 43rd Annual IEEE/IFIP Conference* (S. 1–10).
- Nothdurft, T., Hecker, P., Ohl, S., Saust, F., Maurer, M., Reschka, A. et al. (2011). Stadtpilot: First fully autonomous test drives in urban traffic. *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference* (S. 919–924).
- Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C.D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 30 (3), 286–297.
- Pearson, K. (1900). On the criterion that a given system of derivations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 50 (5), 157–175.
- Petermann, D.-P.I. & Kiss, M. (2010). Die Rolle des Fahrers im Spektrum von Automation und Transition. *ATZextra*, 15 (2), 90–95.
- Pfromm, M., Cieler, S. & Bruder, R. (2013). Driver Assistance via Optical Information with Spatial Reference. *Proceedings of the 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, The Hague, Oktober 2013*. (S. 2006–2011).
- Pfromm, M., Cieler, S. & Bruder, R. (2015). Auslegung und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für ein umfassendes Fahrerassistenzkonzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, (2), 71–80.
- Pfromm, M., Khan, R., Oppelt, S., Abendroth, B. & Bruder, R. (2015). Investigation of Take-Over Performance of Driving Tasks by the Driver due to System Failure of Semi-Automated and Assisted Driving. *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA* (Band 9, S. 14).

-
- Pritchett, A.R. & Hansman. (2000). Use of Testable Responses for PerformanceBased Measurement of Situation Awareness. In M.R. Endsley & D.J. Garland (Hrsg.), Situation awareness analysis and measurement (S. 189–209). CRC Press.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (3), 257–266.
- Reinisch, R. (2010). Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- RESPONSE. (2009). *Code of Practice for the Design and Evaluation of ADAS*. RESPONSE 3: a PREVENT Project. Zugriff am 14.10.2015. Verfügbar unter: https://www.acea.be/uploads/publications/20090831_Code_of_Practice_ADAS.pdf
- Rowsome, F. (1958). What it's Like to Drive an Auto-Pilot Car. *Popular Science*, 4, 105-107-250.
- Salmon, P.M. (Hrsg.). (2009). Distributed situation awareness: theory, measurement and application to teamwork (Human factors in defence). Farnham, England ; Burlington, VT: Ashgate.
- Salmon, P.M., Stanton, N.A., Walker, G.H., Jenkins, D., Ladva, D., Rafferty, L. et al. (2009). Measuring Situation Awareness in complex systems: Comparison of measures study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39 (3), 490–500.
- Sarter, N.B. & Woods, D.D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 (1), 5–19.
- Sarter, N.B., Woods, D.D. & Billings, C.E. (1997). Automation surprises. *Handbook of human factors and ergonomics*, 2, 1926–1943.
- Schaller, T., Schiehlen, J. & Gradenegger, B. (2008). Stauassistentz - Unterstützung des Fahrers in der Quer- und Längsführung. Tagung aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz 2008.
- Schieben, A.M. & Flemisch, F. (2008). Who is in control? Exploration of transitions of control between driver and an eLane vehicle automation. In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), VDI-Berichte 2048 (Band 2048, S. 455–469). Gehalten auf der Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, Wolfsburg: VDI Verlag.
- Schlag, B. & Megel, K. (Hrsg.). (2002). *Mobilität und gesellschaftliche Partizipation im Alter* (Schriftenreihe des Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend). Stuttgart: W. Kohlhammer.
- Schlick, C.M., Bruder, R. & Luczak, H. (2010). *Arbeitswissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

-
- Schreiber, M. (2012). Konzeptionierung und Evaluierung eines Ansatzes zu einer manöverbasierten Fahrzeugführung im Nutzungskontext Autobahnfahrten. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Schreiber, M., Kauer, M., Hakuli, S. & Bruder, R. (2010). Conduct-by-Wire: Evaluation von teilautonomer Fahrzeugführung mit Hilfe der Wizard of Oz-Technik. Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten (S. 161–165). Dortmund: GFA-Press.
- Schreier, M. (2015). Bayesian Environment Representation, Prediction, and Criticality Assessment for Driver Assistance Systems. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Schweigert, M. (2003). Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben. Dissertation, Technische Universität München.
- SECONDS. (2013). interactive - Accident avoidance by intervention for Intelligent Vehicles. Zugriff am 7.10.2015. Verfügbar unter: <http://www.interactive-ip.eu/project/subprojects/SECONDS.html>
- Seeck, A. (2015). Euro NCAP und die Bewertung von eingreifenden Notfallfunktionen – Erste Schritte auf dem Weg zur Automatisierung. Gehalten auf der 12. Kooperationsforum Fahrerassistenzsysteme – Mehr Sicherheit durch Automatisiertes Fahren, Aschaffenburg.
- Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3/4), 591–611.
- Sheridan, T.B. (1992). *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. M.I.T. Press, 12 (3), 7.
- Sheridan, T.B. & Verplank, W. (1978). *Human and computer control of undersea teleoperators*. Cambridge, MA: Man-Machine Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering.
- Shladover, S. (2009). Cooperative (rather than autonomous) vehicle-highway automation systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 1 (1), 10–19.
- Smith, B.W. (2013). SAE Levels of Driving Automation | Center for Internet and Society. Zugriff am 15.12.2015. Verfügbar unter: <http://cyberlaw.stanford.edu/loda>
- Smith, K. & Hancock, P.A. (1995). Situation Awareness Is Adaptive, Externally Directed Consciousness. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 (1), 137–148.
- Spring, P.A. (2011). *Levels of Train Automation: Classification and Determining their Impact on Driver Mental Workload and Vigilance Task Performance*. Australia: The University of New South Wales.
- Stanton, N.A., Young, M. & McCaulder, B. (1997). Drive-by-wire: The case of driver workload and reclaiming control with adaptive cruise control. *Safety Science*, 27 (2–3), 149–159.
- Statistisches Bundesamt. (2015). *Fachserie 8 Reihe 7 - Verkehrsunfälle 2014*. Wiesbaden.

-
- Stiller, C. (2005). Fahrerassistenzsysteme - Von realisierten Funktionen zum vernetzt wahrnehmenden, selbstorganisierenden Verkehr. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.), Fahrer-Assistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung (S. 1–20). Berlin and Heidelberg and New York: Springer.
- Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, I.C.M. & Nilsson, L. (2014). Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, 218–228.
- Student. (1908). The Probable Error of a Mean. *Biometrika*, 6 (1), 1.
- Taylor, R.M. (1990). Situation awareness rating technique (SART): The development of a tool for aircrew system design. *Situational Awareness in Aerospace Operations (AGARD-CP-478)*. Neuilly Sur Seine, France.
- Tesla. (2015). Your Autopilot has arrived | Tesla Motors. Zugriff am 13.11.2015. Verfügbar unter: <http://www.teslamotors.com./blog/your-autopilot-has-arrived>
- Toffetti, A., Wilschut, E., Martens, M., Schieben, A., Rambaldini, A., Merat, N. et al. (2009). CityMobil: Human Factor Issues Regarding Highly Automated Vehicles on eLane. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2110, 1–8.
- Tönert, L., Farid, M., Bengler, K. & Schneller, R. (2011). Wahrnehmungs- und Verhaltensleistung des Fahrers bei einem Fahrzeug-Abdrift mit teil-automatisierter Querführung in unterschiedlich kritischen Fahrsituationen: Methodischer Ansatz für eine Absicherung der Beherrschbarkeit hochautomatisierter Systeme (VDI-Berichte). In *Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), Der Fahrer im 21. Jahrhundert (Band 2134)*. VDI-Verlag.
- VDA. (2015). Automatisiertes Fahren. Zugriff am 15.6.2016. Verfügbar unter: <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren.html>
- Vidulich, M.A. & Hughes, E.R. (2000). Testing the sensitivity of situation awareness metrics in interface evaluations. In M.R. Endsley & D.J. Garland (Hrsg.), *Situation awareness analysis and measurement*. CRC Press. Zugriff am 1.10.2015.
- Vollrath, M., Briest, S., Schießl, C., Drewes, J. & Becker, U. (2006). Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit (F, Fahrzeugtechnik) (Band 60). Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wissenschaft.
- Waard, D. de, Hulst, M. van der, Hoedemaeker, M. & Brookhuis, K.A. (1999). Driver Behavior in an Emergency Situation in the Automated Highway System. *Transportation Human Factors*, 1 (1), 67–82. doi:10.1207/sthf0101_7

-
- Wallentowitz, H. & Neunzig, D. (2005). Fahrerassistenzsysteme für ältere Menschen (Mobilität und Alter). In W. Echterhoff (Hrsg.), Strategien zur Sicherung der Mobilität älterer Menschen (Band 1, S. 117–133). Köln: TÜV-Verlag.
- Weitzel, D.A. (2013). Objektive Bewertung der Kontrollierbarkeit nicht situationsgerechter Reaktionen umfeldsensorbasierter Fahrerassistenzsysteme (Dissertation). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Winner, H., Hakuli, S., Bruder, R., Konigorski, U. & Schiele, B. (2006). Conduct-by-Wire - ein neues Paradigma für die Weiterentwicklung der Fahrerassistenz (S. 112–125). Gehalten auf dem Workshop Fahrerassistenzsysteme, Walting.
- Winner, H., Lotz, F., Bauer, E., Konigorski, U., Schreier, M., Adamy, J. et al. (2015). PRORETA 3: Comprehensive Driver Assistance by Safety Corridor and Cooperative Automation. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), Handbook of Driver Assistance Systems (S. 1–17). Cham: Springer International Publishing.
- Winterhoff, M., Kahner, C., Ulrich, C., Sayler, P. & Wenzel, E. (2009). Zukunft der Mobilität 2020. Arthur D. Little. Verfügbar unter: http://www.adlittle.de/uploads/tx_extthoughtleadership/ADL_Zukunft_der_Mobilitaet_2020_Langfassung.pdf
- World Health Organization (Hrsg.). (2013). Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Young, L.R. & Sheena, D. (1975). Survey of eye movement recording methods. Behavior research methods & instrumentation, 7 (5), 397–429.
- Zheng, P., Jeffery, D. & McDonald, M. (2010). Traffic operations from open to dedicated e-Lane. 2010 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (S. 968–973).
- Ziegler, J., Bender, P., Lategahn, H., Schreiber, M., Strauss, T. & Stiller, C. (2014). Kartengestütztes automatisiertes Fahren auf der Bertha-Benz-Route von Mannheim nach Pforzheim. Fahrerassistenzworkshop UniDAS, Walting. Zugriff am 7.10.2015. Verfügbar unter: <http://www.mrt.kit.edu/z/publ/download/2014/ZieglerBenderLategahnSchreiberStraussDangStiller2014fas.pdf>
- Zijlstra, F. (1993). Efficiency in work behaviour: a design approach for modern tools. Delft: Delft University Press.
- Zöfel, P. (2003). Statistik für Psychologen. München [u.a.]: Pearson Studium.
- Zöllner, I.M. (2015). Analyse des Einflusses ausgewählter Gestaltungsparameter einer Fahrsimulation auf die Fahrerhaltensvalidität. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.

Anhang

In der Untersuchung verwendete Fragebögen

Angaben zur Person

Probanden ID: _____ **Datum:** _____ **Szenario:** A B C D

Bitte den Fragebogen zu Beginn des Fahrversuches ausfüllen:		
0.1	Geschlecht	weiblich <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/>
0.2	Geburtsjahr	19 ____
0.3	Welche gültige Fahrerlaubnis besitzen Sie? Seit wann?	PKW <input type="checkbox"/> seit: _____ LKW über 7,5T <input type="checkbox"/> seit: _____ Motorrad <input type="checkbox"/> seit: _____
0.4	Wie viele Kilometer fahren Sie etwa pro Jahr?	0 – 5 000 km <input type="checkbox"/> 5 000 – 10 000 km <input type="checkbox"/> 10 000 – 20 000 km <input type="checkbox"/> 20 000 – 30 000 km <input type="checkbox"/> 30 000 – 40 000 km <input type="checkbox"/> über 40 000 km <input type="checkbox"/>
0.5	Wie regelmäßig fahren Sie einen PKW?	täglich <input type="checkbox"/> mehrmals pro Woche <input type="checkbox"/> mehrmals pro Monat <input type="checkbox"/> seltener <input type="checkbox"/>
0.6	Wie verteilen sich Ihre Fahrten ungefähr zeitlich?	Stadt: ____% Landstraße: ____% Autobahn: ____%
0.7	Haben Sie schon einmal an einem Fahrsicherheitstraining teilgenommen?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
0.8	Benötigen Sie eine Sehhilfe?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
0.9	Mit welchen Fahrassistenzsystemen haben Sie Erfahrung?	
0.10	Welche Fahrerassistenzsysteme benutzen Sie regelmäßig?	
0.11	Wie oft benutzen sie diese Fahrassistenzsysteme?	nie <input type="checkbox"/> täglich <input type="checkbox"/> gelegentlich <input type="checkbox"/> seltener <input type="checkbox"/>

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte beantworten Sie die unten aufgeführten Fragen.		
1.1	<p>Mir ist bewusst, welche Aufgaben ich selbst im Modus Sicherheitskorridor übernehmen muss.</p> <p>Diese sind:</p>	<p>trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu</p> <p>_____</p>
1.2	<p>Mir ist bewusst, welche Aufgaben das System im Modus Sicherheitskorridor ausführt.</p> <p>Diese sind:</p>	<p>trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu</p> <p>_____</p>
1.3	<p>Ich hatte während der Fahrt Vertrauen in das System.</p> <p>Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?</p>	<p>trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu</p> <p>_____</p>
1.4	<p>Ich habe mich während der Fahrt sicher gefühlt.</p> <p>Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?</p>	<p>trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu</p> <p>_____</p>
1.5	<p>Ich hatte das Gefühl, stets die Kontrolle über das Fahrzeug zu haben.</p> <p>Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?</p>	<p>trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu</p> <p>_____</p>
1.6	<p>Ich wusste während des gesamten Durchlaufs, wie das System zu bedienen ist.</p> <p>Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?</p>	<p>trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu</p> <p>_____</p>
1.7	<p>Ich habe die Informationen im Display stets verstanden und konnte diese interpretieren.</p> <p>Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?</p>	<p>trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu</p> <p>_____</p>

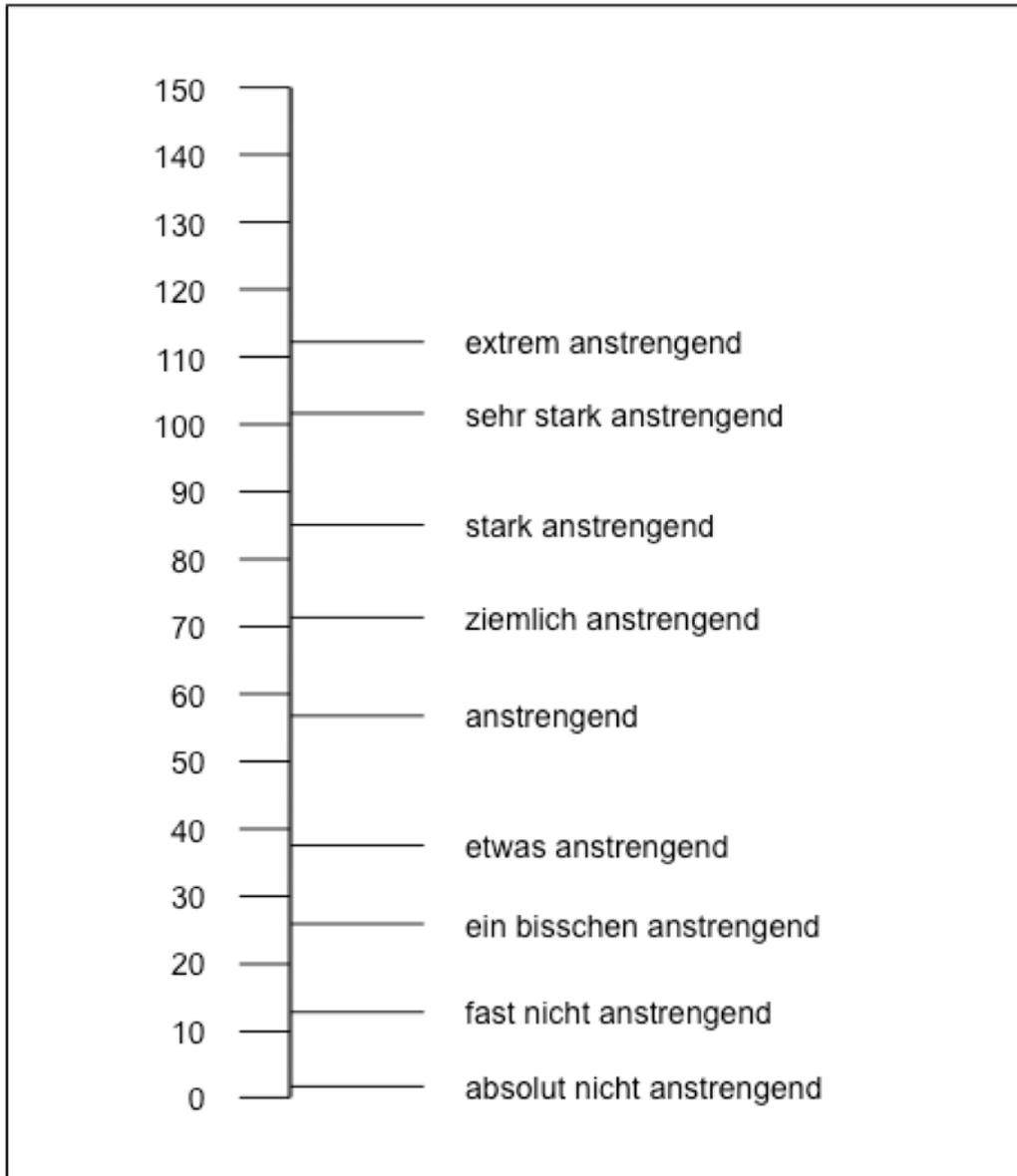
Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beurteilen Sie bitte die letzte Runde (Fahrt im Modus Safety Corridor)		
2.1	Veränderlichkeit: Wie veränderlich war die letzte Runde der Fahrt? War sie veränderlich mit spontanen Wechslen (hoch) oder war sie unveränderlich (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.2	Komplexität: Wie komplex war die letzte Runde der Fahrt? War diese komplex (hoch) oder war sie einfach und unkompliziert (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.3	Variabilität: Wie viele Faktoren änderten sich in der letzten Runde der Fahrt? Gab es viele sich ändernde Faktoren (hoch) oder nur wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.4	Reaktionsbereitschaft: Wie reaktionsbereit waren Sie in der letzten Runde der Fahrt? Waren Sie bereit zu handeln (hoch) oder hatten sie ein niedriges Level an Reaktionsbereitschaft (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.5	Konzentrationsfähigkeit: Wie stark haben Sie sich auf die Fahrt der letzten Runde konzentriert? Haben Sie sich stark konzentriert (hoch) oder nur gering (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.6	Verteilung der Aufmerksamkeit: Wie war Ihre Aufmerksamkeit in der letzten Runde der Fahrt verteilt? Haben Sie sich auf viele Aspekte konzentriert(hoch) oder nur auf wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.7	Ungenutzte geistige Kapazitäten: Wieviel geistige Kapazität hatten Sie noch während der letzten Runde der Fahrt frei? Hatten Sie genug Kapazität frei um viele Faktoren zu beachten d.h. „den Kopf frei“ (hoch) oder nur wenige d.h. „den Kopf voll“ (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.8	Informationsquantität: Wie viele Informationen haben Sie in der letzten Runde der Fahrt aufgenommen? Haben Sie viele Informationen aufgenommen (hoch) oder wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.9	Informationsqualität: Wie hilfreich empfanden Sie die aufgenommenen Informationen in der letzten Runde der Fahrt? Waren diese hilfreich (hoch) oder nutzlos (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
2.10	Situationsvertrautheit: Wie vertraut waren Sie mit der Fahrt der letzten Runde? Konnten Sie auf bereits gemachte Erfahrungen zurückgreifen (hoch) oder war Ihnen die Situation neu (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch

RSME-SC

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte geben Sie Ihren Eindruck der letzten Runde wieder, indem Sie einen Wert von 0 bis 150 auf der Linie markieren.



SV-KA

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte beantworten Sie die unten aufgeführten Fragen.		
4.1	Mir ist bewusst, welche Aufgaben ich selbst im Modus Kooperative Automation übernehmen muss. Diese sind:	trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu _____
4.2	Mir ist bewusst, welche Aufgaben das System im Modus Kooperative Automation ausführt. Diese sind:	trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu _____
4.3	Ich hatte während der Fahrt Vertrauen in das System. Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?	trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu _____
4.4	Ich habe mich während der Fahrt sicher gefühlt. Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?	trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu _____
4.5	Ich hatte das Gefühl, stets die Kontrolle über das Fahrzeug zu haben. Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?	trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu _____
4.6	Ich wusste während des gesamten Durchlaufs, wie das System zu bedienen ist. Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?	trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu _____
4.7	Ich habe die Informationen im Display stets verstanden und konnte diese interpretieren. Falls NICHT: In welchen Situationen war dies NICHT der Fall?	trifft zu ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ trifft nicht zu _____

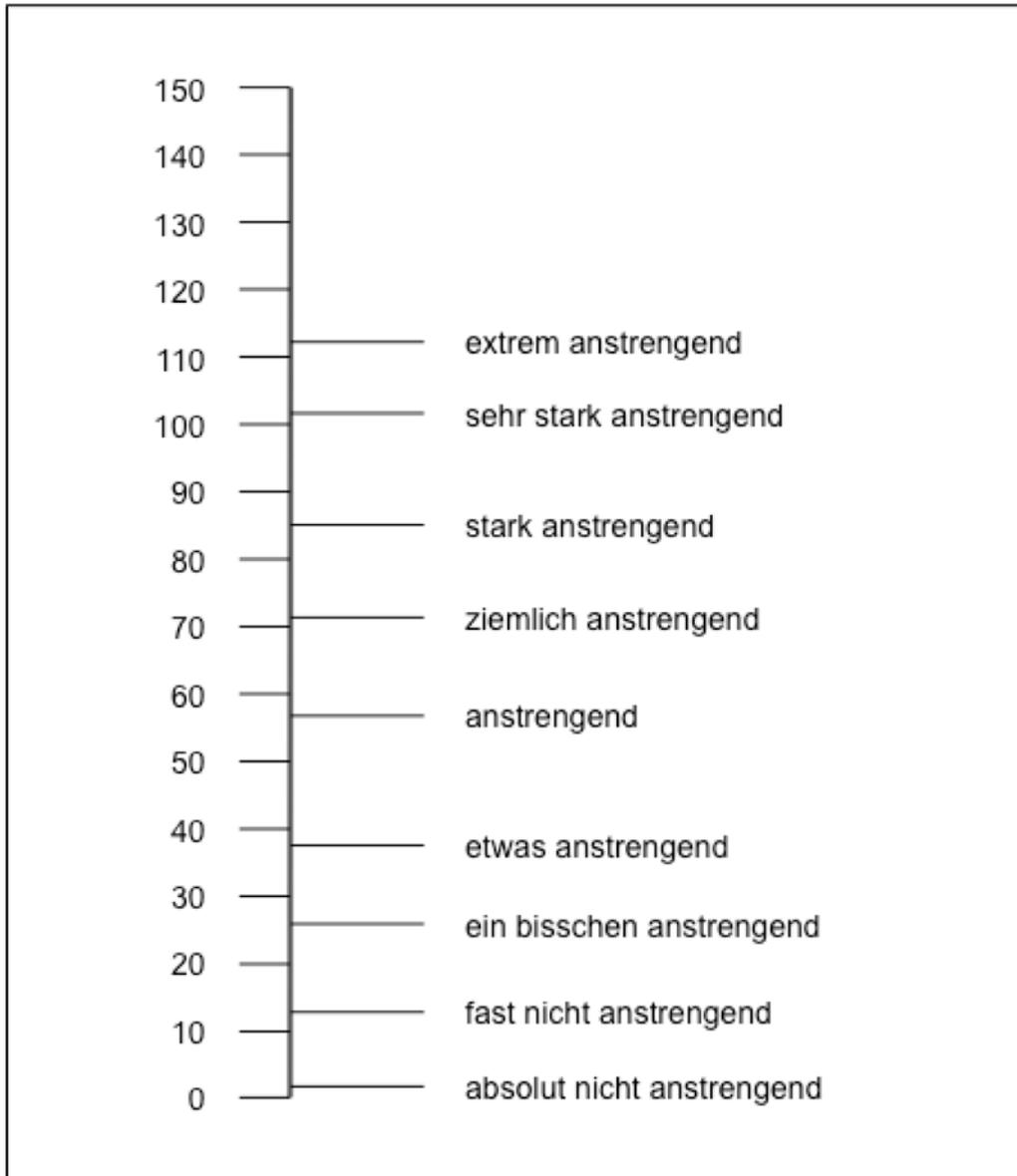
Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beurteilen Sie bitte die letzte Runde (Fahrt im Modus Kooperative Automation)		
5.1	Veränderlichkeit: Wie veränderlich war die letzte Runde der Fahrt? War sie veränderlich mit spontanen Wechslen (hoch) oder war sie unveränderlich (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.2	Komplexität: Wie komplex war die letzte Runde der Fahrt? War diese komplex (hoch) oder war sie einfach und unkompliziert (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.3	Variabilität: Wie viele Faktoren änderten sich in der letzten Runde der Fahrt? Gab es viele sich ändernde Faktoren (hoch) oder nur wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.4	Reaktionsbereitschaft: Wie reaktionsbereit waren Sie in der letzten Runde der Fahrt? Waren Sie bereit zu handeln (hoch) oder hatten sie ein niedriges Level an Reaktionsbereitschaft (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.5	Konzentrationsfähigkeit: Wie stark haben Sie sich auf die Fahrt der letzten Runde konzentriert? Haben Sie sich stark konzentriert (hoch) oder nur gering (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.6	Verteilung der Aufmerksamkeit: Wie war Ihre Aufmerksamkeit in der letzten Runde der Fahrt verteilt? Haben Sie sich auf viele Aspekte konzentriert(hoch) oder nur auf wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.7	Ungenutzte geistige Kapazitäten: Wieviel geistige Kapazität hatten Sie noch während der letzten Runde der Fahrt frei? Hatten Sie genug Kapazität frei um viele Faktoren zu beachten d.h. „den Kopf frei“ (hoch) oder nur wenige d.h. „den Kopf voll“ (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.8	Informationsquantität: Wie viele Informationen haben Sie in der letzten Runde der Fahrt aufgenommen? Haben Sie viele Informationen aufgenommen (hoch) oder wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.9	Informationsqualität: Wie hilfreich empfanden Sie die aufgenommenen Informationen in der letzten Runde der Fahrt? Waren diese hilfreich (hoch) oder nutzlos (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
5.10	Situationsvertrautheit: Wie vertraut waren Sie mit der Fahrt der letzten Runde? Konnten Sie auf bereits gemachte Erfahrungen zurückgreifen (hoch) oder war Ihnen die Situation neu (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch

RSME - KA

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte geben Sie Ihren Eindruck der letzten Runde wieder, indem Sie einen Wert von 0 bis 150 auf der Linie markieren.



TAQ-KA

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beantworten Sie bitte folgende Fragen:		Trifft zu	Trifft nicht zu	Keine Angabe
7.17	Autofahren mit einem Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation macht Spaß	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.18	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation entspricht meinen Wertvorstellungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.19	Ich bin mit der Ausführung der Manöver durch das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation zufrieden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.20	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation macht wenig Fehler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.21	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation hat alle Manöver bereitgestellt, die ich gebraucht habe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.23	Ich weiß zu jedem Zeitpunkt, was das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation auf meine Befehle hin tun wird	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.24	Das Fahren mit dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation hat sich wie eine Zusammenarbeit angefühlt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.25	Ich weiß, wo die Grenzen des Fahrzeugs mit dem Modus Kooperativer Automation liegen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.26	Ich finde Autofahren mit dem Modus Kooperativer Automation aufregend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.27	Insgesamt vertraue ich dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.28	Das Fahrzeug mit Modus Kooperativer Automation ist so gefahren, wie ich es getan hätte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.29	Insgesamt finde ich das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation gut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.31	Insgesamt würde ich das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation akzeptieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.32	Es war leicht, dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation ein Manöver (z.B. Fahrstreifenwechsel links) zu übergeben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.33	Es war leicht, dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation ein Parameter (z.B. Wunschgeschwindigkeit) zu übergeben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7.35	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation entlastet mich beim Autofahren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

WN-LG

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte beschreiben Sie Ihre Wahrnehmung der letzten Situation		
1.1	Ist Ihnen im letzten Fahrabschnitt etwas aufgefallen? Wenn ja: Was ist Ihnen aufgefallen?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.2	Haben Sie das „Tempo 30“ Schild gesehen?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Ist Ihnen im Fahrerdisplay etwas aufgefallen? Wenn ja, was?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Welche Bedeutung hatte dies?	
1.4	Ist Ihnen aufgefallen, dass das Fahrzeug seine Geschwindigkeit am „Tempo 30“ Schild nicht angepasst hat? Wenn ja: wie erklären Sie sich dies?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.1	Haben Sie eine Aufgabe übernommen, die vorher das System ausgeführt hat (z.B. bremsen, lenken)? Wenn ja: welche?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.2	Falls gebremst/gelenkt: Warum haben Sie dies getan?	
1.5.3	Falls nicht reagiert: Warum haben Sie nicht reagiert?	
1.5.4	Falls gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können, wenn Sie nicht reagiert hätten?	
1.5.5	Falls nicht gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können?	

Bitte Umknicken

WN-LG

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beurteilen Sie bitte die Gesamtsituation			
1.7	Sehr kritisch	○ ○ ○ ○	Sehr unkritisch
Folgende Fragen nur ausfüllen, wenn Proband Ausfall der Geschwindigkeitsanpassung bemerkt hat:			
Wie empfanden Sie den Ausfall der Geschwindigkeitsanpassung?			
1.8	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.9	Sehr störend	○ ○ ○ ○	Gar nicht störend
1.10	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar
Bitte beurteilen Sie die Situation, die durch den Ausfall der Geschwindigkeitsanpassung entstanden ist.			
1.11	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.12	Sehr einfach	○ ○ ○ ○	Sehr schwierig
1.13	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar

WN-QG

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte beschreiben Sie Ihre Wahrnehmung der letzten Situation		
1.1	Ist Ihnen im letzten Fahrabschnitt etwas aufgefallen? Wenn ja: Was ist Ihnen aufgefallen?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.2	Haben Sie gemerkt, dass das Auto von der Fahrbahn abdriftet?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Ist Ihnen im Fahrerdisplay etwas aufgefallen? Wenn ja, was?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Welche Bedeutung hatte dies?	
1.4	Ist Ihnen aufgefallen, dass das Fahrzeug nicht mehr gelenkt hat? Wenn ja: wie erklären Sie sich dies?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.1	Haben Sie eine Aufgabe übernommen, die vorher das System ausgeführt hat (z.B. bremsen, lenken)? Wenn ja: welche?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.2	Falls gebremst/gelenkt: Warum haben Sie dies getan?	
1.5.3	Falls nicht reagiert: Warum haben Sie nicht reagiert?	
1.5.4	Falls gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können, wenn Sie nicht reagiert hätten?	
1.5.5	Falls nicht gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können?	

Bitte umknicken

WN-QG

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beurteilen Sie bitte die Gesamtsituation			
1.7	Sehr kritisch	○ ○ ○ ○	Sehr unkritisch
Folgende Fragen nur ausfüllen, wenn Proband Ausfall der Lenkung bemerkt hat:			
Wie empfanden Sie den Ausfall der Lenkung?			
1.8	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.9	Sehr störend	○ ○ ○ ○	Gar nicht störend
1.10	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar
Bitte beurteilen Sie die Situation, die durch den Ausfall der Lenkung entstanden ist.			
1.11	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.12	Sehr einfach	○ ○ ○ ○	Sehr schwierig
1.13	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar

WN-QK

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte beschreiben Sie Ihre Wahrnehmung der letzten Situation		
1.1	Ist Ihnen im letzten Fahrabschnitt etwas aufgefallen? Wenn ja: Was ist Ihnen aufgefallen?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.2	Haben Sie gemerkt, dass das Auto von der Fahrbahn abkommt?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Ist Ihnen im Fahrerdisplay etwas aufgefallen? Wenn ja, was?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Welche Bedeutung hatte dies?	
1.4	Ist Ihnen aufgefallen, dass das Fahrzeug nicht mehr gelenkt hat? Wenn ja: wie erklären Sie sich dies?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.1	Haben Sie eine Aufgabe übernommen, die vorher das System ausgeführt hat (z.B. bremsen, lenken)? Wenn ja: welche?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.2	Falls gebremst/gelenkt: Warum haben Sie dies getan?	
1.5.3	Falls nicht reagiert: Warum haben Sie nicht reagiert?	
1.5.4	Falls gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können, wenn Sie nicht reagiert hätten?	
1.5.5	Falls nicht gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können?	

Bitte Umknicken

WN-QK

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beurteilen Sie bitte die Gesamtsituation			
1.7	Sehr kritisch	○ ○ ○ ○	Sehr unkritisch
Folgende Fragen nur ausfüllen, wenn Proband Ausfall der Lenkung bemerkt hat:			
Wie empfanden Sie den Ausfall der Lenkung?			
1.8	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.9	Sehr störend	○ ○ ○ ○	Gar nicht störend
1.10	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar
Bitte beurteilen Sie die Situation, die durch den Ausfall der Lenkung entstanden ist.			
1.11	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.12	Sehr einfach	○ ○ ○ ○	Sehr schwierig
1.13	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Bitte beschreiben Sie Ihre Wahrnehmung der letzten Situation		
1.1	Ist Ihnen im letzten Fahrabschnitt etwas aufgefallen? Wenn ja: Was ist Ihnen aufgefallen?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.2	Haben Sie die rote Ampel gesehen?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Ist Ihnen im Fahrerdisplay etwas aufgefallen? Wenn ja, was?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.3.1	Welche Bedeutung hatte dies?	
1.4	Ist Ihnen aufgefallen, dass das Fahrzeug an der Ampel nicht gebremst hat? Wenn ja: wie erklären Sie sich dies?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.1	Haben Sie eine Aufgabe übernommen, die vorher das System ausgeführt hat (z.B. bremsen, lenken)? Wenn ja: welche?	JA <input type="radio"/> <input type="radio"/> NEIN
1.5.2	Falls gebremst/gelenkt: Warum haben Sie dies getan?	
1.5.3	Falls nicht reagiert: Warum haben Sie nicht reagiert?	
1.5.4	Falls gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können, wenn Sie nicht reagiert hätten?	
1.5.5	Falls nicht gebremst/gelenkt: Was hätte in der Situation passieren können?	

Bitte Umknicken

WN-LL

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beurteilen Sie bitte die Gesamtsituation			
1.7	Sehr kritisch	○ ○ ○ ○	Sehr unkritisch
Folgende Fragen nur ausfüllen, wenn Proband Ausfall der Ampelbremsung bemerkt hat:			
Wie empfanden Sie den Ausfall der Ampelbremsung?			
1.8	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.9	Sehr störend	○ ○ ○ ○	Gar nicht störend
1.10	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar
Bitte beurteilen Sie die Situation, die durch den Ausfall der Ampelbremsung entstanden ist.			
1.11	Sehr sicher	○ ○ ○ ○	Sehr unsicher
1.12	Sehr einfach	○ ○ ○ ○	Sehr schwierig
1.13	Sehr gut kontrollierbar	○ ○ ○ ○	Gar nicht kontrollierbar

SART-AL1

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beurteilen Sie bitte die letzte Runde (Fahrt im Modus Kooperative Automation)		
9.1	Veränderlichkeit: Wie veränderlich war die letzte Runde der Fahrt? War sie veränderlich mit spontanen Wechslen (hoch) oder war sie unveränderlich (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.2	Komplexität: Wie komplex war die letzte Runde der Fahrt? War diese komplex (hoch) oder war sie einfach und unkompliziert (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.3	Variabilität: Wie viele Faktoren änderten sich in der letzten Runde der Fahrt? Gab es viele sich ändernde Faktoren (hoch) oder nur wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.4	Reaktionsbereitschaft: Wie reaktionsbereit waren Sie in der letzten Runde der Fahrt? Waren Sie bereit zu handeln (hoch) oder hatten sie ein niedriges Level an Reaktionsbereitschaft (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.5	Konzentrationsfähigkeit: Wie stark haben Sie sich auf die Fahrt der letzten Runde konzentriert? Haben Sie sich stark konzentriert (hoch) oder nur gering (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.6	Verteilung der Aufmerksamkeit: Wie war Ihre Aufmerksamkeit in der letzten Runde der Fahrt verteilt? Haben Sie sich auf viele Aspekte konzentriert(hoch) oder nur auf wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.7	Ungenutzte geistige Kapazitäten: Wieviel geistige Kapazität hatten Sie noch während der letzten Runde der Fahrt frei? Hatten Sie genug Kapazität frei um viele Faktoren zu beachten d.h. „den Kopf frei“ (hoch) oder nur wenige d.h. „den Kopf voll“ (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.8	Informationsquantität: Wie viele Informationen haben Sie in der letzten Runde der Fahrt aufgenommen? Haben Sie viele Informationen aufgenommen (hoch) oder wenige (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.9	Informationsqualität: Wie hilfreich empfanden Sie die aufgenommenen Informationen in der letzten Runde der Fahrt? Waren diese hilfreich (hoch) oder nutzlos (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch
9.10	Situationsvertrautheit: Wie vertraut waren Sie mit der Fahrt der letzten Runde? Konnten Sie auf bereits gemachte Erfahrungen zurückgreifen (hoch) oder war Ihnen die Situation neu (niedrig)?	niedrig ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ hoch

TAQ-END

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beantworten Sie bitte folgende Fragen:		Trifft zu	Trifft nicht zu	Keine Angabe
12.1	Insgesamt ist das Fahrzeug im Modus Kooperative Automation einfach zu benutzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.2	Durch die Nutzung des Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation kann ich deutlich zeigen, dass ich jemand besonderes bin	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.3	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation ist gut in der Lage, die Fahraufgabe zu erfüllen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.4	Ich fühle mich mit anderen Nutzern von einem Fahrzeug mit Modus Kooperative Automation zusammengehörig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.5	Ich halte mich für einen guten Autofahrer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.6	Ich stehe der Automation von menschlichen Aufgaben kritisch gegenüber	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.7	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation passt gut zu mir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.8	Ich kann die Fehler des Fahrzeugs im Modus Kooperative Automation vorhersehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.9	Ich war immer gut darüber informiert, was das Fahrzeug im Modus Kooperative Automation gerade macht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.10	Das Fahrzeug mit Kooperativer Automation fährt so, wie ich es erwarte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.11	Durch die Verwendung des Fahrzeugs mit dem Modus Kooperative Automation wird das Autofahren sicherer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.12	Die Bedienung des Fahrzeugs mit dem Modus Kooperativer Automation fällt mir leicht zu lernen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.13	Ich weiß, wann das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation nicht mehr in der Lage ist das Fahrzeug sicher zu führen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.14	Ich würde das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation gerne regelmäßig nutzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.15	Ich glaube, durch das Zusammenwirken des Fahrzeugs mit dem Modus Kooperative Automation und mir werden meine Fahrziele (z.B. schnell ankommen) besser erfüllt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.16	Auch in ungewohnten Situationen hat sich das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation wie erwartet verhalten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

TAQ-END

Probanden ID: _____ Datum: _____ Szenario: A B C D

Beantworten Sie bitte folgende Fragen:		Trifft zu	Trifft nicht zu	Keine Angabe
12.17	Autofahren mit einem Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation macht Spaß	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.18	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation entspricht meinen Wertvorstellungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.19	Ich bin mit der Ausführung der Manöver durch das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation zufrieden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.20	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation macht wenig Fehler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.21	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation hat alle Manöver bereitgestellt, die ich gebraucht habe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.23	Ich weiß zu jedem Zeitpunkt, was das Fahrzeug mit dem Modus Kooperativer Automation auf meine Befehle hin tun wird	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.24	Das Fahren mit dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation hat sich wie eine Zusammenarbeit angefühlt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.25	Ich weiß, wo die Grenzen des Fahrzeugs mit dem Modus Kooperative Automation liegen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.26	Ich finde Autofahren mit dem Modus Kooperative Automation aufregend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.27	Insgesamt vertraue ich dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.28	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation ist so gefahren, wie ich es getan hätte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.29	Insgesamt finde ich das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation gut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.31	Insgesamt würde ich das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation akzeptieren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.32	Es war leicht, dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation ein Manöver (z.B. Fahrstreifenwechsel links) zu übergeben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.33	Es war leicht, dem Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation ein Parameter (z.B. Wunschgeschwindigkeit) zu übergeben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12.35	Das Fahrzeug mit dem Modus Kooperative Automation entlastet mich beim Autofahren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>