

Bewertung der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion teilautomatisierter Fahrfunktionen (Level 2)

André Wiggerich^{*}, Heike Hoffmann^{*}, Nadja Schömig[†],
Katharina Wiedemann[†] und Katja Segler[‡]

Zusammenfassung: Kontinuierlich assistierende Systeme des Level 2 können per Definition die Quer- und Längsführung ausführen, wobei dem Fahrer primär die Rolle der Object and Event Detection and Response (OEDR) zukommt. Gleichzeitig übernehmen die Systeme Teile dieser Aufgabe auch selbst, wodurch es für den Fahrer schwierig sein kann, seine Rolle und Verantwortung korrekt zu erkennen und sich entsprechend zu verhalten. Im Rahmen einer Fahrsimulatorstudie wurde ein szenario-basierter Bewertungsansatz der Sicherheit der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) erprobt. Hierfür wurde ein neu entwickeltes kombiniertes Beobachtungs- & Befragungsinstrument für Probandenstudien eingesetzt. Die Reliabilität eines L2 Systems wurde anhand der Anzahl der nötigen Fahrereingriffe sowie der Güte der Spurführung manipuliert. Eine hohe L2 Systemreliabilität führte zu einer kritischen MMI. Dies konnte zuverlässig mit dem Instrument bewertet werden.

Schlüsselwörter: Sicherheit, Mensch-Maschine-Interaktion, Bewertungsverfahren, SAE Level 2.

1 Einleitung

Teilautomatisierung (so genannte Level-2- oder kurz L2-Systeme, gemäß SAE-Definition [1]) hält mit immer weitreichenderen Systemen in immer kürzer werdenden Entwicklungsintervallen Einzug in aktuelle Serienfahrzeuge. Diese Funktionen können im Gegensatz zu klassischen Fahrerassistenzsystemen sowohl die kontinuierliche Längs- als auch die Querführung des Fahrzeugs übernehmen, wobei der Fahrer weiterhin in der Verantwortung für die permanente Überwachung der Funktion und der Verkehrsumgebung ist. Diese Rolle des Fahrers wird gemäß SAE-Definition unter dem Begriff der Object and Event Detection and Response (OEDR) zusammengefasst. Ein Aspekt der diesbezüglich nicht unbeachtet bleiben sollte ist, dass die Fahraufgabe sowie die Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug durch kontinuierliche

^{*} Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach (wiggerich@bast.de, hoffmann@bast.de).

[†] Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) GmbH, Robert-Bosch-Str. 4, 97209 Veitshöchheim (schoemig@wivw.de, wiedemann@wivw.de).

[‡] Rheinische Fachhochschule (RFH) Köln, Schaevenstraße 1a-b, 50676 Köln (katja.segler@rfh-campus.de).

Automatisierung verändert sind. Einerseits wird ein Teil der Fahraufgabe sowie auch ein Teil der OEDR durch die Funktionen übernommen, andererseits bleibt die letztendliche Verantwortung für die Überwachung und den unmittelbaren Eingriff in die Fahrzeugsteuerung im Falle von Systemgrenzen immer beim menschlichen Fahrer. In den bekannten ‚Ironies of Automation‘ schrieb Bainbridge [2] schon in den 1980er Jahren, dass der Mensch kein guter Überwacher ist und nicht gut darin, in Situationen, in denen die Automation ausfällt, unmittelbar einzugreifen. Eine dauerhafte Überwachung ohne dabei jedoch über weite Strecken aktiv eingreifen zu müssen, kann zu Missverständnissen und im Falle eines plötzlichen Ausfalls bzw. Fehlers der Funktion zu nicht adäquatem Verhalten beitragen [3]. Ein potentieller Sicherheitsgewinn kann so durch eine Veränderung des Verhaltens des Fahrers hin zu einer riskanteren Fahrweise oder mangelnder Überwachung verringert werden. Für eine sichere Interaktion ist es daher von höchster Relevanz, dass der Fahrer ein exaktes Verständnis von seiner Rolle im Umgang mit der Funktion hat und sein konkretes Verhalten entsprechend dieser Rolle anpasst. Gleichzeitig sollte die Funktion bestmöglich an die veränderten Anforderungen an den Fahrer angepasst sein und die korrekte Rolle des Fahrers explizit, bspw. über die entsprechende Gestaltung der Anzeige- und Bedienkonzepte, sowie implizit, bspw. über wahrnehmbare Fahrdynamik oder Systemreliabilität, einfach und unmissverständlich kommunizieren.

Diese Aspekte sind aufgrund der Heterogenität der am Markt verfügbaren Funktionen und Systeme aktuell nicht unmittelbar bewertbar. Hierzu fehlen valide und reliable Methoden, die eine ganzheitliche Betrachtung der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) von L2-Systemen zulassen. Die Studie hat somit insgesamt zwei Ziele: Zum einen soll ein neues Instrument zur Bewertung der Effizienz und Sicherheit der MMI für L2 Systeme validiert werden und zum anderen der Einfluss der spezifischen Gestaltung der Querführungsfunktion des L2 Systems auf die Sicherheit der MMI hin untersucht werden.

2 Methoden

2.1 Versuchsaufbau

Die Studie fand im statischen Fahrsimulator der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) statt. Für das Design und die Umsetzung der Szenarien wurde die Software SILAB® der WIVW GmbH verwendet. Das Mock-Up des Fahrerplatzes ist einem Kompakt- bis Mittelklassefahrzeug nachempfunden. Das Bedienelement für das L2 System ist einem BMW Serienfahrzeug entnommen und am Lenkrad des Simulators installiert. Die Anzeige des Systemzustands erfolgt über Icons im Kombidisplay. Der Versuchsleiter kann die Simulation in einem Operatorraum steuern sowie anhand von Kamera- und Simulationsansichten auf Monitoren überwachen (siehe Abbildung 1).

Das verwendete L2 System kombiniert eine assistierende Abstands- und Geschwindigkeitsregelung mit einer assistierenden Querführung, wobei die Funktionen der Quer- und Längsführung separat voneinander aktiviert werden können. Die Aktivierung der Querführung erfolgt in zwei Schritten: Erst wird die Querführung vom Fahrer in den Standby-Modus geschaltet und aktiviert sich sodann selbständig, sobald das

Fahrzeug in einem definierten Korridor innerhalb des Fahrstreifens fährt und das System Fahrstreifen erkennt. Das System kann jederzeit durch den Fahrer über Lenk- und/oder Bremsengriffe übersteuert werden.



Abbildung 1: Darstellung des Fahrerplatzes des Probanden im Simulator (links) sowie der Versuchsleiterposition im Operatorraum zur Beobachtung des Versuchs (rechts).

2.2 Testszzenarien

Im Rahmen des Versuchs wurden zwei Systemgrenzen als Testszzenarien für die Probanden dargestellt. Aufgabe des Probanden war bei beiden Systemgrenzen ein aktives Eingreifen in die Fahrzeugführung, um ein Abkommen vom Fahrstreifen oder eine Kollision zu vermeiden. Die Systemgrenze 1 (enge Rechtskurve) wird in Abbildung 2 (rechts) graphisch verdeutlicht und stellt einen für die Querführung zu engen Kurvenradius dar, in welcher das notwendige Lenkmoment nicht vollständig durch das System aufgebracht werden kann. Das Szenario ist durch einen daraufhin erfolgenden Ausfall der Querführung in der Kurve gekennzeichnet. Der Fahrer erhält keinerlei visuelle oder akustische Übernahmeaufforderung in Form einer dedizierten Warnung. Die unmittelbare Notwendigkeit zum Eingriff durch den Fahrer wird lediglich visuell im Display durch einen Wechsel der Statusanzeige von aktiv zu inaktiv erkennbar. Ein Nichteingreifen des Fahrers führt in dieser Situation vom Verlassen des Ego-Fahrstreifens auf den benachbarten linken Fahrstreifen bis hin zur Kollision mit der linken Rückhalteeinrichtung („Leitplanke“).

Die Systemgrenze 2 (Pannenfahrzeug als Hindernis auf der Fahrbahn), in der Abbildung 2 (links) dargestellt, zeigt die Einschränkung des Systems in der Längsführung bei stehenden Objekten auf. Vor einer Kuppe erscheint zunächst ein Warndreieck, kurz darauf, hinter der Kuppe, ein Pannenfahrzeug, welches sich auf dem rechten Fahrstreifen befindet. Auch in diesem Szenario erhält der Fahrer keine explizite Warnung oder Übernahmeaufforderung, sondern muss selbstständig durch Bremsen und/oder Fahrstreifenwechsel reagieren. Ein Nichteingreifen des Fahrers führte zur direkten Kollision mit dem Fahrzeug, da die simulierte Funktion konzipiert wurde, nicht auf stehende Objekte zu reagieren.



Abbildung 2: Darstellung der Simulation der Systemgrenze 1 enge Rechtskurve (rechts) sowie der Systemgrenze 2 Pannenfahrzeug als Hindernis auf der Fahrbahn (links) aus der Vogelperspektive.

2.3 Bewertungsinstrument

Da bislang keine standardisierte und anwendungsnahe Möglichkeit besteht, um die Sicherheit der MMI kontinuierlicher Automatisierungsfunktionen umfassend und ganzheitlich bewerten zu können, wurde ein tablet-basiertes Beobachtungs- und Befragungsinstrument, die sog. Standardized Application for Automated Driving Evaluations (S.A.D.E.)-App, entwickelt. Das Instrument dient dazu, die Effizienz und Sicherheit der MMI nicht nur über Checklist-Items anhand vorgefertigter Standards, sondern direkt und unmittelbar in der erlebbaren Interaktion anhand definierter Prüfzenarien messen und bewerten zu können. Das Instrument wurde auf Basis der S.A.F.E.-Anwendung [4] in SILAB programmiert.

Die Beobachtung des Interaktionsverhaltens findet anhand von drei Hauptkategorien, nämlich Bedienprobleme, fahrzeugführungsbezogene Probleme sowie Probleme bzgl. des Monitorings des Systems, statt. Diese Hauptkategorien werden anhand von zählbaren Verhaltensankern, bspw. ob eine Gefährdung oder Kollision aufgetreten ist (siehe Abbildung 3), bewertet. In Abhängigkeit des identifizierten Verhaltens wird anschließend pro Szenario eine Gesamtbewertung der Interaktionsleistung auf einer Skala von 0 bis 10 in Anlehnung an die Fitness-to-Drive-Skala (FtD-Skala; nach [4] sowie [5]; in Anlehnung an [6]) vorgenommen. Die Zuordnung des Verhaltens zu den jeweiligen Ausprägungen der Skala wurde vorab definiert und allen Beobachtern intensiv im Rahmen einer Schulung inklusive Übungs- und Kontrollfahrten vermittelt. Zusätzlich stehen dem Anwender verschiedene Befragungsisems, bspw. hinsichtlich der Verständlichkeit des Systemverhaltens, zur Verfügung, welche während der Versuchsfahrt zur Bewertung der Usability des Systems durch die Probanden eingesetzt werden können.

		Szenario																
Scharfe Rechtskurve / 301	Bedienprobleme	nichts bemerkt	unsicher	verzögert	unangemessen	1. Wie klar war Ihnen, was zu tun ist?	?	-3	-2	-1	0	1	2	X				
		Fehlbedienung	nicht erfolgreich	Hilfestellung nötig		2. Wie nachvollziehbar war das Systemverhalten?	X	-3	-2	-1	0	1	2	3				
	Fahrzeugführung	keine Reaktion	verzögert	Spurabkommen	schlechte Spurhaltung	3. Wie verständlich waren die Systemausgaben?	?	-3	-2	-1	0	X	2	3				
		unzur. gesichert	Gefährdung	Kollision		4. Wie schwierig war die Systembedienung / die Reaktion auf das Systemverhalten?	?	-3	-2	-1	0	1	X	3				
	Monitoring	unsicher Hände	nicht aufmerksam	Handsoff-Warnung	Stufe HO-Warnung	5. Optionale Zusatzfrage	X	-3	-2	-1	0	1	2	3				
						6. Wie kritisch war die Situation?	?	0	1	2	3	4	5	6	7	X	9	10
	VL-Rating Bewältigung Szenario						?	0	1	2	3	4	5	6	X	8	9	10

Abbildung 3: Standardized Application for Automated Driving Evaluations (S.A.D.E.) zur Durchführung von Beobachtungs- und Befragungsstudien zur MMI bei SAE Level 2 Systemen per Tablet-PC.

2.4 Versuchsablauf

Vor der eigentlichen Versuchsfahrt bekam jeder Proband die Aufgabe, eine Bedienungsanleitung zum L2 System zu lesen. In dieser Anleitung wurden beide im Versuch dargestellten Systemgrenzen exemplarisch genannt und die Aufgabe des Fahrers in Reaktion auf das Auftreten von Systemgrenzen eindeutig kommuniziert. Anschließend wurde die Müdigkeit sowie das Vertrauen in das System auf Basis der gelesenen Anleitung mittels eines Fragebogens erfasst. Zusätzlich wurde eine circa fünfminütige Testfahrt mit dem L2 System unter Anleitung des Versuchsleiters durchgeführt, bei der das Ein- und Ausschalten, Übersteuern sowie die Displayanzeigen der Systeme erläutert wurden. Anschließend startete die Versuchsfahrt. Nach dem Auffahren auf die Autobahn wurden beide Systeme (Quer- und Längsführung) vom Probanden durch Tastendruck aktiviert. Dabei sollte eine Geschwindigkeit von 120 km/h eingestellt werden. Während der dreißigminütigen Autobahnfahrt sollte so lange und häufig wie möglich mit aktiven Systemen gefahren werden. Die Autobahn wies durchgängig zwei Fahrstreifen auf und verlief überwiegend durch eine ländliche Umgebung mit wenigen Reizen in der Umwelt oder aufgrund anderer Verkehrsteilnehmer. Während der Fahrt erlebt der Proband im Abstand von jeweils 12 Minuten zwei Systemgrenzen, welche bereits in Abschnitt 2.2 beschrieben wurden. Nach der Fahrt erfolgten die Beantwortung eines zweiten Fragebogens sowie ein teilstrukturiertes Interview.

2.5 Stichprobe

An der Studie nahmen $N=56$ Probanden (24 weiblich, 32 männlich) im Alter zwischen 18 und 62 Jahren ($MW=37.12$, $SD=13.44$) teil. Ausgewählt wurden ausschließlich Personen, die eine Fahrleistung von mehr als 3000km/Jahr aufweisen und nicht regelmäßig mit

Längs- und/oder Querführungsassistenten fahren oder gefahren sind, um einen herstellerbezogenen Gewöhnungseffekt auszuschließen.

2.6 Versuchsdesign & Datenauswertung

Zur Prüfung der Fragestellung, welchen Einfluss die Gestaltung der Querführungsfunktion des L2 Systems auf die Sicherheit der MMI hat, wurde die Qualität der Querführung anhand von zwei Faktoren manipuliert. Der erste Faktor umfasste die Variabilität bzw. Schwankungsbreite der Spurführung innerhalb des Fahrstreifens (zentriert vs. variabel/schwankend). Für die Umsetzung der Prüfbedingung wurden streckengebundene Trigger implementiert, die bewirkten, dass das System in den Bedingungen „hohe Variabilität“ regelmäßige Spurversätze von der Fahrstreifenmitte aus nach links und rechts ausführt, die gerade so stark waren, dass der Fahrer sie zwar als unangenehm wahrnimmt und das Gefühl bekommt, „mitlenken“ zu müssen, aber noch nicht die Lenkung übersteuern muss, um im Fahrstreifen zu bleiben.

Der zweite Faktor wurde durch die Reliabilität des Systems (hoch vs. niedrig) dargestellt. Hierzu wurden zusätzlich in regelmäßigen Abständen streckengebundene Trigger gesetzt, die unter der Bedingung „niedrige Reliabilität“ einen Ausfall der Querführung für ca. 3-4 Sekunden bewirkten. Lenkte der Fahrer hier nicht aktiv mit, kam er in Kurven vom Fahrstreifen ab. Als Häufigkeit dieser Systemausfälle wurde eine Frequenz von ca. einem Ausfall pro 1000m Fahrstrecke, d.h. etwa alle 30s bei einer Geschwindigkeit von 120km/h definiert. Die Zuordnung der Probanden zu den Faktorstufenkombinationen erfolgte randomisiert. Die Studie wurde als Doppelblind-Versuch durchgeführt, d.h. weder dem Probanden noch dem bewertende Versuchsleiter war die jeweilige Versuchsbedingung bekannt.

Als abhängige Variablen wurden u.a. die Versuchsleiter-Rating-Skalen der S.A.D.E.-App, die Standardabweichung der lateralen Position während der Kurve in Szenario 1 sowie das Minimum der Time-To-Collision (TTC) und die Anzahl an Kollisionen mit dem Hindernis im Szenario 2 ausgewählt. Die Untersuchung wurde als 2x2x2 fullfactorial mixed within-between-subjects-design gestaltet. Zusätzlich zur Betrachtung der beiden Zwischensubjektfaktoren Reliabilität und Variabilität bzw. Schwankungsbreite, erfolgte eine Betrachtung des Effekts der Reihenfolge der beiden Testszenarien innerhalb eines Probanden. Die Daten wurden mit inferenzstatistischen Verfahren, bspw. unterschiedlichen Varianzanalysen (ANOVA), ausgewertet.

3 Ergebnisse

3.1 Testszenario Kurve

Die erste ANOVA bezieht sich auf das Szenario 1, in welchem die Querführung in der Kurve ausfällt. Der Faktor Reliabilität beeinflusst die Stabilität der manuellen Spurführung nach Ausfall der Querführungsassistenten tendenziell signifikant ($F(1,48)=3.58, p=.065, \eta^2=.069$). Probanden mit Ausfällen (geringe Reliabilität) weisen im Durchschnitt ($MW=0.35, SD=0.30$) eine geringere mittlere Standardabweichung der

lateralen Position auf als Probanden ohne Systemausfälle ($MW=0.50$, $SD=0.29$). Die Ergebnisse dazu sind in Abbildung 4 (links) dargestellt. Keinen signifikanten Unterschied gibt es zwischen den experimentellen Bedingungen der Variabilität ebenso wie der Reihenfolge ($p>.05$). Auch eine signifikante Interaktion der Faktoren konnte nicht festgestellt werden ($p>.05$).

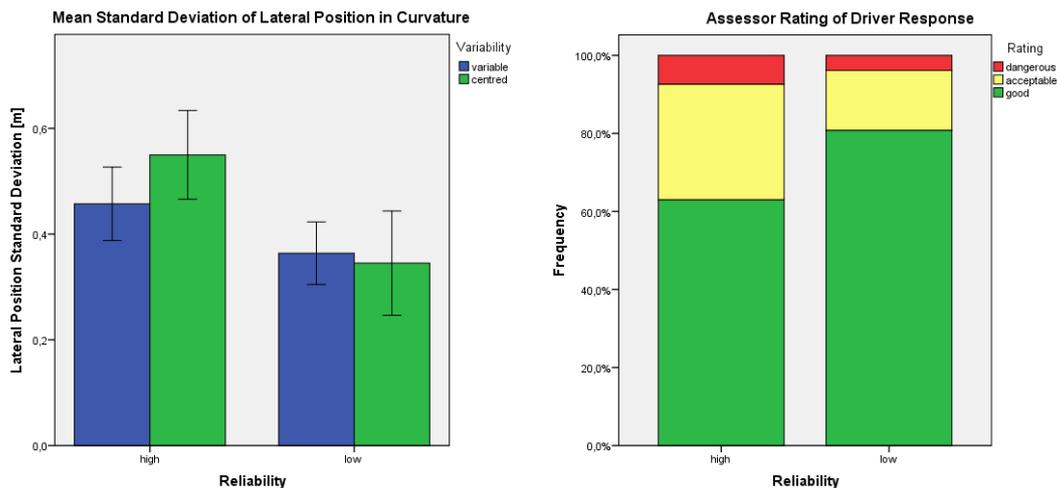


Abbildung 4: Mittelwerte der Standardabweichung der lateralen Position während der Kurvenfahrt in Abhängigkeit der Faktoren Reliabilität und Variabilität (links) sowie Zusammenfassung der Skala zur Bewertung der Interaktion der S.A.D.E.-App im Szenario 1 in Abhängigkeit des Faktors Reliabilität (rechts).

Die Skala zur Bewertung der Interaktionsleistung der S.A.D.E.-App zeigt, dass dieses Szenario über alle Bedingungen hinweg überwiegend gut gelöst wurde. Die Ergebnisse dazu sind in Abbildung 4 (rechts) dargestellt. Rein deskriptiv ist ein Unterschied zwischen einem System mit hoher und niedriger Reliabilität zu erkennen. Probanden mit einem hoch reliablen System reagieren tendenziell schlechter in dieser Situation. Die Ergebnisse des χ^2 -Tests dazu sind jedoch nicht signifikant ($p>.05$). Die Korrelation zwischen der Standardabweichung der lateralen Position und Skala zur Bewertung der Interaktionsleistung liegt bei $r=.80$ ($p<.01$).

3.2 TestszENARIO Hindernis

Die zweite ANOVA bezieht sich auf das Szenario 2 (Pannenfahrzeug). Die Ergebnisse (siehe Abbildung 5 links) zeigen, dass der Faktor Reliabilität einen signifikanten Einfluss auf die TTC_{min} hat ($F(1,48)=5.265$, $p=.026$, $\eta^2=.1$). Bei einer hohen Reliabilität ($MW=0.88$, $SD=0.73$) kann eine signifikant niedrigere TTC_{min} festgestellt werden als bei einer niedrigen Reliabilität ($MW=1.36$, $SD=0.86$). Keinen signifikanten Unterschied gibt es zwischen den experimentellen Bedingungen der Variabilität ebenso wie der Reihenfolge ($p>.05$). Auch eine signifikante Interaktion der Faktoren konnte nicht festgestellt werden ($p>.05$). Der Einfluss des Faktors Reliabilität zeigt sich rein deskriptiv betrachtet auch in der Anzahl der Kollisionen mit dem Hindernis. Bei einer hohen Reliabilität kollidierten $n=5$ Probanden mit dem Hindernis, bei einer geringen Reliabilität

hingegen nur $n=2$. Dieser Unterschied ist statistisch gesehen jedoch nicht signifikant ($p>.05$). Die Skala zur Bewertung der Interaktionsleistung der S.A.D.E.-App zeigt, dass das Szenario mit einem hoch reliablen System signifikant kritischer gelöst wurde als mit einem System mit niedriger Reliabilität ($\chi^2=5.00$, $df=2$, $p=.041$). Die Ergebnisse dazu sind in Abbildung 5 (rechts) dargestellt. Beim System mit niedriger Reliabilität haben 50.0% der Probanden das Szenario gut, 38.5% akzeptabel und 11.5% gefährlich gelöst. Beim System mit einer hohen Reliabilität hingegen haben 29.6% der Probanden das Szenario gut, 33.8% akzeptabel und 37.0% gefährlich gelöst. Die Korrelation zwischen der TTC_min und der Skala zur Bewertung der Interaktionsleistung liegt bei $r=-.56$ ($p<.01$).

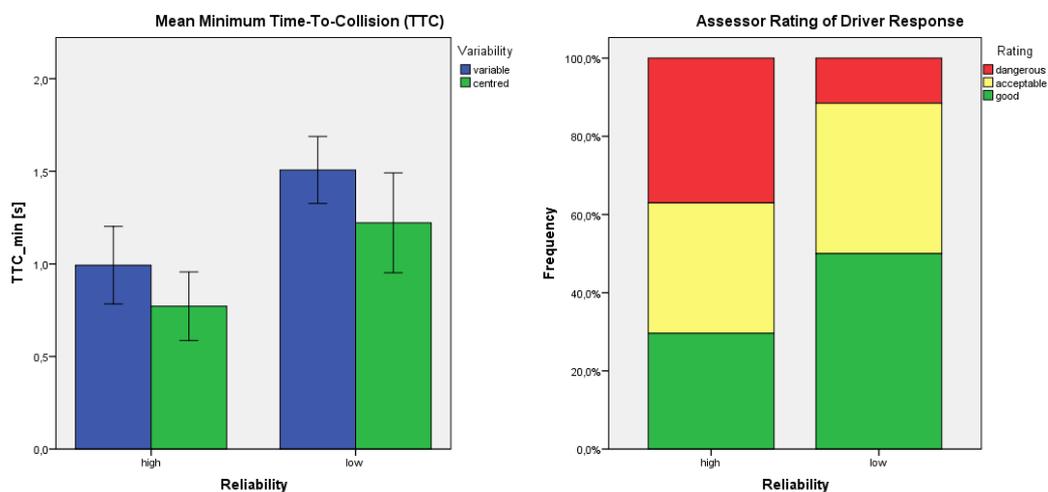


Abbildung 5: Mittelwert des Minimums der Time-To-Collision (TTC) vor dem Pannenfahrzeug in Abhängigkeit der Faktoren Reliabilität und Variabilität (links) sowie Zusammenfassung der Skala zur Bewertung der Interaktion der S.A.D.E.-App im Szenario 2 in Abhängigkeit des Faktors Reliabilität (rechts).

4 Diskussion und Zusammenfassung

Die Fahrstudie verfolgte insgesamt zwei Ziele: Zum einen sollte ein neu entwickeltes kombiniertes Beobachtungs- und Befragungsinstrument validiert und zum anderen die Auswirkungen bestimmter querführungsbezogener Systemdesignvarianten, in diesem Fall die Reliabilität und Variabilität der Querführung, auf die Güte der MMI untersucht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass eine hohe Reliabilität in der Querführung des L2 Systems die Güte der MMI verschlechtert. Sowohl im Kurvenszenario als auch vor dem stehenden Fahrzeug als Hindernis führte eine hohe Reliabilität zu einer höheren Standardabweichung bzw. geringeren TTC. Obwohl alle Probanden vorab über die Systemgrenzen und die notwendige Reaktion durch den Fahrer aufgeklärt wurden, gelang dieser Eingriff Probanden mit einem hoch reliablen System nur schlecht. Dies deutet darauf hin, dass es Schwierigkeiten in der Wahrnehmung und Ausführung der korrekten Fahrerrolle gibt, die allein auf die Wahrnehmung des objektiven Verhaltens des Systems zurückzuführen sind [7]. Diese Effekte konnten auch mittels des Tablet-Tools valide gemessen und bewertet werden. Die Zusammenhänge zwischen den objektiven Maßen

und den beobachtungsbasierten Skalen des Bewertungsinstruments sind insgesamt hoch. Im Rahmen einer zukünftigen Studie mit Serienfahrzeugen auf einer Teststrecke soll daher überprüft werden, inwiefern das Tool in der praktischen Anwendung einsetzbar ist und sich die Ergebnisse auch auf reale Systeme und Prüfscenarien übertragen lassen.

Zukünftig können so Tests und Bewertungen zur Sicherheit der MMI von L2 Systemen verschiedener Hersteller, bspw. im Rahmen des Verbraucherschutzes, standardisiert und für Testlabore in einem angemessenen Rahmen durchgeführt werden. Die bisherigen Tests sehen hierfür eine getrennte Auswertung von technischen Anforderungen an die Systemgestaltung sowie Usability-Standards vor [8]. Dies führte in der Vergangenheit dazu, dass die eigentliche Interaktion zwischen Fahrer und System gar nicht bewertet werden konnte. Mit Hilfe der S.A.D.E.-App ist es nun erstmals möglich, dass die reelle Interaktionsleistung unmittelbar Teil der Bewertung sein kann.

Literatur

- [1] SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee. (2018). Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems (J3016_201806). SAE International, Warrendale, USA.
- [2] Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.
- [3] National Transportation Safety Board. (2017). Collision Between a Car Operating With Automated Vehicle Control Systems and a Tractor-Semitrailer Truck Near Williston, Florida May 7, 2016. NTSB/HAR-17/02 PB2017-102600 Notation 56955.
- [4] Kaussner, Y., Hoffmann, S., Fischer, F. & Kenntner-Mabiala, R. (2013). SPDE_DFA: S.A.F.E.: Anleitung zur Durchführung von Fahrverhaltensbeobachtungen mit der Standardized Application for Fitness to Drive Evaluations (S.A.F.E.) am Tablet-PC. Würzburg.
- [5] Kaussner, Y. (2013). *Assessment of driver fitness: An alcohol calibration study in a high-fidelity simulation*. Paper presented at the Fit to Drive 7th International Traffic Expert Congress, Berlin, 25.04.-26.04.2013.
- [6] Neukum, A., & Krüger, H.-P. (2003). Fahrerreaktionen bei Lenksystemstörungen - Untersuchungsmethodik und Bewertungskriterien. In VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.), *Reifen-Fahrwerk-Fahrbahn, VDI-Berichte Nr. 1791*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- [7] Victor, T. W., Tivesten, E., Gustavsson, P., Johansson, J., Sangberg, F., & Ljung Aust, M. (2018). Automation expectation mismatch: Incorrect prediction despite eyes on threat and hands on wheel. *Human Factors*, 60(8), 1095-1116.
- [8] EuroNCAP (2018). Automatisiertes Fahren. <https://www.euroncap.com/de/fahrzeugsicherheit/sicherheitskampagnen/2018-automatisiertes-fahren/>, abgerufen am 11.12.2019.