

## Kontaktanaloges Head-Up Display bei Fehlfunktion einer Fahrzeugautomation

Thomas Weißgerber<sup>\*</sup> und Klaus Bengler<sup>†</sup>

**Zusammenfassung:** Die Fahrzeugautomatisierung ermöglicht es dem Fahrer zunehmend Fahraufgaben zu delegieren. Dadurch ist der Fahrer verstärkt auf Systemrückmeldungen über Systemzustand und Systemabsicht der Automation angewiesen, die ihm in kritischen Situationen helfen sollen schnell und richtig einzugreifen. Dabei stellen Fehlfunktionen des Systems eine Herausforderung dar. Diese Probandenstudie untersucht deshalb den Einfluss eines kontaktanalogen Head-Up Displays (MIT\_kHUD und OHNE\_kHUD) auf das Übernahmeverhalten des Fahrers bei einer wiederholten Fehlfunktion (FF1 und FF2) der Fahrzeugautomation. Statistisch lässt sich bei der verwendeten Stichprobengröße kein Einfluss der Art der Anzeige und der Wiederholung der Fehlfunktion (Lerneffekt) auf die Häufigkeit der Kollisionen und die Eingriffsart (Bremsen, Lenken, Kombiniert) nachweisen. Die Art der Anzeige hat keinen Einfluss auf die Übernahmezeit und die minimale Time to collision. Durch die Wiederholung der Fehlfunktion nimmt bei den beiden Gruppen MIT\_kHUD und OHNE\_kHUD die Übernahmezeit ab und die Time to collision zu. Eine Blickauswertung zeigt, dass mindestens 75% der Probanden MIT\_kHUD zum Zeitpunkt der Fehlfunktion das kHUD wahrnehmen konnten.

**Schlüsselwörter:** Fehlfunktion, kontaktanaloges Head-Up Display, Teilautomatisierung, Übernahmezeit

### 1 Einleitung

Seit einigen Jahren finden im Bereich des automatisierten Fahrens starke Forschungsaktivitäten statt. Einen Schwerpunkt bilden die Untersuchung und die Modellierung von Übernahmesituationen an Systemgrenzen, die durch eine kontrollierte Übergabe der Fahraufgabe vom System an den Fahrer gekennzeichnet sind [1]. Da Systemfehler vorkommen können und unkontrollierte Übernahmesituationen erzeugen, müssen auch Fehlfunktionen automatisierter Fahrzeuge in Untersuchungen berücksichtigt werden [2]. Um kritische Übernahmesituationen zu entschärfen, soll die Kooperationsfähigkeit von Fahrer und Automation gestärkt werden [3]. Ein zentraler Baustein der kooperativen Fahrzeugführung ist der Informationsaustausch zwischen Automation und Fahrer [4]. Aus ihm ergibt sich die Anforderung einer visuellen Rückmeldung über Systemzustand und Systemabsicht [5]. Eine gute Möglichkeit bietet

---

<sup>\*</sup> Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München (weissgerber@lfe.mw.tum.de).

<sup>†</sup> Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München (bengler@lfe.mw.tum.de).

das kontaktanaloge Head-Up Display durch seine ortskorrekte Darstellungsform [6]. Bereits existierende Studien zu Kontaktanalogie und fehlerhafter Automation liefern noch kein klares Bild zur Potentialeinstufung eines kontaktanalogen Head-Up Displays: Vorgängerstudien befassten sich mit der Falscherkennung des Fahrstreifens auf der Autobahn [7], Falscherkennung des Fahrstreifens in einer Baustellensituation [8] und die Fehlerkennung von Geschwindigkeitsschildern [9].

Diese Studie soll aufzeigen, ob die Art der visuellen Rückmeldung über den Systemzustand bei Auslösen einer Fehlfunktion in der Längsführung das Übernahmeverhalten des Fahrers in einem automatisierten Fahrzeug beeinflussen kann. Dazu wurde als Baseline eine seriennahe Visualisierung im Kombiinstrument einem zusätzlichen kontaktanalogen Head-Up Display gegenübergestellt. Beide Anzeigen liefern dem Fahrer die grundlegenden Informationen, welche für die Funktionserfüllung regelrelevanten Objekte vom System erkannt sind. Folgende zwei Forschungsfragen werden verfolgt:

- Beeinflusst eine kontaktanaloge Anzeige die Übernahmezeit?
- Beeinflusst eine kontaktanaloge Anzeige die Kollisionshäufigkeit?

Die vorliegende Studie entstand im Projekt „H-Mode2KFF“ [10], das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wurde.

## 2 Methodik

Das Experiment wurde im statischen Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ergonomie (TUM) durchgeführt. Die Front- und die Rückansicht wird über jeweils 3 Projektionsflächen realisiert. Die Versuchsreihe wurde ohne die Projektionsfläche vorne rechts durchgeführt, da ein Beamer defekt war. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind davon nicht betroffen. Die Simulationssoftware SILAB<sup>TM</sup> des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW) stellt die Simulationsumgebung bereit und zeichnet die fahrdynamischen Daten auf. Zusätzlich wurden Blickdaten mit dem Blickerfassungssystem Dikablis<sup>tm</sup> aufgenommen.

### 2.1 Automationsumfang

Die implementierte Automation setzte sich aus den Einzelkomponenten eines Abstandsregeltempomaten (ACC) mit einer Verkehrszeichenerkennung für die Längsführung und einem Spurhalteassistent (LKAS) mit einer Spurwechselunterstützung (LCS) für die Querführung zusammen. Der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug war fest voreingestellt auf 2,2 Sekunden und konnte von den Probanden nicht verändert werden. Bei freier Fahrt wurde das Tempolimit mittels einer Verkehrszeichenerkennung in die Geschwindigkeitsregelung übernommen. Ein Fahrstreifenwechsel konnte vom Probanden durch das Betätigen des Blinkers initiiert werden. Der Fahrstreifenwechsel musste vorher von den Probanden durch Schulter-/Spiegelblick abgesichert werden. Die Automation konnte über einen Knopf an der Lenkradspeiche aktiviert und deaktiviert werden. Zusätzlich konnte die Automation über Brems- und Lenkeingriffe deaktiviert werden.

## 2.2 Anzeigekonzept

Abbildung 1 zeigt das Anzeigekonzept im kHUD und Kombiinstrument. Beiden Anzeigekonzepten ist gemeinsam, dass sie durch drei Symbole die wesentlichen Funktionen der Automation visualisieren. Für die Längsregelung relevante Objekte werden markiert oder mittels Symbol angezeigt, um dem Fahrer zu vermitteln, welche Objekte die simulierte Umfelderkennung erfasst hat. In der kontaktanalogen Variante werden erkannte Verkehrszeichen durch einen Rahmen markiert, während im Kombiinstrument das erkannte Tempolimit durch einen Pfeil im Zahlenkranz des Tachos angezeigt wird. Der erkannte Fahrstreifen wird kontaktanalogue durch eine mittig im Fahrstreifen positionierte Trajektorie markiert. Auf konventionelle Weise wird die Fahrstreifenenerkennung durch ein Lenkradsymbol mit Fahrstreifenmarkierung repräsentiert. Die dritte Funktion des ACC wird durch eine kontaktanalogue Klammer am vorausfahrenden Fahrzeug bzw. durch ein Fahrzeugsymbol im Kombiinstrument verdeutlicht.

Probanden in der Bedingung MIT\_kHUD hatten sowohl die Anzeige des kHUD, als auch das Kombiinstrument zur Verfügung. Probanden der Bedingung OHNE\_kHUD hatten nur das Kombiinstrument, um den Systemzustand abzufragen.

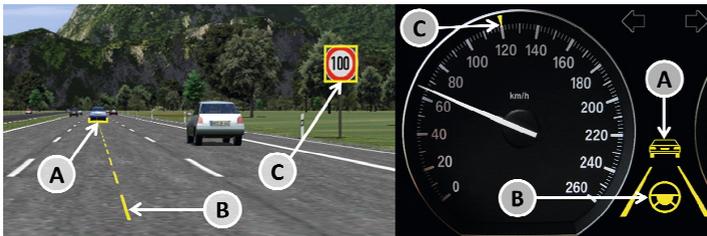


Abbildung 1: LINKS - Anzeigesymbole A) Klammer, B) Trajektorie und C) Rahmen im kHUD; RECHTS - Anzeigesymbole A) Fahrzeug, B) Lenkrad mit Fahrstreifenmarkierung und C) Pfeil im Kombiinstrument.

## 2.3 Versuchsstrecke und Probandenanweisungen

Die Versuchsstrecke war für alle Probanden über die Bedingungen hinweg identisch. Auf der dreistreifigen Autobahn wurden mehrere Fahrmanöver, wie Geschwindigkeitswechsel und Fahrstreifenwechsel durchgeführt. Die erste Fehlfunktion (FF1) tritt 11 Minuten und die zweite Fehlfunktion (FF2) tritt 16 Minuten nach Fahrtbeginn auf. Die Fehlfunktionen sind identisch.

Die Probanden wurden mit der Information eingeladen die Nutzung und Gebrauchstauglichkeit der bestehenden Automation zu testen. Sie wurden über den Automatisierungsgrad „teilautomatisiert“ [2] bzw. „Level 2 – Combined Function Automation“ [11] und die damit verbundene Verpflichtung das System dauerhaft zu überwachen aufgeklärt. Ihnen wurde verdeutlicht, dass bei derzeitiger Gesetzeslage der Hersteller keine Haftung übernimmt, sondern allein der Fahrzeugführer haftet.

Um den Probanden eine dauerhafte visuelle Überwachung des Systems zu ermöglichen, wurde ihnen eine leichte akustische Nebenaufgabe gegeben. Es wurden Zahlen von eins bis neun wiedergeben. Jede „Zwei“ und „Sieben“ mussten die Probanden mit einem „Ja“ bestätigen. Die Versuchsdauer war damit sehr kurz und die Aufgabe nicht sehr fordernd. Daher kann bei den Probanden von einem mittleren Aktivierungsniveau ausgegangen werden, das nicht überfordernd war und die Vigilanzproblematik nicht betrifft.

#### 2.4 Situation Fehlfunktion

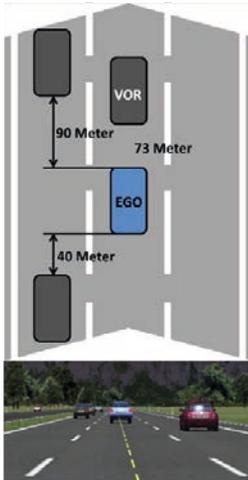


Abbildung 2: Draufsicht der Verkehrssituation und kHUD aus der Sicht des Fahrers zum Zeitpunkt der Fehlfunktion.

Messwiederholung auf dem Faktor Fehlfunktion (FF1, FF2) gewählt. Beide Probandengruppen sollten in Abhängigkeit der Anzeigenart einen Erstkontakt mit einer Fehlfunktion erleben, um den Einfluss der Übernahmezeiten in Abhängigkeit der Anzeigenart zu ermitteln. Durch die Wiederholung der Fehlfunktion sollen bewusst Lerneffekte ermittelt werden.

Die Probandengruppe MIT\_kHUD (N=21) war zwischen 24 und 66 Jahren alt (M=41.5 Jahre, SD=15.5 Jahre) und bestand aus 7 Frauen und 14 Männern. Der Führerscheinbesitz wurde mit M=23.6 Jahre (SD=15.5 Jahre) angegeben. Die Probandengruppe OHNE\_kHUD (N=21) war zwischen 22 und 66 Jahren alt (M=43.3 Jahre, SD=17.2 Jahre) und bestand aus 7 Frauen und 14 Männern. Der Führerscheinbesitz wurde mit M=26.0

Ego Fahrzeug und vorausfahrendes Fahrzeug bewegen sich bis zum Auslösen der Fehlfunktion konstant mit 120 km/h und einer Zeitlücke von 2,2 s. Das Vorliegen einer Fehlfunktion kann der Fahrer im kHUD durch das Fehlen der Klammer am vorausfahrenden Fahrzeug (siehe Abbildung 2 unten) und/oder durch das Erlöschen des Fahrzeugsymbols im Kombiinstrument (siehe Abbildung 1 rechts) erkennen. Abbildung 2 zeigt die Verkehrssituation zum Zeitpunkt der Fehlfunktion. Der Verkehr auf dem linken Nachbarstreifen lässt einen Fahrstreifenwechsel zur Situationsbewältigung zu. Mit dem Auslösen der Fehlfunktion beginnt das vorausfahrende Fahrzeug mit einer Verzögerung von 5 m/s<sup>2</sup> auf eine Geschwindigkeit von 70 km/h. Dem Fahrer bleiben 6,6 s bis zur Kollision. Dieses Szenario mit einer konstanten Geschwindigkeit des Ego Fahrzeugs wurde gewählt, da die kinästhetischen Einflüsse durch Beschleunigung oder Verzögerung im Fahrsimulator nicht nachempfunden werden können und damit schwerer auf die Realität übertragbar wären.

#### 2.5 Versuchsdesign und Probandenkollektiv

Es wurde eine unverbundene Stichprobe auf dem Faktor Anzeige (MIT\_kHUD, OHNE\_kHUD) mit einer Faktor Fehlfunktion (FF1, FF2) gewählt. Beide Probandengruppen sollten in Abhängigkeit der Anzeigenart einen Erstkontakt mit einer Fehlfunktion erleben, um den Einfluss der Übernahmezeiten in Abhängigkeit der Anzeigenart zu ermitteln. Durch die Wiederholung der Fehlfunktion sollen bewusst Lerneffekte ermittelt werden.

Jahre (SD=16.9 Jahre) angegeben. Die Probandengruppen sind in ihrem Alter, der Geschlechterverteilung und in der Dauer des Führerscheinesbesitzes gut vergleichbar.

### 3 Ergebnisse

Die abhängige Variable zur Bewertung der Anzeigenart ist in die Häufigkeit der Kollisionen, die Eingriffsart, die Übernahmezeit, die minimale Time to collision (TTC) und die Häufigkeit der Probanden mit einer Blickzuwendung auf das vorausfahrende Fahrzeug zum Zeitpunkt der Fehlfunktion. Alle Tests verwenden ein Signifikanzniveau von 5%.

#### 3.1 Kollisionen

Abbildung 3 zeigt die Häufigkeit der Kollisionen in den verschiedenen Versuchsbedingungen. Ein McNemar Test mit der Edwards Korrektur von 1,0 zeigt bei beiden Gruppen mit  $p_{MIT}=,500$  und  $p_{OHNE}=1,00$  (zweiseitige exakte Signifikanz) keinen Unterschied in der Kollisionshäufigkeit bezüglich der Wiederholung der Fehlfunktion. Ein exakter Test nach Fisher zeigt bei beiden Fehlfunktionen  $p_{FF1}=1,000$  und  $p_{FF2}=1,000$  (zweiseitig exakte Signifikanz) keinen Unterschied in der Kollisionshäufigkeit zwischen den Gruppen. Damit haben weder die Art der Anzeige noch die Wiederholung der Fehlfunktion einen Einfluss auf die Häufigkeit der verursachten Kollisionen.

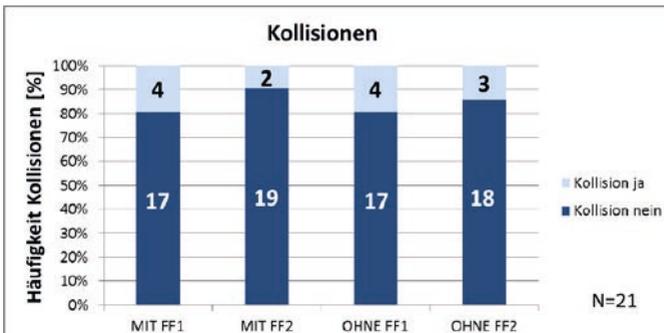


Abbildung 3: Häufigkeit der Kollisionen in Prozent und Absolutwerten, aufgeteilt nach der Art der Anzeige und der Fehlfunktion.

Ungefähr 10%-20% der Probanden in beiden Gruppen und Fehlfunktionen konnten eine Kollision nicht verhindern. Bei der Bedingung MIT\_kHUD ist zu vermerken, dass die zwei Probanden mit einer Kollision in FF2 bereits in FF1 eine Kollision verursacht haben. Diese zwei Probanden zeigten keinen Lerneffekt. Die vier Probanden der Gruppe OHNE\_kHUD mit einer Kollision in FF1 entsprechen nicht den drei Probanden mit einer Kollision in FF2. Damit haben sich vier Probanden von FF1 zu FF2 verbessert und sich

drei andere Probanden verschlechtert. In der Gruppe OHNE\_kHUD hat jeweils ein Proband in FF1 und FF2 eine Kollision mit der Mittelleitplanke verursacht. Alle anderen Kollisionen betreffen das vorausfahrende Fahrzeug.

### 3.2 Eingriffsart

Abbildung 4 zeigt die Häufigkeit der Eingriffsarten Kombiniert, Lenken und Bremsen in den verschiedenen Versuchsbedingungen. Als kombinierte Eingriffsart wurde gewertet, wenn Brems- und Lenkeingriff innerhalb einer Sekunde stattfanden. Die Reihenfolge der Eingriffsart in einem kombinierten Eingriff wurde nicht berücksichtigt. Folgende Tests wurden mit dem exakten Test nach Fisher berechnet und der p-Wert mit der 2-seitigen exakten Signifikanz angegeben.

Ein Vergleich der Gruppen in FF1 ( $\chi^2(2)=.826$ ,  $p=1.00$ ) und FF2 ( $\chi^2(2)=3.102$ ,  $p=.178$ ) zeigt keinen Unterschied in der Eingriffsart bedingt durch die Art der Anzeige. Die Wiederholung der Fehlfunktion hat in der Gruppe MIT\_kHUD ( $\chi^2(2)=2.221$ ,  $p=.395$ ) und in der Gruppe OHNE\_kHUD ( $\chi^2(2)=1.197$ ,  $p=.632$ ) keinen Einfluss auf die Eingriffsart. Somit haben weder die Art der Anzeige noch die Wiederholung der Fehlfunktion einen signifikanten Einfluss auf die gewählte Eingriffsart.

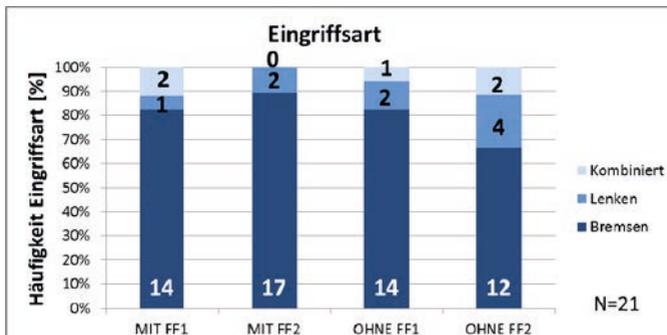


Abbildung 4: Häufigkeit der Eingriffsart (Kombiniert, Lenken und Bremsen) des ersten Eingriffs nach Auftreten der Fehlfunktion in Prozent und Absolutwerten, aufgeteilt nach der Art der Anzeige und der Fehlfunktion.

### 3.3 Übernahmezeit

Abbildung 5 zeigt die mittlere Übernahmezeit mit Standardabweichung für die Versuchsbedingungen. Eine Übernahme ist in der Querführung für einen Lenkwinkel über zwei Grad und in der Längsführung für einen Bremsdruck über 25% definiert. Zur statistischen Berechnung wurde eine einfaktorische Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Faktor Anzeige ( $F_A$ ) für MIT\_kHUD und OHNE\_kHUD und die Messwiederholung der Fehlfunktion ( $F_{FF}$ ) für FF1 und FF2 verwendet.

Die Art der Anzeige hat keinen Einfluss auf die Übernahmezeit ( $F_A(1,29)=0.912$ ,  $p=.348$ ,  $\eta^2=.030$ ). Eine Interaktion zwischen Anzeige und Fehlfunktion ist nicht zu erkennen ( $F_{FF*A}(1,29)=0.168$ ,  $p=.685$ ,  $\eta^2=.006$ ). Es ist ein großer Innersubjekteffekt bei der Wiederholung der Fehlfunktion nachzuweisen ( $F_{FF}(1,29)=16.714$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.366$ ). Damit hat die Art der Anzeige keinen Einfluss auf die Übernahmezeit. Durch die Wiederholung der Fehlfunktion verkürzen sich die Übernahmezeiten und belegen einen deutlichen Lerneffekt. Der Lerneffekt ist bei beiden Gruppen vergleichbar, da keine Interaktionseffekte bestehen. Geringere Standardabweichungen bei FF2 im Vergleich zu FF1 zeigen, dass die Probanden sich in der Übernahmezeit angeglichen haben.

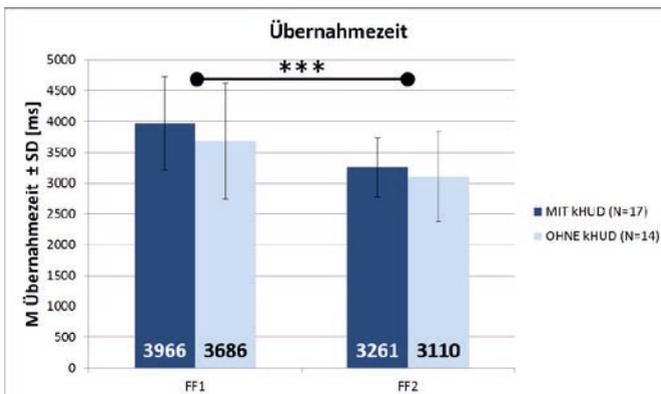


Abbildung 5: Mittlere Übernahmezeit mit Standardabweichung nach Eintritt der Fehlfunktion.

### 3.4 Time to collision (TTC)

Abbildung 6 zeigt die mittlere minimale Time to collision mit Standardabweichung. Die TTC kann als Beurteilungsgröße für den Fahrer gesehen werden, der seine Handlungen aus ihr ableitet [12] zitiert aus [13]. Die TTC errechnet sich aus:  $TTC=d/v_{diff}$ , mit  $d$ =Abstand der Fahrzeuge und  $v_{diff}$ =Differenzgeschwindigkeit der Fahrzeuge. Für konstant verzögernde Hindernisfahrzeuge gibt es die Enhanced TTC [14]. Sie wird hier nicht verwendet, da im betrachteten Intervall die Verzögerung des vorausfahrenden Fahrzeugs bereits beendet ist.

Der Faktor Anzeige hat keinen Einfluss auf die TTC ( $F_A(1,29)=0.216$ ,  $p=.646$ ,  $\eta^2=.$ ). Es gibt keine Interaktion zwischen Anzeige und Fehlfunktion ( $F_{FF*A}(1,29)=0.140$ ,  $p=.711$ ,  $\eta^2=.005$ ). Es gibt einen großen Innersubjekteffekt bei der Wiederholung der Fehlfunktion ( $F_{FF}(1,29)=13.028$ ,  $p=.001$ ,  $\eta^2=.310$ ).

Damit hat die Art der Anzeige in diesem Versuch keinen signifikanten Einfluss auf die TTC. Durch die Wiederholung der Fehlfunktion vergrößert sich die TTC und belegt einen

deutlichen Lerneffekt. Der Lerneffekt ist bei beiden Gruppen vergleichbar, da kein Interaktionseffekt besteht.

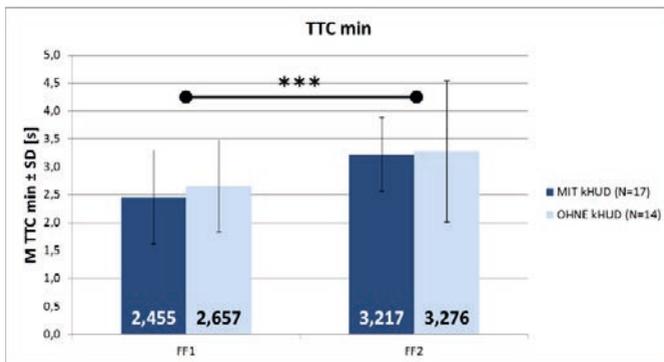


Abbildung 6: Mittlere minimale Time to collision (TTC) mit Standardabweichung.

### 3.5 Blick voraus

Abbildung 7 zeigt die Anzahl der Probanden mit Blick voraus auf das vorausfahrende Fahrzeug zum Zeitpunkt der Fehlfunktion. Ein McNemar Test zeigt bei beiden Gruppen mit  $p_{MIT}=.625$  und  $p_{OHNE}=1.000$  (zweiseitig exakte Signifikanz) keinen Unterschied in der Blickhäufigkeit bezüglich der Wiederholung der Fehlfunktion. Ein exakter Test nach Fisher zeigt bei beiden Fehlfunktionen  $p_{FF1}=.505$  und  $p_{FF2}=.277$  (zweiseitig exakte Signifikanz) keinen Unterschied in der Blickhäufigkeit zwischen den Gruppen. Damit haben weder die Art der Anzeige noch die Wiederholung der Fehlfunktion einen Einfluss auf die Häufigkeit der Blickzuwendungen.

Die Blickhäufigkeit zeigt, dass ca. 75% der Probanden MIT\_kHUD auf das vorausfahrende Fahrzeug geblickt haben und damit die Möglichkeit hatten das Verschwinden der Klammer zu bemerken. Zwei Probanden in der Bedingung MIT\_FF1 und drei Probanden in der Bedingung MIT\_FF2 blickten maximal 200ms nach Auslösen der Fehlfunktion wieder voraus. Jeweils ein Proband blickte in den linken Außenspiegel und den Gegenverkehr und drei Probanden auf ein auf dem rechten Fahrstreifen vorausfahrendes Fahrzeug. Mit großer Wahrscheinlichkeit haben sie das Ausblenden der Klammer bemerkt und deshalb innerhalb der 200ms wieder auf das vorausfahrende Fahrzeug geblickt. Damit würde sich die Anzahl der Probanden, die das Ausblenden der Klammer am vorausfahrenden Fahrzeug wahrgenommen haben nochmal erhöhen.

Der Nachweis der Blickzuwendung der Probandengruppe MIT\_kHUD ist an dieser Stelle wichtig, da sonst zwei Fahrten OHNE\_kHUD verglichen worden wären.

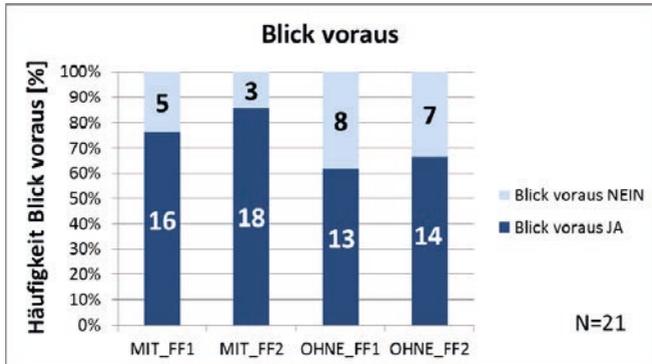


Abbildung 7: Häufigkeit des Blicks voraus auf das vorausfahrende Fahrzeug zum Zeitpunkt der Fehlfunktion.

#### 4 Zusammenfassung und Diskussion

Weder die Art der Anzeige noch die Wiederholung der Fehlfunktion haben einen Einfluss auf die Häufigkeit der verursachten Kollisionen. Der vermutete Effekt durch die Wiederholung der Fehlfunktion, also durch den Lerneffekt, wurde im Vorfeld des Versuchs höher eingeschätzt als der Effekt durch die Art der Anzeige. Dass nicht einmal der Lerneffekt nachzuweisen war, wird auf die zu geringe Stichprobengröße für Häufigkeitsverteilungen zurückgeführt. Alternativ könnte eine kritischere Situation mehr Kollisionen provozieren, die eine gleichmäßigere Befüllung der Zellen des Vierfelder-Tests ermöglicht und den Test aussagefähiger macht. Einzelfallbetrachtungen der Probanden zeigten, dass ein Lerneffekt bei beiden Gruppen vermutet werden kann. Allerdings zeigt die Gruppe OHNE\_kHUD durch die Verschlechterung von drei Probanden einen gegenläufigen Trend an. Ursache hierfür könnte sein, dass die Probanden nach dem Erleben der ersten Fehlfunktion kein ausgereiftes mentales Modell bezüglich des Automationsverhaltens und einer bestehenden Fehlerwahrscheinlichkeit aufbauen konnten. Beängstigend ist, dass unabhängig von der Art der Anzeige bei Erstkontakt einer Fehlfunktion (siehe Abbildung 3: MIT\_FF1 und OHNE\_FF1) jeweils fast 20% der Probanden eine Kollision verursacht haben.

Weder die Art der Anzeige noch die Wiederholung der Fehlfunktion haben einen Einfluss auf die Eingriffsart der Probanden. Einzelfallbetrachtungen lassen eine Vermutung auf persönliche Präferenzen zu, die aber eine untergeordnete Rolle spielen dürften. Die Auslegung des Szenarios dominiert in der Wahl der Eingriffsart. Hier war ein Bremsmanöver zur Kollisionsvermeidung ausreichend. Ein Fahrstreifenwechsel war nicht nötig.

Die Art der Anzeige hat keinen Einfluss auf die Übernahmezeit. Die Übernahmezeit nimmt bei Wiederholung der Fehlfunktion stark ab. Da kein Interaktionseffekt vorliegt, gilt die Aussage für beide Gruppen. Die Übernahmezeiten der Probanden gleichen sich bei der 2. Fehlfunktion an.

Die Art der Anzeige hat keinen Einfluss auf die minimale TTC. Durch die Wiederholung der Fehlfunktion vergrößert sich die TTC und belegt einen starken Lerneffekt. Der Lerneffekt ist bei beiden Gruppen vergleichbar, da kein Interaktionseffekt besteht.

Weder die Art der Anzeige noch die Wiederholung der Fehlfunktion haben einen Einfluss auf die Häufigkeit mit der Probanden zum Zeitpunkt der Fehlfunktion den Blick auf das vorausfahrende Fahrzeug gerichtet hatten. Viel wichtiger ist hier der Nachweis, dass 16 Probanden (ca. 75%) in der Bedingung MIT\_FF1 und 18 Probanden (ca. 85%) in der Bedingung MIT\_FF2 die Klammer am vorausfahrenden Fahrzeug wahrgenommen haben können. Die Anzahl der Probanden erhöht sich auf 18 (ca.85%) und 21 (100%), wenn Probanden, die innerhalb von maximal 200ms wieder voraus blickten, dazugerechnet werden.

## Literatur

- [1] Gold, C. (2016). *Modeling of Take-Over Performance in Highly Automated Vehicle Guidance*. Dissertation, Technische Universität München. Garching.
- [2] Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Eier, J., Flemisch, F. et al. (2012). *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung: Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW (Berichte der BAST, Reihe Fahrzeugtechnik, Heft F 83).
- [3] Bengler, K. & Flemisch, F. O. (2011). Von H-Mode zur kooperativen Fahrzeugführung: Grundlegende ergonomische Fragestellungen. In R. Bruder & H. Winner (Hrsg.), *Mensch + Fahrzeug. Zukunft der Fahrzeugführung kooperativ oder autonom?* (S. 69–76). Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- [4] Bruder, R., Franz, B., Kauer, M. & Schreiber, M. (2011). Fahrerverhalten bei einer kooperativen Fahrer-Fahrzeug-Interaktion. In R. Bruder & H. Winner (Hrsg.), *Mensch + Fahrzeug. Zukunft der Fahrzeugführung kooperativ oder autonom?* (S. 1–11). Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- [5] Damböck, D., Weißgerber, T., Kienle, M. & Bengler, K. (2013). Requirements for Cooperative Vehicle Guidance. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the 16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems. ITSC 2013*. The Hague, The Netherlands.
- [6] Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E. & Vollrath, M. (2015). *Automobilergonomie* (1. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [7] Damböck, D., Weißgerber, T., Kienle, M. & Bengler, K. (2012). Evaluation of a Contact Analog Head-Up Display for Highly Automated Driving, In *4th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, San Francisco, California. USA.

- [8] Weißgerber, T., Damböck, D., Kienle, M. & Bengler, K. (2012). Auswirkung einer kontaktanalogen Anzeige auf die Querführung hochautomatisierter Fahrzeuge, In 28. VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit, Wolfsburg.
- [9] Weißgerber, T., Damböck, D., Kienle, M. & Bengler, K. (2012). Erprobung einer kontaktanalogen Anzeige für Fahrerassistenzsysteme beim hochautomatisierten Fahren. In TÜV SÜD Akademie GmbH (Hrsg.), 5. Tagung Fahrerassistenz. Schwerpunkt Vernetzung (Bd. 5). München.
- [10] Flemisch, F. O., Adams, C. A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T. & Schutte, P. C. (Dezember 2003). *The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction* (NASA Center for AeroSpace Information, Hrsg.) (NASA/TM - 2003-212672 Nr. 301-621-0390). Hanover, Maryland: NASA Langley Research Center, Hampton.
- [11] National Highway Traffic Safety Administration. (2013). *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles*. Verfügbar unter [https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/automated\\_vehicles\\_policy.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/automated_vehicles_policy.pdf).
- [12] Färber, B. (1986). Abstandswahrnehmung und Bremsverhalten von Kraftfahrern im fließenden Verkehr. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 32 (1), 9-13.
- [13] Abendroth, B. & Bruder, R. (2015). Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3., überarbeitete und ergänzte Auflage, S. 3–15). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [14] Winner, H. (2015). Grundlagen von Frontkollisionsschutzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3., überarbeitete und ergänzte Auflage, S. 893–912). Wiesbaden: Springer Vieweg.