

## Wie wollen Fußgänger mit einem automatisierten Bus kommunizieren? Ergebnisse einer Befragung im Testfeld Bad Birnbach

Philip JOISTEN <sup>1</sup>, Julia BARDEN <sup>1,2</sup>, Andreas BECKER <sup>2</sup>, Bettina ABENDROTH <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt, Otto-Bernd-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

<sup>2</sup> *ioki GmbH, An der Welle 3, D-60322 Frankfurt*

**Kurzfassung:** Damit automatisierte Fahrzeuge in der Zukunft auch im urbanen Verkehrsraum eingesetzt werden können, müssen neue Kommunikationsstrategien zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern erforscht werden. In diesem Beitrag wird das Entscheidungsverhalten von Fußgängern bei der Querung vor einem autonom fahrenden Bus untersucht. Im Mittelpunkt steht folgende Fragestellung: Wie sollen Informationen zwischen automatisierten Fahrzeugen und Fußgängern übertragen werden? Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden semi-strukturierte Interviews mit N = 30 Probanden im Testfeld Bad Birnbach durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Entscheidungsverhalten von Fußgängern durch die Einflussvariablen Infrastruktur und Vertrauen geprägt wird. Verschiedene Arten von Signalen zur Übertragung von Informationen zwischen autonom fahrenden Bus und Fußgängern konnten identifiziert werden. Akustische Signale sind für die Gestaltung von offensiven Signalen vielversprechend.

**Schlüsselwörter:** Kommunikation, Interaktion, Automatisierte Fahrzeuge, Automatisierte Busse, Fußgänger, Interview

### 1. Einleitung

Um den Verkehrsfluss aufrecht zu halten und Konflikte zu lösen, kommunizieren Verkehrsteilnehmer fortlaufend durch explizite und implizite Signale. Automatisierte Fahrzeuge besitzen heute noch nicht dieselben Fähigkeiten zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern, wie sie der Mensch durch die Verwendung und Interpretation von Handgesten und Blicken hat (Stanciu et al. 2018). Damit die Akzeptanz und das Vertrauen von nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern in automatisierte Fahrzeuge sichergestellt sind, müssen neue Kommunikationsstrategien zwischen automatisierten Fahrzeugen und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern im urbanen Verkehrsraum erforscht werden (Habibovic et al. 2018).

Der Begriff Strategie umschreibt in der Spieltheorie einen vollständigen Plan darüber, wie sich ein Spieler in jeder Spielsituation verhalten wird (Morgenstern 1968). Im Kontext des automatisierten Fahrens umschreibt der Begriff Kommunikationsstrategie einen Plan darüber, wie automatisierte Fahrzeuge und andere Verkehrsteilnehmer kommunizieren. Kommunikation dient primär dazu Kooperationsprobleme zu lösen bzw. ein gemeinsames Vorgehen zu koordinieren (Bangerter & Mayor 2013). Um Kooperationsprobleme zu lösen, müssen die Akteure der Kommunikation nach Clark (2006, S. 135) folgende Aspekte adressieren: Wer kommuniziert? Welche Rolle haben die Akteure inne? Welche Handlungen sollen ausgeführt werden? Wann und wo sollen

diese Handlungen ausgeführt werden? Abgeleitet aus diesen Aspekten werden insgesamt sechs Dimensionen einer Kommunikationsstrategie zwischen Verkehrsteilnehmern postuliert. Die sechs Dimensionen werden in Tabelle 1 beschrieben.

**Tabelle 1:** Dimensionen einer Kommunikationsstrategie zwischen Verkehrsteilnehmern

<b>Dimension</b>	<b>Zentrale Fragestellung</b>
Wer	Wer sind die Akteure der Kommunikation?
Warum	Welches Ziel hat die Kommunikation?
Was	Was sind die Inhalte der Kommunikation?
Wie	Wie werden die Inhalte der Kommunikation übertragen?
Wann	Wann wird kommuniziert? (Übertragungszeitpunkte)
Wo	Wo wird kommuniziert? (Situationen der Kommunikation)

In diesem Beitrag wird das Entscheidungsverhalten von Fußgängern bei der Querung vor einem autonom fahrenden Bus untersucht. Im Mittelpunkt steht dabei die Dimension „Wie“ der Kommunikationsstrategie und folgende Fragestellung: Wie sollen Informationen zur Unterstützung des Entscheidungsverhaltens von Fußgängern bei der Straßen-Querung vor einem autonom fahrenden Bus aus Sicht von Fußgängern übertragen werden?

Fußgänger sind eine wichtige Gruppe nicht-motorisierter Verkehrsteilnehmer im urbanen Verkehrsraum (Palmeiro et al. 2018). Autonom fahrende Busse werden in Zukunft den öffentlichen Nahverkehr ergänzen (Merat et al. 2018). Diese Fahrzeuge, die üblicherweise mit niedrigen Geschwindigkeiten fahren (ca. 10 km/h), werden in Deutschland derzeit im Testfeld Bad Birnbach getestet (ioki 2018).

## 2. Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden semi-strukturierte Interviews entlang der Strecke und an Bushaltestellen im Testfeld eines autonom fahrenden Busses durchgeführt (Bad Birnbach in Bayern). Die Antworten der Probanden wurden schriftlich dokumentiert.

Das Interview war wie folgt aufgebaut: Im ersten Teil wurde der Kenntnisstand und die Erfahrung der Probanden über das autonome Fahren im Allgemeinen und den autonom fahrenden Bus in Bad Birnbach erfasst. Im zweiten Teil des Interviews wurden je der Hälfte der Probanden ein Szenario (A / B) beschrieben, auf das sich die nachfolgenden Fragen beziehen. Diese Szenarien unterscheiden sich im Wesentlichen durch das Vorhandensein eines Zebrastreifens zur Querung (Szenario A) bzw. durch einen nicht-signalisierten Übergang (Szenario B). Zusätzlich wurde allen Probanden ein Szenario beschrieben, in dem der Bus den Vorrang gegenüber dem Fußgänger nicht abgeben will (Szenario C). Die Szenarien sind in Tabelle 2 beschrieben und dargestellt.

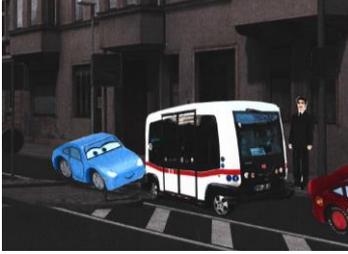
Der zweite Teil des Interviews beinhaltete Fragen bezüglich des Entscheidungsverhaltens der Probanden bei der Straßenquerung vor dem autonom fahrenden Bus. Außerdem wurden die Probanden zu Gestaltungsmöglichkeiten von expliziter Kommunikation befragt, die die Probanden in dem beschriebenen Szenario bei ihrer Entscheidung unterstützen könnten. Es wurde sowohl nach der Gestaltung eines defensiven Signals (Bus gewährt Fußgänger Vorrang), als auch der Gestaltung eines offensiven Signals (Bus möchte Vorrang nicht abgeben) gefragt. Explizite Kommunikation bezieht

sich auf die Verwendung von Gesten, Licht- und Tonsignalen zur Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern (Imbsweiler et al. 2018).

Zum Abschluss des Interviews wurden demografische Daten der Probanden dokumentiert. Aufgenommen wurden Geschlecht und Alter (vier Altersgruppen: < 20 Jahre, 20-40 Jahre, 41-60 Jahre, > 60 Jahre).

Die Interviews wurden anhand der schriftlichen Dokumentation ausgewertet. Die Antworten der Probanden wurden zum Zwecke der Vergleichbarkeit kategorisiert.

**Tabelle 2:** Dem strukturierten Interview zugrundeliegende Szenarien

Szenario	Beschreibung	Abbildung
<p><b>A</b> <b>(Zebra-</b> <b>streifen)</b></p>	<p>Sie wollen die Straße überqueren und der autonome Bus naht heran. Normalerweise würden Sie Blickkontakt zu dem Busfahrer aufbauen, um sicherzugehen, dass er Sie gesehen hat und abbremsen wird. Der Bus fährt jedoch autonom, es gibt also keinen Busfahrer, zu dem Sie Blickkontakt aufbauen könnten.</p>	
<p><b>B (nicht-</b> <b>signal-</b> <b>sierter</b> <b>Über-</b> <b>gang)</b></p>	<p>Der Bus steht in einem Stau und Sie möchten die Straße überqueren, indem Sie vor dem Bus vorbeilaufen. Normalerweise würden Sie Blickkontakt zu dem Busfahrer aufbauen, um sicherzugehen, dass er Sie gesehen hat und abbremsen wird. Der Bus fährt jedoch autonom, es gibt also keinen Busfahrer, zu dem Sie Blickkontakt aufbauen könnten.</p>	
<p><b>C (offen-</b> <b>sives Sig-</b> <b>nal)</b></p>	<p>Sie stehen an einer Bushaltestelle und möchten vor einem autonomen Bus die Straße überqueren. Jedoch möchte der Bus losfahren und sie somit nicht die Straße überqueren lassen.</p>	

### 3. Ergebnisse

Die Interviews wurden am 19. und 20. September 2018 durchgeführt. Die Gesamtstichprobe beträgt 30 Probanden.

#### 2.1 Beschreibung des Kollektivs

Das Kollektiv der Probanden bestand aus insgesamt zehn Männern und 19 Frauen. Über die Hälfte der Probanden (16) war 61 Jahre oder älter. Sechs Probanden waren zwischen 41 und 60 Jahre alt. Sieben Probanden wurden der Altersgruppe der 20 bis 40-jährigen zugeordnet. Die Altersgruppe der unter 20-jährigen war nicht vertreten. Die demografischen Angaben eines/r Probanden/in fehlen in den Aufzeichnungen.

Von insgesamt 30 Probanden wussten 28, dass es einen autonom fahrenden Bus in Bad Birnbach gibt. Alle Probanden, die von der Existenz des autonom fahrenden

Busses wussten, hatten diesen auch schon einmal gesehen. Zwölf Probanden aus dieser Gruppe sind schon mindestens einmal als Passagier mit dem Bus gefahren. Zwei Interviews mit Probanden, die nichts über die Existenz des autonom fahrenden Busses in Bad Birnbach wussten, wurden ausgeschlossen.

13 Probanden beantworteten die Fragen im Szenario A, 15 Probanden beantworteten die Fragen in Hinblick auf Szenario B.

## 2.2 Entscheidungsverhalten von Fußgängern im Kontakt mit dem autonomen Bus

Auf die Frage, wie sich die Probanden entscheiden würden, ob sie die Straße bei einem Zusammentreffen mit dem autonom fahrenden Bus vor diesem überqueren würden, antworteten insgesamt 15 Probanden, dass sie stehen bleiben würden. Von diesen Probanden gaben sieben an, auf jeden Fall hinter dem Bus zu queren, weil sie der Technik des Busses nicht vertrauen. Die verbleibenden acht Probanden würden warten und die Straße erst überqueren, wenn der Bus zum Stehen gekommen ist. Weitere neun Probanden gaben an, dass Sie, ohne zu warten, vor dem Bus die Straße queren würden. Diese Probanden begründeten ihr Verhalten durch das Vertrauen in die Technik des autonom fahrenden Busses. Vier Probanden machten ihre Entscheidung abhängig vom Verhalten des Busses. Als wesentliche Einflussvariablen nannten die Probanden die Geschwindigkeit und die Entfernung des Busses.

Die Antworten der Probanden in Szenario A und B unterscheiden sich vor allem in der Kategorie „Stehen bleiben“. Während vier Probanden in Szenario A (Zebrastreifen) auf jeden Fall stehen bleiben und warten würden, entschieden sich elf Probanden in Szenario B (nicht-signalisierter Übergang) für dieses Verhalten. Die Anzahl der Nennungen des Entscheidungsverhaltens von Fußgängern im Kontakt mit dem autonom fahrenden Bus sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3:** Kategorien des Entscheidungsverhaltens von Fußgängern im Kontakt mit dem autonom fahrenden Bus (Anzahl der Nennungen nach Szenario und gesamt)

Entscheidungsverhalten	Szenario		gesamt
	A (Zebrastreifen)	B (nicht-signalisierter Übergang)	
Stehen bleiben, warten	4	11	15
Gehen, nicht warten	5	4	9
Abhängig vom Verhalten des Busses	4	0	4

## 2.3 Explizite Kommunikation – Gestaltungsvorschläge der Befragten

Die Probanden wurden nach Gestaltungslösungen expliziter Kommunikation, die sie bei dem beschriebenen Szenario unterstützen könnten, gefragt. Es konnten mehrere Gestaltungsvorschläge abgegeben werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Auf die Frage nach defensiven Signalen des Busses (der Bus gewährt dem Fußgänger Vorrang) nannten die Probanden am häufigsten Symbole (n = 8). Diese umschrieben die Probanden als „Ampelsymbol“, „Bild“ oder „Zeichen“. Die Gestaltungsvorschläge „Schrift“ und „akustisches Signal“ wurden jeweils sieben Mal genannt, gefolgt vom Gestaltungsvorschlag „Licht“ mit 5 Nennungen. Die Farbe Grün wurde von

den Probanden damit verknüpft, dass sie die Straße vor dem Bus überqueren können. Konkretisiert wurde der Gestaltungsvorschlag „Schrift“ über bestimmte Texte (bspw. „Sie können laufen“) oder einer Countdown-Anzeige („Fährt weiter in ... Sekunden“). Des Weiteren wurden anthropomorphe Gestaltungen, wie bspw. menschliche Gestik, Sprache und Augenzwinkern, genannt. Zwei Probanden gaben an, dass keine zusätzlichen Informationen nötig sind. Acht Probanden gaben mehr als einen Gestaltungsvorschlag ab.

Die Ergebnisse hinsichtlich offensiver Kommunikationssignale (Bus gewährt dem Fußgänger keinen Vorrang) zeigen, dass das akustische Signal mit 20 Nennungen mit Abstand am häufigsten angegeben wurde. Das akustische Signal umschrieben die Probanden mit einem Ton beim Anfahren des Busses („ähnlich wie bei einer Straßenbahn“) oder einem Hupen. Als offensives Signal nannten die Probanden zudem das „Links Blinken“. Die Gestaltungsvorschläge „Schrift“, „Symbol“ (Stoppzeichen), und „Anthropomorphismus“ (Sprachausgabe) wurden nur vereinzelt genannt. Ein Proband gab an, dass er keine zusätzlichen Informationen in dieser Situation benötigt.

**Tabelle 4:** Gestaltungsvorschläge expliziter Kommunikation des autonom fahrenden Busses (Anzahl der Nennungen nach defensiven und offensiven Signalen; Mehrfachnennungen möglich)

Gestaltungsvorschlag (explizite Kommunikation)	Art des Signals	
	defensiv (Bus gewährt Vorrang)	offensiv (Bus gewährt keinen Vorrang)
Schrift	7	4
Licht	5	2
Symbol	8	2
Akustisch	7	20
Anthropomorphismus	5	2
Links Blinken	-	7
Keine Information	2	1

#### 4. Diskussion

Zur Entwicklung holistischer Kommunikationsstrategien zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern müssen alle Dimensionen der Kommunikationsstrategie zwischen Verkehrsteilnehmern adressiert werden. Dazu wurde in diesem Beitrag die Dimension - „Wie werden die Inhalte der Kommunikation übertragen?“ - anhand des zu konkreten Szenarien erfragten Entscheidungsverhaltens von Fußgängern beim Zusammentreffen mit einem autonom fahrenden Bus untersucht.

Mittels der Befragung im Testfeld Bad Birnbach konnten Menschen erreicht werden, die in der Vergangenheit mit dem autonom fahrenden Bus interagierten. Die Altersverteilung der Probanden ist rechtssteil. Jüngere Altersgruppen sind nicht (< 20 Jahre) vertreten oder unterrepräsentiert. Im Zuge eines „Design-for-All“ Ansatzes müssen weitere Gruppen, wie bspw. Kinder (vgl. Charisi et al. 2017) berücksichtigt werden.

Hinsichtlich des Entscheidungsverhaltens von Fußgängern bei der Straßen-Querung vor dem autonom fahrenden Bus zeigt sich ein starker Einfluss der Infrastruktur (Zebrastreifen vs. nicht-signalisierter Übergang). Mit der Abnahme formeller Regeln im Straßenverkehr dominiert die Strategie des „Wartens“ auf Seiten der Fußgänger. Dies spiegelt die Ergebnisse von Merat et al. (2018) wider, die zeigen, dass Fußgänger bei der Interaktion mit autonom fahrenden Bussen mehr Informationen benötigen, wenn

Straßenmarkierungen fehlen. Als weitere wichtige Einflussvariable des Entscheidungsverhaltens von Fußgängern konnte das Vertrauen in das autonome System identifiziert werden. Probanden mit der Strategie „Gehen, nicht warten“ berichten, dass sie dem autonom fahrenden Bus vertrauen. Beim Aufbau dieses Vertrauens spielten vergangene Interaktionen mit dem autonom fahrenden Bus eine entscheidende Rolle. Des Weiteren deuteten die Probanden an, dass implizite Kommunikation (Geschwindigkeit des Fahrzeugs, Abstand zum Fahrzeug) für ihre Entscheidungsbildung wichtig sind (vgl. Beggiato et al. 2017). Für den Entwurf und die Entwicklung holistischer Kommunikationsstrategien im Straßenverkehr sollten deshalb sowohl implizite als auch explizite Kommunikationssignale beachtet werden.

Die Befragung von Fußgängern zeigt, dass verschiedene Arten von Signalen (Schrift, Ton, Symbole, ...) zur Unterstützung des Entscheidungsverhaltens von Fußgängern bei der Querung vor dem Bus beitragen könnten. Hinsichtlich der Unterscheidung von defensiven und offensiven Signalen wird deutlich, dass die Probanden akustische Signale am häufigsten mit einem offensiven Signal in Verbindung brachten. Eine multimodale Gestaltung von expliziten Kommunikationssignalen ist vielversprechend.

Zur Erforschung von Kommunikationsstrategien zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern ist weitere Forschungsarbeit notwendig. Hierzu wurden im Rahmen von Expertenbefragungen weitere Daten erhoben, die Auswertung ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

## 5. Literatur

- Bangerter A, Mayor E (2013) Interactional theories of communication. In: Copley P, Schulz PJ (Hrsg) *Theories and Models of Communication*. Berlin/Boston: de Gruyter, 257-271.
- Beggiato M, Witzlack C, Krems JF (2017) Gap Acceptance and Time-To-Arrival Estimates for Informal Communication between Pedestrians and Vehicles. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 50-57.
- Charisi V, Habibovic A, Andersson J, Li J, Evers V (2017) Children's Views on Identification and Intention Communication of Self-driving Vehicles. In: *Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children*, 399-404.
- Clark HH (2006) Social actions, social commitments. In: Enfield NJ, Levinson SC (Hrsg) *Roots of Human Sociality: Culture, Cognition, and Human Interaction*. Oxford: Berg Press, 126-150.
- Habibovic A, Lundgren VM, Andersson J, Klingegard M, Lagström T, Sirkka A, Fagerlönn J, Edgren C, Fredriksson R, Krupenia S, Saluäär D Larsson P (2018) Communicating Intent of Automated Vehicles to Pedestrians. *Frontiers in Psychology* 9 (1336): 1-17.
- Imbsweiler J, Ruesch M, Weinreuter H, León FP, Deml B (2018) Cooperation behaviour of road users in t-intersections during deadlock situations. *Transportation Research Part F* 58: 665-677.
- ioki (2018) *Autonomes Fahren*. <https://ioki.com/autonomous/>
- Merat N, Louw T, Madigan R, Wilbrink M, Schieben A (2018) What externally presented information do VRUs require when interacting with fully Automated Road Transport Systems in shared space? *Accident Analysis and Prevention* 118: 244-252.
- Morgenstern O (1968) Spieltheorie: Ein neues Paradigma der Sozialwissenschaft. *Zeitschrift für Nationalökonomie* 28: 145-164.
- Palmeiro RA, van der Kint S, Vissers L, Farah H, de Winter JCF, Hagenzieker M (2018) Interaction between pedestrians and automated vehicles: A Wizard of Oz experiment. *Transportation Research Part F* 58: 1005-1020.
- Stanciu SC, Eby DW, Molnar LJ, St. Louis RM, Zanier N, Kostyniuk LP (2018) Pedestrians/Bicyclists and Autonomous Vehicles: How Will They Communicate? *Transportation Research Record* 5: 1-9.

**Danksagung:** Diese Arbeit ist in Kooperation mit der ioki GmbH entstanden. Der Erstautor wird durch das Projekt @city des BMWi gefördert. Die Autoren bedanken sich für die gute Kooperation und die Förderung durch das BMWi.