

# Mensch-Maschine-Interaktion bei manuellem und automatisiertem kooperativen Fahren an Auffahrten und Kreuzungen

Ann-Kathrin Kraft\*, Christian Maag\*, Alexandra Neukum\* und Martin Baumann†

**Zusammenfassung:** Kooperatives Fahren erleichtert an Auffahrten und Kreuzungen das Einfahren anderer Fahrzeuge, indem für diese eine Lücke erstellt wird. Dies kann durch eine technische Kommunikation und Abstimmung zwischen den beteiligten Fahrzeugen unterstützt werden. Die Probandenstudie im Fahrsimulator evaluiert verschiedene Konzepte von Mensch-Maschine-Schnittstellen eines Assistenzsystems für manuelles und automatisiertes kooperatives Fahren beim Auffahren auf die Autobahn und Linkseinbiegen auf Landstraßen. Die Evaluationsergebnisse zeigen, dass alle untersuchten Systemvarianten hilfreich und verständlich sind. Allerdings bevorzugen die Fahrer eine Darstellung, die das natürliche Blickverhalten unterstützt, indem Informationen in der Windschutzscheibe und der Fahrumgebung angezeigt werden. Insgesamt führt das System zu häufigeren erfolgreichen kooperativen Interaktionen.

**Schlüsselwörter:** Fahrsimulation, Kooperatives Fahren, Mensch-Maschine-Interaktion, Probandenstudie

## 1 Einleitung

Kooperatives Fahren ist ein Verhalten im Straßenverkehr, bei dem Verkehrsteilnehmer Fahrmanöver gemeinsam planen und umsetzen. Dies kann bedeuten, dass ein Verkehrsteilnehmer auf das eigene Recht verzichtet und dem Mobilitätswunsch eines Anderen Vorrang gewährt [1] [2]. Statt nur auf seine eigenen Ziele fokussiert zu sein, verzichtet der kooperative Fahrer für andere auf seine Vorfahrt, um das gesamte System möglichst leistungsfähig zu machen [3]. Auf diese Weise kann die Effizienz verbessert und die Beanspruchung beim Fahren reduziert werden – insbesondere in schwierigen Situationen wie z.B. dem Einfädeln auf eine Autobahn [4] [5] oder dem Linksabbiegen [6] [7].

Eine kooperative Abstimmung zwischen Fahrern findet aktuell hauptsächlich über Gesten, Signale (z.B. Lichthupe) und entsprechendes Fahrverhalten (z.B. Öffnen einer Lücke) statt

---

\* Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) GmbH, Robert-Bosch-Str. 4, 97209 Veitshöchheim ([kraft@wivw.de](mailto:kraft@wivw.de), [maag@wivw.de](mailto:maag@wivw.de), [neukum@wivw.de](mailto:neukum@wivw.de)).

† Abteilung Human Factors, Universität Ulm, Albert-Einstein-Allee 43, D-89069 Ulm ([martin.baumann@uni-ulm.de](mailto:martin.baumann@uni-ulm.de)).

[1]. Dennoch kommt es immer wieder zu Missverständnissen zwischen den Beteiligten [3]. Frühere Arbeiten zu kooperativen Spurwechselmanövern auf der Autobahn weisen darauf hin, dass eine technisch unterstützte Kommunikation zwischen den potentiellen Kooperationspartnern die Häufigkeit einer Kooperation erhöhen kann [8] [9]. Demzufolge könnte eine technisch unterstützte Kommunikation und Abstimmung zwischen den beteiligten Fahrzeugen an Auffahrten und Kreuzungen ebenfalls kooperatives Fahren erleichtern und helfen, kritische Situationen zu vermeiden. Um dieses Ziel zu erreichen, sind intuitive Konzepte für die Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) notwendig, damit Fahrer die kooperative Manöverabstimmung akzeptieren und Fahrempfehlungen korrekt und sicher umsetzen können [10] [11].

Neben der Verbesserung des Verkehrsablaufs bei manuell gesteuerten Fahrzeugen, kommt der kooperativen Manöverabstimmung vor dem Hintergrund zunehmender Fahrzeugautomatisierung eine wachsende Bedeutung zu [12]. Da zunehmende Automatisierungsgrade auf maximale Sicherheit und hohen Komfort zielen sollten [13], verhalten sich automatisierte Fahrzeuge voraussichtlich defensiver als der Durchschnittsfahrer. So können bei hohen Verkehrsdichten in bestimmten Situationen (z.B. an Auffahrten und Kreuzungen) nur durch kooperatives Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer ausreichend große Lücken für automatisierte Fahrzeuge bereitgestellt werden. Auch hier ergeben sich Herausforderungen für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, um beim Fahrer Akzeptanz und Vertrauen in die automatisierten Fahrfunktionen zu gewährleisten [14].

Im Mittelpunkt der dargestellten Probandenstudie im Fahr Simulator steht die Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle eines Assistenzsystems für manuelles und automatisiertes kooperatives Fahren. Weitere Fragestellungen betreffen den Vergleich der clusterbasierten MMI-Varianten mit einer Benchmark-Variante. Diese wurde in einer Vorstudie entwickelt. Die Darstellung erfolgt über ein Head-Up-Display (HUD) sowie Augmented-Reality (AR)-Elementen. Der Vergleich bezieht neben dem subjektiven Feedback der Probanden (Akzeptanz, Vertrauen), Analysen des Blickverhaltens, der Bedienhandlungen sowie Fahrdaten ein.

Die Studie wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Verbundprojekts IMAGinE (Intelligente Manöver Automatisierung - kooperative Gefahrenvermeidung in Echtzeit) durchgeführt (<http://imagine-online.de>).

## 2 Methodik

### 2.1 Versuchsdesign und -ablauf

Der Proband durchfährt manuell oder automatisiert mit Quer- und Längsregelung (L3 conditional automation, SAE Level 3) [15] prototypische Einfädel- und Abbiegesituationen (siehe Abbildung 1). Das Einfädeln findet von einer ca. 200m langen Auffahrtspur auf eine zweispurige Autobahn mit Verkehr auf beiden Spuren statt. Beim Abbiegen biegt der Proband an einer mit einem Stoppschild geregelten T-Kreuzung nach links auf die Hauptstraße ein, während von links und rechts vorfahrtsberechtigte

Fahrzeuge die Kreuzung befahren. Beide prototypischen Szenarien durchfahren die Probanden sowohl aus kooperationsbedürftiger (Einfädler, Einbieger) als auch aus potentiell kooperationsgewährender (Hauptfahrbahn) Perspektive. Die Probanden erleben die Situationen ohne (Baseline) oder mit Assistenzsystem für die kooperative Manöverabstimmung. Wird mit kooperativem Assistenzsystem gefahren, lernen die Fahrer drei unterschiedliche MMI-Varianten kennen.

Insgesamt werden folgende unabhängigen Variablen variiert: (1) Automatisierung (between-Faktor: manuell vs. automatisiert), (2) MMI-Variante (within-Faktor: HUD&AR, Cluster Dynamisch, Cluster Statisch), (3) Situation (within-Faktor: Einfädeln vs. Linksabbiegen), (4) Fahrerperspektive (within-Faktor: kooperationsgewährend vs. -bedürftig).



Abbildung 1: Kooperationssituation Einfädeln (links) und Linksabbiegen (rechts) jeweils aus Sicht des Kooperationsbedürftigen.

Jeder Proband durchfährt jede Strecke zwei Mal. In der ersten Fahrt lernt der Proband das System kennen. Der Proband wird in dieser Fahrt gebeten laut mitzudenken. In der zweiten Fahrt (Evaluationsfahrt) werden neben Fragebogendaten zur Akzeptanz objektive Daten (Fahrdaten, Blickdaten) erfasst. Der Versuch dauert ca. 2.5 Stunden und die Probanden erhalten eine Aufwandsentschädigung.

## 2.2 Versuchsaufbau

### 2.2.1 Fahrsimulator

Die Studie wurde im statischen High-End-Fahrsimulator der WIVW GmbH durchgeführt (siehe Abbildung 2). Das frontale Sichtfeld deckt einen Winkel von 300° (horizontal) bzw. 47° (vertikal) ab. Das Sichtfeld besteht aus fünf Bildkanälen mit einer Auflösung von je 1400×1050 Punkten, die auf eine flache Leinwand projiziert werden. Die Außenspiegel sind als LCD-Displays ausgeführt. Im Kofferraum simuliert ein Bildschirm die Sicht nach hinten. Der Innenspiegel entspricht daher dem Spiegel im Serienfahrzeug. Die Update-Rate der Grafik beträgt 60 Hz.

Ein Opel Insignia dient als Mockup für den Fahrsimulator. Im Lenkrad wurde eine Lenkkraftsimulation (SensoDrive Lenkmotor) integriert. Zwei LCD-Displays mit je 1024×768 Punkten werden für das Instrumentenfeld, in dem das clusterbasierte MMI dargestellt wird, und für die Navigationshinweise verwendet. Die Soundsimulation verwendet Original-Lautsprecher des Fahrzeugs. Zur Durchführung der Simulation wird ein Rechnernetz bestehend aus neun PCs verwendet, das über 1 Gbit Ethernet verbunden ist. Als Fahrsimulationssoftware wird SILAB® der WIVW GmbH verwendet.



Abbildung 2: Mockup und Sichtsystem des statischen High-End-Simulators (links) und beispielhafte Fahrersicht inkl. Lenkradbutton (durch Pfeil hervorgehoben) zur Bestätigung einer Kooperationsanfrage (rechts).

Der Versuchsleiter im Operatorraum steuert die Simulation und überwacht anhand von Mitschau-Monitoren den Versuch. Über eine Gegensprechanlage kann er jederzeit mit dem Probanden kommunizieren. Neben der Aufzeichnung objektiver Fahrparameter (z.B. Geschwindigkeit, Abstände) und Bedienhandlungen (z.B. Gaspedal, Blinker) werden Blickdaten sowie ein Video der Fahrt aufgezeichnet.

### 2.2.2 MMI-Varianten

Die MMI-Varianten sind beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt. In allen drei untersuchten MMI-Varianten (neben der Baseline) wird der Fahrer über den Status der kooperativen Manöverabstimmung informiert (z.B. für das Einfädeln aus kooperationsbedürftiger Perspektive: „Partner wird gesucht“, „Lücke wird erstellt“, „Umgebung beobachten und einfädeln“, „Kooperation erfolgreich“). Zusätzlich werden in der Variante ‚Cluster Dynamisch‘ die Verkehrssituation und die kooperierenden Partner im Cluster dynamisch visualisiert. Dabei stimmen die zeitlichen (nicht aber die räumlichen) Verhältnisse mit der tatsächlichen Trajektorie der kooperierenden Partner überein (Abbildung 3, links). Die Variante ‚Cluster Statisch‘ arbeitet mit statischen Bildern. Dadurch werden die kooperierenden Partner nicht in Übereinstimmung mit der tatsächlichen Verkehrssituation dargestellt, sondern die Bilder illustrieren die Statusmeldungen der Manöverabstimmung (Abbildung 3, Mitte). Die Variante ‚HUD&AR‘ stellt im Cluster lediglich die gefahrene Geschwindigkeit dar und projiziert den Status direkt vor dem Fahrzeug in die Szenerie und markiert die Partnerfahrzeuge direkt in der Fahrumgebung mit Hilfe eines AR-Elements über den kooperierenden Fahrzeugen.



Abbildung 3: MMI-Variante ‚Cluster Dynamisch‘ (links), ‚Cluster Statisch‘ (Mitte) und ‚HUD&AR‘ (rechts) für die Situation Einfädeln aus kooperationsbedürftiger Perspektive und bei manueller Fahrt.

Im Vergleich zum manuellen Fahren wird das automatisierte Fahren im Cluster vermittelt durch eine blaue Darstellung der gefahrenen Geschwindigkeit (statt weiß), den Text „Automatisiert“ (statt „Manuell“), die Statusinformation z.B. "Ich wechsele die Spur" (statt "Umgebung beobachten und einfädeln").

## 2.3 Stichprobe und Datenanalyse

An der Studie nahmen N=24 Probanden (davon 13 weiblich) im Alter von 19 bis 60 Jahren teil (M = 41.8 Jahre, SD = 13.9 Jahre). Die Probanden wurden aus einem Pool im Fahrsimulator trainierter Probanden rekrutiert. Die Studienteilnehmer berichten im Mittel jährliche Fahrleistungen von ca. 15500 km (SD = 11800 km/Jahr).

Neben deskriptiven Auswertungen werden parametrische Signifikanztests (Varianzanalysen) gerechnet.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Akzeptanz und Präferenz der MMI-Varianten

Am Ende des Versuchs wurden die Probanden gebeten, Ränge für die verschiedenen MMI-Varianten zu vergeben (siehe Abbildung 4). Das Ranking zeigt, dass die Benchmark-Variante ‚HUD&AR‘ sowohl beim manuellen als auch beim automatisierten Fahren am häufigsten präferiert wird. Der Vorsprung der Variante ‚HUD&AR‘ vor der Variante ‚Cluster Dynamisch‘ ist für das automatisierte Fahren deutlich größer als beim manuellen Fahren. Die Probanden begründen ihre Präferenz damit, dass die Variante ‚HUD&AR‘ nicht ablenkt, da die Infos direkt im Verkehrsgeschehen angezeigt werden, der Partner deutlich zu erkennen ist und das MMI am einfachsten zu verstehen ist.

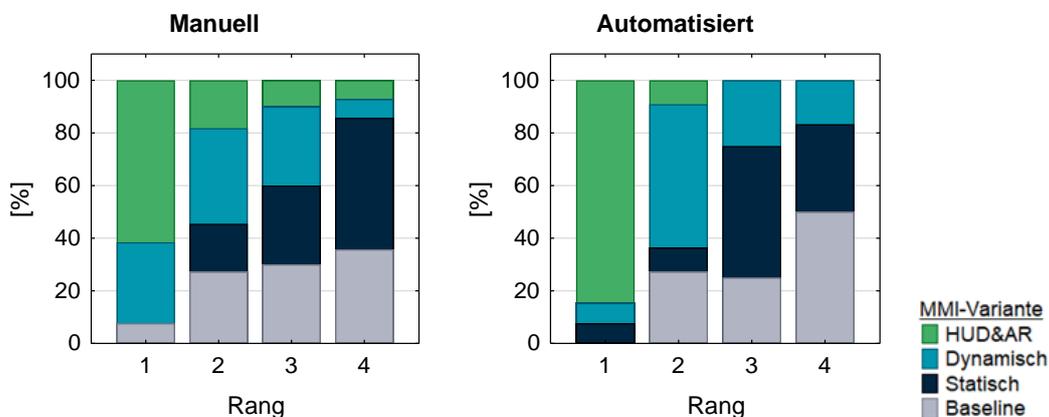


Abbildung 4: Präferenz der MMI-Varianten für das manuelle (links) und automatisierte (rechts) Fahren.

Am zweithäufigsten wird die Variante ‚Cluster Dynamisch‘ präferiert. Die Probanden merken positiv an, dass die Abstände bzw. die Lückengröße realistisch dargestellt werden und angezeigt wird, wo die Lücke ist. Die Variante ‚Cluster Statisch‘ wird am seltensten präferiert, da der Partner nicht eindeutig zu identifizieren ist, manchmal zu wenig Zeit ist, um die Anzeige zu erkennen, zu viel Information angezeigt wird und das System vom Verkehrsgeschehen ablenkt.

Sowohl nach der initialen Kennenlernfahrt als auch nach der Evaluationsfahrt genannten Wiederholung schätzen der Proband und der Versuchsleiter unabhängig voneinander das Systemverständnis des Probanden ein. Die Analyse zeigt, dass nach der Evaluationsfahrt das Systemverständnis im Vergleich zur Abfrage nach der Kennenlernfahrt signifikant

höher ist (Proband:  $F_{1,21} = 56.78$ ,  $p < .001$ ; Versuchsleiter:  $F_{1,22} = 93.97$ ,  $p < .001$ ). Weiterhin unterscheidet sich das Systemverständnis zwischen den MMI-Varianten nach der Kennenlernfahrt signifikant (Proband:  $F_{2,42} = 7.45$ ,  $p = .002$ ; Versuchsleiter:  $F_{2,44} = 14.24$ ,  $p < .000$ ). Während bei der Variante ‚HUD&AR‘ das Systemverständnis sehr hoch ist, sind die Clustervarianten weniger intuitiv verständlich. Dabei ist die Variante ‚Cluster Statisch‘ weniger verständlich als die Variante ‚Cluster Dynamisch‘.

### 3.1.1 Perspektive Kooperationsbedürftig

In den Fahrten mit MMI-Unterstützung werden die Probanden nach jeder Situation befragt, wie hilfreich die Anzeige war (siehe Abbildung 5, links). Die Auswertung für den kooperationsbedürftigen Fahrer zeigt einen Effekt der MMI-Variante ( $F_{2,44} = 17.67$ ,  $p < .001$ ). Die Variante ‚Cluster Statisch‘ wird durchgehend als weniger hilfreich bewertet als die Variante ‚Cluster Dynamisch‘. Am hilfreichsten wird die Variante ‚HUD&AR‘ bewertet. Dies gilt für das manuelle wie das automatisierte Fahren.

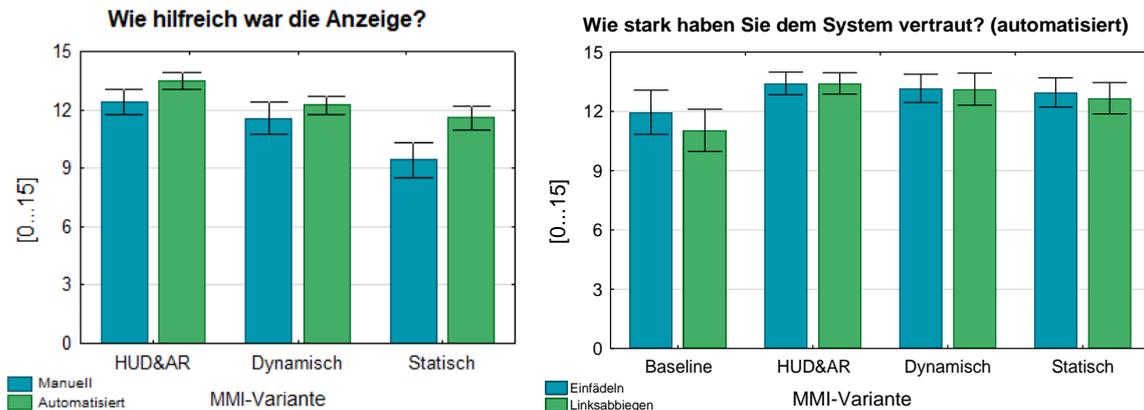


Abbildung 5: Beurteilung, wie hilfreich (links) die Anzeige (links) und wie stark das Systemvertrauen (rechts) war aus der Perspektive des Kooperationsbedürftigen (Mittelwert  $\pm$  95%-Konfidenzintervall).

Die Fahrer beurteilen beim automatisierten Fahren alle Varianten als hilfreicher als beim manuellen Fahren ( $F_{1,22} = 5.52$ ,  $p = .028$ ). Die Anzeige wurde in beiden Situationen als gleich hilfreich beurteilt.

Beim automatisierten Fahren ist das Vertrauen in die Automatisierung mit MMI-Unterstützung höher als ohne Unterstützung ( $F_{3,33} = 13.97$ ,  $p < .001$ ). Zwischen den drei MMI-Varianten und den beiden Situationen gibt es keine signifikanten Unterschiede (siehe Abbildung 5, rechts).

### 3.1.2 Perspektive Kooperationsgewährend

Ähnlich wie aus der Perspektive des Kooperationsbedürftigen wird die MMI-Variante ‚HUD&AR‘ als am hilfreichsten bewertet. Es folgen die Varianten ‚Cluster Dynamisch‘ und ‚Cluster Statisch‘ ( $F_{2,44} = 6.90$ ,  $p = .002$ ). Die Bewertung, wie hilfreich die Anzeige ist, hängt neben der MMI-Variante auch vom Automatisierungsgrad ab (Interaktion MMI-Variante x Automatisierung:  $F_{2,44} = 4.63$ ,  $p = .015$ ). Beim automatisierten Fahren wird die Variante ‚HUD&AR‘ als am hilfreichsten beurteilt. Beim manuellen Fahren werden die Varianten ‚HUD&AR‘ und ‚Cluster Dynamisch‘ als ähnlich hilfreich bewertet.

### 3.2 Blickverhalten und Ablenkung

Die Auswertung der Blickverteilung erfolgt für den Zeitraum von der Aktivierung des Systems (d.h. ab der Meldung „Partner wird gesucht“) bis zum Abschluss der kooperativen Interaktion (d.h. dem Beginn der Meldung „Kooperation erfolgreich“). Um die Ablenkung durch das MMI zu analysieren, wird die Blickverteilung des kooperationsbedürftigen Fahrers auf unterschiedliche Sichtbereiche analysiert (Cluster, Innenspiegel, aus linkem Seitenfenster, aus rechtem Seitenfenster, nach vorne). Die fahrrelevanten Informationen sind dabei in Abhängigkeit von der Situation unterschiedlich und befinden sich für den Einfädler links (Lücke auf Hauptfahrbahn) und frontal (Ende der Einfädelspur) sowie für den Linksabbieger links und rechts (Lücken im Verkehrsstrom auf der Hauptstraße).

Die Blickverteilung weist für beide Situationen auf, dass die Fahrer relativ lange auf den fahrrelevanten Bereich schauen (siehe Abbildung 6). Beim Fahren mit den Clustervarianten wird die Blickdauer auf das Cluster länger (Einfädeln:  $F_{3,27} = 14.29$ ,  $p < .001$ ; Linksabbiegen:  $F_{3,54} = 54.56$ ,  $p < .001$ ). Diese Zuwendung geht auf Kosten fahrrelevanter Sichtbereiche. Das natürlichste Blickverhalten wird bei der MMI-Variante ‚HUD&AR‘ gezeigt.

Beim automatisierten Fahren ist die gesamte Blickdauer in der jeweiligen Situation länger auf das Cluster als beim manuellen Fahren (dies gilt beim Einfädeln nur für die Clustervarianten:  $F_{3,27} = 3.88$ ,  $p = .020$ ; Linksabbiegen:  $F_{1,18} = 6.86$ ,  $p = .017$ ).

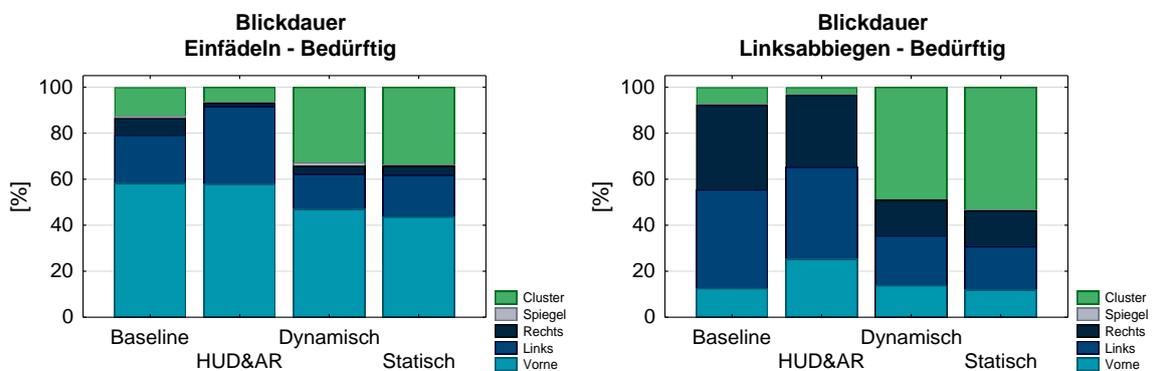


Abbildung 6: Blickverteilung des Fahrers beim Einfädeln (links) und beim Linkseinbiegen (rechts).

### 3.3 Fahrverhalten

#### 3.3.1 Perspektive Kooperationsbedürftig

Aus Perspektive des Kooperationsbedürftigen erlebt der Proband mit jeder MMI-Variante und in der Baseline-Fahrt (d.h. ohne MMI-Unterstützung) jeweils zwei Einfädel- und zwei Linksabbiegesituationen, in denen ein simuliertes Fahrzeug auf der Hauptfahrbahn eine Lücke erstellt. Diese vorbereitete Lücke wird im Linksabbiegeszenario vom manuellen Fahrer mit MMI-Unterstützung häufiger genutzt als ohne MMI-Unterstützung ( $\chi^2_{df=3} = 44.82$ ,  $p = .000$ ). Die meisten Probanden haben ohne Unterstützung durch ein MMI die Lücke auf der Hauptfahrbahn im Landstraßenszenario als ungeeignet eingeschätzt. Beim Einfädeln auf die Autobahn wird der Einfluss des MMI nicht signifikant ( $\chi^2_{df=3} = 3.56$ ,

p = .314).

Die Unterschiede zwischen den MMI-Varianten sind für beide untersuchte Szenarien nicht sehr groß, d.h. alle Varianten sind in der Lage, die Probanden zur Wahl der vorbereiteten Lücke zu animieren. Beim Auffahren auf die Autobahn wird die vorbereitete Lücke zu 79-92% gewählt, beim Linksabbiegen zu 92-100% (siehe Abbildung 7 links).

In der Bedingung automatisierten Fahrens nutzt die automatisierte Quer- und Längsregelung in allen Situationen die von den Kooperationspartnern erstellte Lücke. Keiner der Probanden greift ein und übersteuert die Automatisierung.

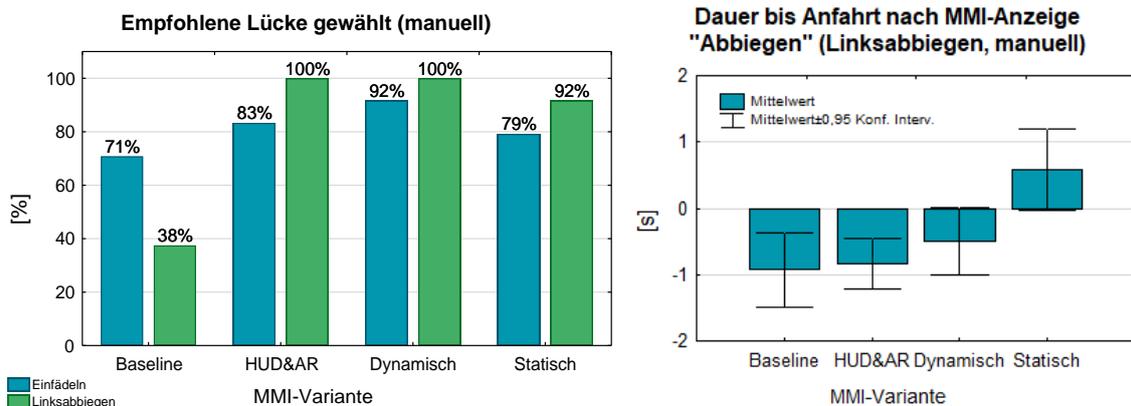


Abbildung 7: Anteil der Fahrer, die die empfohlene Lücke wählen (links), und Latenz der Anfahrt im Szenario Linksabbiegen (rechts; Mittelwert  $\pm$  95%-Konfidenzintervall).

Die Latenz mit der die Probanden beim Linksabbiegen an der Landstraße losfahren – im Vergleich zum Zeitpunkt, an dem das MMI den Status „Umgebung beobachten und abbiegen“ anzeigt – ist abhängig von der MMI-Variante ( $F_{3,18} = 3.44$ ,  $p = .039$ ). Während die zeitliche Charakteristik des Losfahrens mit der MMI-Variante ‚HUD&AR‘ und ‚Cluster Dynamisch‘ dem natürlichen Anfahren in der Baseline ähnelt, verzögert sich das Losfahren bei der Variante ‚Cluster Statisch‘ deutlich. In dieser Variante reagieren die Probanden auf den Status des MMI (mit einer Reaktionszeit von ca. 0.6s), während sie bei den anderen Varianten und in der Baseline die Lücke antizipieren und bereits 0.5-1.0s früher losfahren als das MMI den Text „Umgebung beobachten und abbiegen“ anzeigt (siehe Abbildung 7, rechts).

### 3.3.2 Perspektive Kooperationsgewährend

Im Fall manuellen Fahrens bewertet der Versuchsleiter nach jeder Situation, ob der Proband kooperativ war. Die Ergebnisse zeigen, dass die Unterstützung durch ein MMI die Kooperationshäufigkeit der Fahrer erhöht. Während die Fahrer in 88% der Situationen in der Baseline für einen Einfädler eine Lücke erstellen, steigt dieser Wert mit kooperativer Assistenz und unabhängig von der MMI-Variante auf 100% ( $\chi^2_{df=3} = 9.29$ ,  $p = .026$ ). Beim Verzögern für einen Linkseinbieger auf die Landstraße sind die Probanden ohne Assistenz nur in ca. jeder zweiten Situation kooperativ (54%). Mit MMI-Unterstützung steigt der Wert in Abhängigkeit von der MMI-Variante auf 88-100% ( $\chi^2_{df=3} = 23.62$ ,  $p = .000$ ). Die kooperative Assistenz weist den Probanden auf die Kooperationsbedürftigkeit eines anderen Fahrers hin und animiert den Fahrer

wirkungsvoll, eine Lücke zu erstellen (siehe Abbildung 8, links).

Die kooperationsgewährenden Fahrer bestätigen ihre Kooperationsabsicht durch Betätigung eines Lenkradbuttons. Die Dauer bis zum Drücken des Buttons nach der Kooperationsanfrage im MMI beträgt 1.9-2.5s und unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den MMI-Varianten und Situationen (siehe Abbildung 8, rechts).

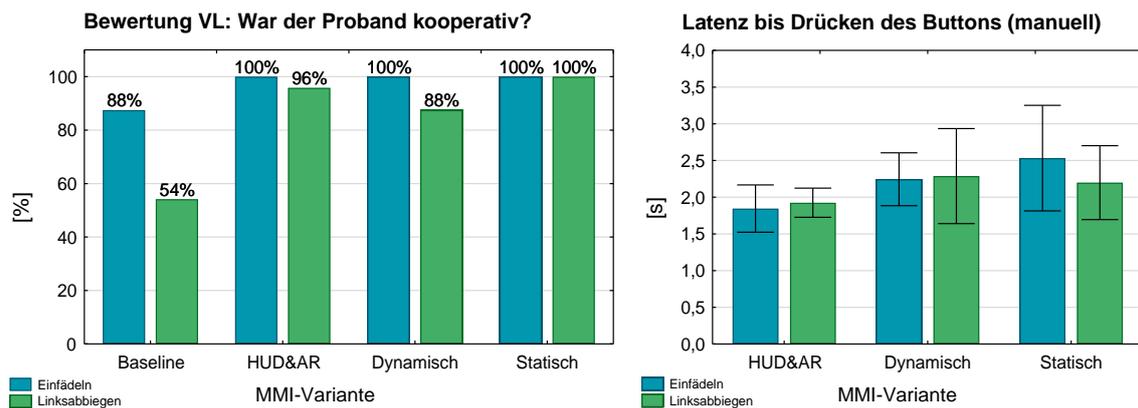


Abbildung 8: Anteil der Fahrer, die laut Versuchsleiter (VL) kooperativ fahren (links), und Latenz bis zur Bestätigung (rechts; Mittelwert  $\pm$  95%-Konfidenzintervall).

## 4 Zusammenfassung und Diskussion

Die Probandenstudie im Fahr Simulator betrachtet das manuelle und automatisierte kooperative Fahren an Kreuzungen und Auffahrten. Dabei werden die Auswirkungen unterschiedlicher MM-Konzepte einer Fahrerassistenz zur Unterstützung kooperativen Fahrens auf die Akzeptanz, die Ablenkung und das Fahrverhalten untersucht. Als Untersuchungssituationen dienen das Einfädeln auf die Autobahn und das Linksabbiegen auf eine Landstraße. Es werden drei verschiedene MMI-Konzepte evaluiert: ‚HUD&AR‘, ‚Cluster Dynamisch‘ und ‚Cluster Statisch‘. Bei der MMI-Variante HUD&AR werden die Informationen in einem HUD mit AR-Elementen dargestellt. Diese Variante dient als Benchmark zum Vergleich der anderen beiden Varianten, bei denen Informationen im Instrumentencluster angezeigt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Probanden grundsätzlich die Unterstützung durch ein Assistenzsystem zum kooperativen Fahren akzeptieren. Dies gilt sowohl für den Fall des manuellen Fahrens, bei dem das System häufiger zu erfolgreicher Kooperation führt, als auch beim automatisierten Fahren, bei dem der Fahrer das von der Automation durchgeführte Manöver akzeptiert. Die Ergebnisse zeigen, dass durch alle Varianten ein ausreichend großes Vertrauen in die kooperative Manöverabstimmung erreicht wurde. Dabei bezeichnen die Probanden alle getesteten MMI-Varianten als hilfreich und verständlich. Allerdings wird die Variante ‚HUD&AR‘ intuitiv am besten verstanden und folglich am besten bewertet. In der subjektiven Bewertung durch die Fahrer folgt die dynamische Clustervariante vor der statischen Variante.

Auch die Analyse des Blickverhaltens zeigt für die Variante ‚HUD&AR‘ eine Verteilung

der Aufmerksamkeit, die am ehesten dem natürlichen Blickverhalten entspricht. Mit den Clustervarianten steigt der Anteil der Blicke ins Instrumentencluster deutlich an. Dies geht auf Kosten der fahrrelevanten Blicke nach links, rechts und vorne. Trotz der Darstellung bewegter Objekte in der dynamischen Variante zeigt sich im Blickverhalten kein Unterschied zwischen beiden Clustervarianten.

Das Verhalten der Fahrer wird sowohl aus Perspektive des Kooperationsbedürftigen (Einfädler, Linkseinbieger) als auch aus Perspektive des kooperationsgewährenden Fahrers auf der Hauptfahrbahn betrachtet. Dabei zeigt sich, dass ein kooperationsbedürftiger Linkseinbieger mit der statischen Clustervariante mehr Zeit bis zum Losfahren benötigt. Anscheinend warten die Fahrer mit dieser MMI-Variante auf eine Meldung des kooperativen Assistenzsystems, während sie beim Fahren in der Baseline-Bedingung und mit den beiden anderen MMI-Varianten die erstellte Lücke antizipieren und früher anfahren. Die statische Clustervariante behindert somit das natürliche Fahrverhalten. Entsprechend wird diese Variante als deutlich weniger hilfreich bewertet. Die Analyse des Bedienverhaltens zeigt, dass ein kooperationswilliger Fahrer auf der Hauptfahrbahn ca. 2.0-2.5 s braucht, um die Kooperation durch Drücken eines Lenkradbuttons zu bestätigen. Insgesamt zeigen die Resultate, dass MMI-Konzepte zur Unterstützung kooperativen Fahrens akzeptiert werden. Dabei werden Konzepte bevorzugt, die das natürliche Blickverhalten des Fahrers beachten und Informationen mit Hilfe von AR-Elementen im HUD darstellen. Ein clusterbasiertes MMI sollte dynamisch gestaltet sein, so dass eine Antizipation der Situation ermöglicht wird.

## Literatur

- [1] Maag, C. (2004). Fahrer und Verkehrsklima - Eine wissenschaftliche Untersuchung zu den Ursachen und Folgen von Emotionen im Straßenverkehr. Düsseldorf: VDI.
- [2] Ellinghaus, D. (1986). Rücksichtslosigkeit und Partnerschaft. Eine sozialpsychologische Untersuchung über den Umgang unter Kraftfahrern im Straßenverkehr (12). Köln: Uniroyal-Verkehrsuntersuchung.
- [3] Benmimoun, A., Neunzig, D. & Maag, C. (2004). Effizienzsteigerung durch professionelles/partnerschaftliches Verhalten im Straßenverkehr. FAT-Schriftenreihe Nr. 181. Frankfurt/Main: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
- [4] Buld, S., Hoffmann, S. & Krüger, H.-P. (2006). Fahrerassistenz auf der Grundlage von Umgebungs- und Fahrervariablen. 4. Fahrerassistenzsysteme-Workshop, Löwenstein.
- [5] de Waard, D., Dijksterhuis, C. & Brookhuis, K. A. (2009). Merging into heavy motorway traffic by young and elderly drivers. *Accident Analysis and Prevention* 41, S. 588–597.
- [6] Lord-Attivor, R. & Jha, M. (2012). Modeling gap acceptance and driver behavior at stop controlled (priority) intersections in developing countries. In *Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (American-Math'12)*, S. 29-38.
- [7] Chovan, J. D., Tijerina, L., Everson, J. H., Pierowicz, J. A. & Hendricks, D. L. (1994). Examination of intersection, left turn across path crashes and potential IVHS countermeasures (No. DOT-VNTSC-NHTSA-94-4).

- [8] Heesen, M., Baumann, M., Kelsch, J., Nause, D., & Friedrich, M. (2012). Investigation of Cooperative Driving Behaviour during Lane Change in a Multi-Driver Simulation Environment. In D. de Waard, K. A. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, P. Terrier (Eds.), *Human Factors: a view from an integrative perspective. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse*.
- [9] Zimmermann, M., Schopf, D., Lütteken, N., Liu, Z., Storost, K., Baumann, M., Bengler, K. J. (2018). Carrot and Stick: A Game-theoretic Approach to Motivate Cooperative Driving through Social Interaction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 88(January), 159–175.
- [10] Maag, C. & Mark, C. (2012). Assisting drivers' merging onto the motorway: Evaluation of a new advanced driver assistance system (ADAS) using multi-driver simulation. Präsentation beim 19. ITS Weltkongress, Wien, 25.10.2012.
- [11] Baumann, M., Tango, F., Kelsch, J. & Dziennus, M. (2014). A framework for driver-vehicle cooperation for highly automated intelligent vehicles. 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2014).
- [12] Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., Winner, H. (Hrsg.) (2015). *Autonomes Fahren Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin: Springer.
- [13] Fraedrich, E. & Lenz, B. (2015). Gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz des autonomen Fahrens. In: Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., Winner, H. (Hrsg.) (2015). *Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin: Springer, S. 639-660.
- [14] Wolf, I. (2015). Wechselwirkung Mensch und autonomer Agent. In: Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., Winner, H. (Hrsg.) (2015). *Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin: Springer, S. 103-125.
- [15] SAE (2014). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*, SAE J3016.