

Symbolische Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion

J. Reschke,

P. Rabenau,

Dr.-Ing. **M. Hamm**, AUDI AG, Ingolstadt;

Prof. Dr. rer. nat. **C. Neumann**, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

Kurzfassung

Durch die fortschreitende Automatisierung von Fahrzeugen stehen selbstfahrende Fahrzeuge vor ihrer Einführung und werden schon bald im Straßenverkehr verbreitet sein. Die entfallende Interaktion durch den Fahrer verunsichert vor allem Fußgänger beim Überqueren einer Straße, weshalb eine natürliche Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion unabdingbar wird. Dafür wurde eine Probandenstudie zur symbolischen Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion durchgeführt, wobei zwei am Fahrzeug befestigte Bildschirme mit einer Größe von ca. 300 x 230 mm verwendet wurden. Mit Hilfe dieser wurden den Probanden 30 weiße Symbole dargeboten, um die deren Intuitivität und Korrelation zu Situationen abzuprüfen, wobei sich Gruppen verständlicher und missverständlicher Zeichen bilden lassen. Bei intuitiver Abfrage zeigen die Reaktionszeiten (min. 2,72 s) und Zuordnungen (max. 74 %) der Symbole nur eine geringe Intuitivität. Außerdem werden dynamische Symbole besonders für dynamische Situationen bevorzugt.

Abstract

Due to ongoing advances in automated vehicles, self-driving cars will soon participate on everyday traffic. Missing driver-pedestrian interaction subduces pedestrian's safe and calm feeling especially when crossing a street, which is why a natural vehicle-pedestrian-interaction gains importance. Therefore, a study for symbolic communication is conducted, where two displays with a size of 300 x 230 mm are mounted on a vehicle's front. 35 test persons were asked to evaluate intuitiveness of 30 symbols and correlate them to given situations. Thereby, groups of understandable and incomprehensible signs can be formed. On basis of reaction times (min. 2.72 s) and given answers (max. 74 % correctly answered) it can be shown, that the used symbols show little intuitiveness. Therefore, an open-answer test design was used. For dynamic situations, dynamic icons are preferred.

1. Einführung

Im heutigen Straßenverkehr ist die Kommunikation zwischen motorisierten und nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern eine unverzichtbare Hilfe für die Strukturierung des Verkehrsflusses [20]. Der Straßenverkehr ist ein selbstorganisierendes System, das prinzipiell durch

offizielle Regeln geordnet ist [5]. Allerdings können diese Regeln nicht alle Situationen eindeutig abbilden [5, 20]. Zur Klärung werden in diesen Situationen informelle Zeichen zur Kommunikation zwischen den Beteiligten eingesetzt [5, 25]. Zu diesen Zeichen zählen Änderungen der Fahrzeugdynamik und vorgeschriebene Anzeigen, wie Fahrtrichtungsanzeiger oder Lichthupe [5, 15, 25, 26], ebenso wie Augenkontakt, Gesichtsausdruck oder Gesten [5, 15, 25, 26, 29]. Obwohl diese Zeichen nicht eindeutig interpretiert werden können [5, 20, 25], kann durch Verwenden informeller Zeichen der Verkehrsfluss verbessert [20], unklare Situationen aufgelöst und ein Gewähren der Vorfahrt angezeigt werden [25].

Vor allem Fußgänger, die eine Straße überqueren, sind auf die Interaktion mit Fahrern angewiesen und versuchen durch Blick zum Fahrer dessen Intention zu bestimmen [16, 18, 29]. Durch eine Kommunikation mit dem Fahrer fühlen sich Fußgänger sicherer beim Überqueren einer Straße. Im Gegensatz dazu verringert sich die Bereitschaft von Fußgängern die Straße zu überqueren, wenn Fahrer unaufmerksam sind und keinen Blickkontakt herstellen [9].

Die Fahrzeugentwicklung schreitet kontinuierlich voran und so sind heute automatisierte Fahrfunktionen wie Abstandsregelautomaten, Notbrems- oder Spurhalteassistenten weit verbreitet [1, 15]. Die nächste Stufe der Entwicklung bilden automatisierte Fahrzeuge, die bereits in verschiedenen Ländern erprobt werden [9, 17]. Trotz laufender Fortschritte beim automatisierten Fahren [15] zeigt das Bewältigen des städtischen Verkehrs, vor allem wegen der großen Anzahl von Verkehrsteilnehmern und der Notwendigkeit der Kommunikation, noch große Schwierigkeiten [29]. Automatisierte Fahrzeuge stehen wahrscheinlich noch Jahrzehnte vor der Problematik des Mischverkehrs mit nichtautomatisierten Fahrzeugen, wobei auch Fußgänger stets eine wichtige Rolle einnehmen werden [12]. Bei automatisierten Fahrzeugen ist eine klassische Kommunikation zwischen Fahrern und anderen Verkehrsteilnehmern nicht mehr möglich [3, 10]. Um trotzdem das Vertrauen zwischen Verkehrsteilnehmern und automatisierten Fahrzeugen beizubehalten, ist eine Kommunikation zwischen diesen weiterhin entscheidend [3, 10, 12, 29]. Dafür ist bspw. das Anzeigen bzw. Kommunizieren von Fahrzeugzustand und -intention sowie die Erkennung von Fußgängern sinnvoll, um eine Vertrauensbasis herzustellen [15, 18, 29]. Die Notwendigkeit der Fahrzeug-Fußgänger-Kommunikation belegen auch zahlreiche Studien [8, 9, 25, 29, 32].

Deshalb wird mit dieser Arbeit eine Probandenstudie zur Interaktion und Symbolik mit anderen Verkehrsteilnehmern beschrieben. So wurde untersucht, wie eine zukünftige Fahrzeug-Fußgänger-Kommunikation durch geeignete Symboliken aussehen kann und wie intuitiv die Zeichen zu verstehen sind. Anders als in [6, 15, 18, 23] beschrieben, wurde hierfür kein eindimensionaler bzw. flacher LED-Streifen, sondern ein Display verwendet (vgl. auch [7]). Damit können sowohl einfache/rechteckige als auch komplexe Symbole dargestellt werden. Auf eine

Darstellung von Text zur Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern, wie in [19, 21] vorgestellt, wurde in dieser Arbeit verzichtet. Wie in [3] beschrieben eignen sich nur sehr ikonische Wörter zur schnellen Interaktion, wie z.B. STOP, textuelle Anweisungen werden nur langsam verstanden. Außerdem ist eine Voraussetzung für das Verstehen der Textbotschaft, dass der betroffene Verkehrsteilnehmer die verwendete Sprache spricht.

2. Probandenstudie

Um zu untersuchen, wie eine zukünftige Fahrzeug-Fußgänger-Kommunikation durch geeignete Symboliken aussehen kann, welche Zeichen schnell Situationen zuzuordnen sind und wie intuitiv diese sind, wurde eine Probandenstudie durchgeführt.

Wie in [10, 20, 24] beschrieben, ist es naheliegend, dass dynamische Symbole besser wahrgenommen werden als statische und auch in [6, 15, 18] wird ein dynamischer LED-Streifen zur Kommunikation eingesetzt. Im Gegensatz dazu werden in [3, 19, 30] statische Signale zur Interaktion mit Fußgängern verwendet. Deshalb wurden im Vorfeld der Studie sowohl statische als auch dynamische Symbole ausgewählt und in einer Expertenrunde evaluiert. Daraus wurden die Symbole aus Abbildung 1 für die Probandenstudie festgelegt. Die zusammengestellte Auswahl stellt keine repräsentative Sammlung dar, doch werden alle Grundtypen (Balkendarstellungen, Piktogramme, allgemein bekannte Symbole) berücksichtigt und mit einer Clusteranalyse (siehe Abschnitt 3.1) beurteilt.

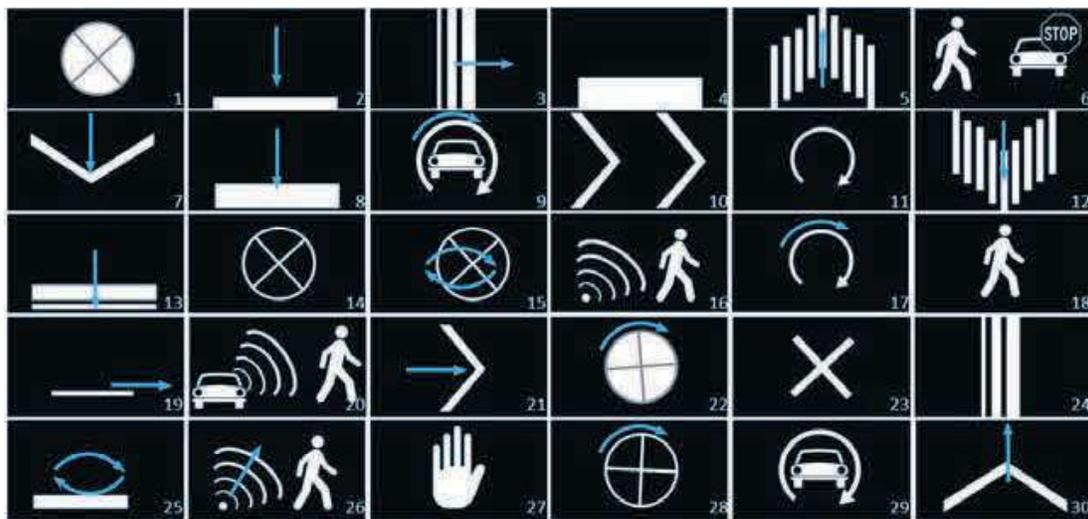


Abbildung 1: In Probandenstudie dargebotene Symbole mit Animationen (blau)

Für die zu untersuchenden Zeichen der Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion wurden bekannte Symbole aus dem Straßenverkehr, z.B. Ampelmännchen, Kurvenleittafeln, Halteverbot oder Fahrtrichtung, vertraute Icons aus dem Fahrzeuginnenbereich, z.B. Icons des ACC und Ultraschallsensoren oder Start-Stop-Automatik, und Symbole, die mit LED-Streifen darstellbar sind,

als Vorlage verwendet. Zusätzlich wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Aus diesen wurden verschiedene Zeichen abgeleitet und Symbole kombiniert.

2.1. Aufbau

Für die Studiendurchführung (siehe 2.3) wurde ein Fahrzeug in einem befahrbaren Lichtkanal platziert, um Kommunikationsmöglichkeiten mit anderen Verkehrsteilnehmern zu untersuchen. Weil eine Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion untersucht werden sollte, wurde ein relativ kurzer Abstand von ungefähr 10 m zwischen Fahrzeug und Proband gewählt. Dies entspricht in etwa der Entfernung, in der Autofahrer vor einem Zebrastreifen in einer 30 km/h Zone beginnen zu verzögern [23, 29] bzw. der maximalen Entfernung bei welcher ein Blickkontakt erkannt werden kann [28]. Die exakte Entfernung zum Fahrzeug wurde durch einen Pfosten markiert.



Abbildung 2: Setup der Probandenstudie

Die ausgewählten Symbole wurden für die ersten beiden Teile der Studie auf zwei Displays mit einer Größe von ungefähr 300 x 230 mm und einer Leuchtdichte von 315 cd/m² angezeigt. Für den gesamten Test wurden die Symbole achromatisch, d.h. weiß auf schwarzen Hintergrund, dargestellt. Die beiden identischen Monitore waren symmetrisch am Fahrzeug, knapp unter den Scheinwerfern angebracht. Die Symbole wurden durch Betätigung einer Fernbedienung umgeschaltet.

2.2. Probanden

An der Durchführung der Studie nahmen insgesamt 35 Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von 28,2 Jahre (Median = 26 Jahre) in einem Altersbereich zwischen 21 und 55 Jahren teil. Dabei waren 31 der Probanden männlich und vier weiblich. Zwei der Studienteilnehmer wiesen geringe Weitsichtigkeiten (-0,25 dpt und -0,50 dpt) auf, alle weiteren Probanden hatten eine Normalsichtigkeit oder korrigierte Sehschwächen. Zwei der männlichen

Teilnehmer hatten eine Farbfehlsichtigkeit (Deuteranopie bzw. Protanopie). 80 % der Probanden gaben an häufig (mehr als viermal pro Woche) ein Kraftfahrzeug zu führen und 94 % fahren mindestens einmal pro Woche selbst ein Kraftfahrzeug.

2.3. Ablauf

Die Durchführung der Studie gliederte sich in vier Abschnitte, wobei in den ersten beiden die Symbole am Fahrzeug ca. 10 m und in den anderen beiden Teilen am Notebook ca. 0,75 m entfernt angezeigt wurden. Für den gesamten Ablauf waren maximal 45 Minuten vorgesehen. Alle Antworten, Anmerkungen und Informationen wurden vom Versuchsleiter im Fragebogen notiert. Vor dem Durchführen der Studie wurde den Probanden der Ablauf anhand schriftlicher Hinweise erläutert und die demographischen Daten aufgenommen. Die Testpersonen waren dazu aufgefordert, sich vorzustellen, am Straßenverkehr teilzunehmen, ohne dass eine bestimmte Situation vorgegeben wurde. Der Ablauf und die Durchführung der Probandenstudie sind an das von Lagström/Lundgren [15] und Merten [20] vorgeschlagene Studiendesign angelehnt. Die Testpersonen wurden außerdem darauf hingewiesen, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig erfolgt und jederzeit abgebrochen werden kann, nach [15].

In der ersten Sektion wurde den Probanden jeweils ein Symbol auf beiden am Fahrzeug montierten Bildschirmen gezeigt. Mit Hilfe der Fernbedienung konnte der Proband selbst auf das nächste Zeichen umschalten. Die Aufgabe bestand darin, dass der Proband versucht, dem Symbol einen beliebigen Fahrzeugzustand, eine Intention oder Kommunikation zuzuordnen. Das freie Antwortformat wurde nach Jonkisz et al. [11] gewählt. Sobald der Proband sicher war, die Situation benennen zu können, schaltete er selbstständig weiter, um anschließend eine Aussage zu treffen. Konnte der Proband die Situation nicht eindeutig benennen, wurde er nach zehn Sekunden aufgefordert, ohne Antwort fortzufahren. So wurde eine Zeit (0 - 10 Sekunden) gemessen, in welcher der Proband ein Zeichen intuitiv deuten konnte, die freie Antwort zum gezeigten Zeichen wurde notiert.

Für den nächsten Abschnitt wurde den Probanden eine Auswahl an Situationen vorgegeben. Mit Hilfe des Handzettels sollten sich die Testpersonen mit den Auswahlmöglichkeiten vertraut machen, um anschließend einen ähnlich Ablauf wie im ersten Test zu durchlaufen. Zur Auswahl standen: „Fahrzeug steht“, „Fahrzeug beschleunigt“, „Fahrzeug verzögert“, „Fahrzeug biegt ab“, nach [2, 9, 15], und „Fußgänger (ich) wurde erkannt“, „Fußgänger (ich) darf gehen“, „Fußgänger (ich) sollte/muss stehen bleiben“, nach [2, 3, 9, 15]. Konnten die Probanden dem Zeichen innerhalb von fünf Sekunden keine der vorgestellten Situationen zuordnen, wurde wie in Test 1 ohne Antwort fortgefahren. Alle Symbole wurden dreimal dargestellt.

Im dritten Teil wurden den Probanden, ohne zeitliche Einschränkung, alle Symbole nacheinander am Computerbildschirm dargeboten und die drei folgenden Aussagen sollten bewertet werden: „Das gezeigte Symbol empfinde ich als aussagekräftig oder intuitiv“, „Das gezeigte Symbol ist gut zu erkennen“, „Ich verstehe, dass das Fahrzeug mit mir kommuniziert“. Für die Beurteilung wurde eine verbale Ratingskala nach [11] mit sechs Stufen („trifft voll und ganz zu“ bzw. 1 bis „trifft überhaupt nicht zu“ bzw. 6) gewählt, um die Tendenz zur Mitte zu vermeiden. Nach [11] lässt sich mit mehr Skalenstufen kein zusätzlicher Informationsgewinn finden.

Im letzten Testabschnitt wurden dichotome Aufgaben (Ja/Nein-Fragen) mit einer „Ich weiß nicht“ Antwortmöglichkeit gestellt [11]. Als erstes wurde für jede der in Test 2 vorgestellten Situationen abgefragt, ob die Probanden dynamische vor statischen Symbolen bevorzugen. Abschließend wurden alle Symbole dargeboten und die Testpersonen sollten beantworten, ob das gezeigte Symbol die Situation „Fahrzeug steht“ darstellen soll. Nachdem alle Zeichen bewertet wurden, wurden alle weiteren, in Test 2 vorgeschlagenen Situationen auf die gleiche Weise abgetestet. Damit kann überprüft werden, ob die Zuordnung der Symbole für die Darstellung am Fahrzeug und ohne Fahrzeug gleichermaßen erfolgt.

3. Ergebnisse

Die in der Probandenstudie aufgenommenen Parameter werden mit Hilfe einer Clusteranalyse und einer Rangliste qualitativ und quantitativ ausgewertet, um Gruppen innerhalb der 30 Symbole zu finden. Außerdem wird die Intuitivität der Symbole untersucht.

3.1. Clusteranalyse

Mit Hilfe einer Clusteranalyse können einzelne Beobachtungen eines vorliegenden Datensatzes so in Gruppen einsortiert werden, dass sich gruppeninterne Ähnlichkeiten maximieren und gleichzeitig Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Clustern minimieren [4]. Die Clusteranalyse eignet sich besonders gut für explorative Zwecke und ist gerade zu Beginn einer Analyse hilfreich, um Typen oder Gruppenstrukturen zu finden, die sich durch spezifische Merkmalskombination charakterisieren lassen [13]. Die Clusteranalyse ist ein strukturidentifizierendes Verfahren [13]. Um solche Gruppenstrukturen und damit eine Einteilung geeigneter und ungeeigneter Symbole für eine Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion zu finden, wird eine Clusteranalyse eingesetzt.

Für die Einteilung der Symbole in Cluster werden folgende Merkmale bzw. Messdaten der Probandenstudie verwendet: gemessene Zeiten für Deutung der Symbole in Test 1 und Test 2 sowie die Deutung aus Test 2 und die Beurteilung der drei Aussagen aus Test 3. Weil keine Mittelwertbildung oder Zusammenfassung dieser Merkmale erfolgt, ergibt sich für jedes

Symbol ein Merkmalsvektor der Dimension 350. Die Antworten aus Test 4 werden nicht explizit berücksichtigt, weil sie, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, nahezu identisch mit den Zuordnungen aus Test 2 sind. Eine Information über die Geometrie, das Aussehen oder einer möglichen Dynamik der Symbole geht nicht in die Clusteranalyse mit ein.

Als Clustering-Algorithmus wird eine dichte-basierte Methode (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise, DBSCAN) eingesetzt [13, 27], wobei mit einem K-Means Algorithmus [13] vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können. Wie in Abbildung 3 gezeigt, kann mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse [22] der 350-dimensionale Merkmalraum mit Zuordnung der Cluster zweidimensional dargestellt werden.

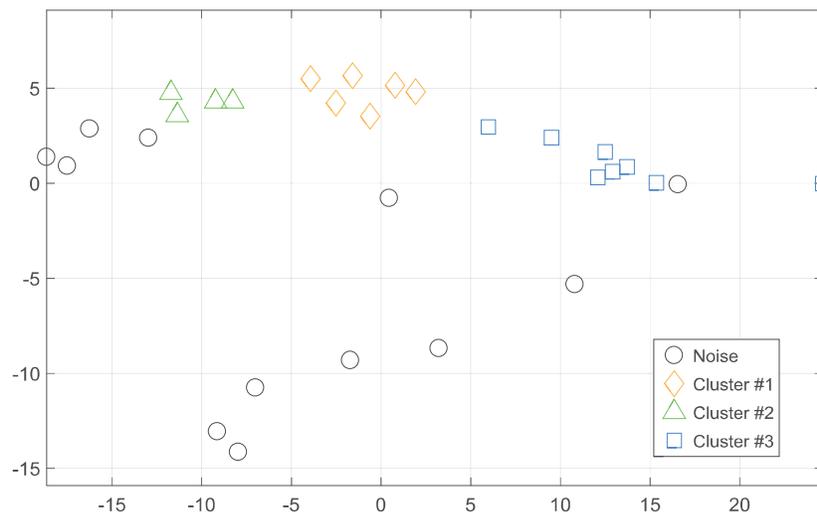


Abbildung 3: DBSCAN ($\epsilon=33$, $\text{MinPts}=4$) – Clustering der dargebotenen Symbole

Durch Anwenden des DBSCAN Algorithmus ergibt sich die Zuordnung von Symbol 2, 4, 5, 7, 12 und 30 zum Cluster 1, im Cluster 2 sind die Zeichen 9, 11, 17 und 29 enthalten und 3, 10, 16, 18, 20, 21, 26 und 27 bilden Cluster 3. Obwohl in die Gruppierung keine Information zur Form oder Dynamik der Zeichen eingegangen ist, zeigt sich, dass die Gruppe 2 alle runden Pfeile und Gruppe 3 alle vertikal bewegten Symbole enthält. Durch diese Symbolzuordnung lässt sich erwarten, dass weitere, weniger offensichtliche Informationen in den Clustern enthalten sind.

3.2. Rangliste mit Regressionsanalyse

Durch Ordnen von statistischen Beobachtungen nach ihrer Größe ergibt sich mit einem Nummerieren dieser Reihe eine Rangliste, welche einzelne Elemente direkt vergleichbar macht. Es handelt sich dabei um einen nichtparametrischen Test [14]. Durch Aufstellen eines Rankings sollen in diesem Abschnitt geeignete und ungeeignete Symbole für die Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion gefunden werden, die in der gesamten Studie am besten abgeschnitten

haben. Dafür wird eine Rangliste für die zur Clusteranalyse verwendeten Variablen gebildet, wobei auf die Zuordnung der Situationen (Test 2) verzichtet wird und an Stelle dessen die berechneten Erkennungsraten betrachtet werden. Durch Normieren der Variablen und anschließender Mittelung wird eine zusätzliche Variable generiert. Dieser Kombinationswert kann in einer Rangliste der Höhe nach sortiert werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Ranglisten zum generierten Kombinationswert und den mittleren Zeiten aus Test 1

Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Zeiten Test 1	27	23	6	21	18	3	20	30	10	14	29	7	26	11	1
Kombinationswert	27	21	18	20	26	6	23	16	30	10	3	5	7	12	4
Rang	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Zeiten Test 1	12	4	16	5	2	17	9	8	19	28	13	24	15	22	25
Kombinationswert	14	2	1	19	11	29	8	15	17	9	28	22	25	24	13

Die Symbole 27, 21, 18, 20 und 26 bilden dabei die fünf besten Symbole aus der durchgeführten Probandenstudie, wobei 28, 22, 25, 24, 13 die am schlechtesten gelisteten Symbole darstellen. Die Symbole 6, 23, 16, 30 und 10 sind noch im besten Drittel angesiedelt, wobei die Erkennungsrate der Symbole 6, 23 und 10 unter 80 % liegt. Deshalb sollen ab hier nur die Zeichen 16 und 30 als noch gute Symbole gewertet werden. Die Symbole 29, 8, 15, 17 und 9 zählen noch zum schlechtesten Drittel des Ranking.

Mit dieser Einteilung und der vorher erstellten Clusteranalyse wird schnell klar, dass sich alle der besten und eines der guten Symbole in Cluster 3 befinden und dass sieben Zeichen des am schlechtesten gerankten Drittel, darunter alle der schlechtesten, im Cluster Noise zu finden sind. Deshalb wird davon ausgegangen, dass das Cluster Noise schlechte Symbole zusammenfasst und Cluster 3 gute Symbole. In Cluster 2 sind ebenfalls noch drei schlecht gelistete Symbole zu finden. In der verbleibenden Gruppe 1 sind weder besonders gute noch besonders schlechte Symbole zu finden.

Durch diskrete Zuordnung der Klassen 1 bis 4 für schlechte bis gute Symbole und Verwenden der Variablen für den Kombinationswert, kann eine Regressionsanalyse durchgeführt werden. Damit lassen sich die wichtigsten Variablen für das Clustering finden [29]. Es ergibt sich folgender Zusammenhang für die Symbolbewertung B :

$$B = 1,04 - 0,02 \cdot t_{Test\ 1} - 0,02 \cdot t_{Test\ 2} + 0,04 \cdot RR_{Test\ 2} + [1,12; -0,70; -1,13] \cdot Bewertung_{Test3}$$

Das Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,71$ gibt an, dass rund 71 % der beobachteten Varianz mit dem Modell der linearen Regression beschrieben werden können. Das Modell stimmt demnach gut mit den Beobachtungen überein [29]. Auch die quadratische Effektstärke $f^2 = 2,39$ weist auf einen starken Effekt des Regressionsmodells hin [31].

3.3. Vergleich der Erkennungsraten

Aus den Zuordnungen der Situationen in Test 2 können für jedes Symbol die Situationen bestimmt werden, welche in den drei Abfragen am häufigsten von den Probanden gewählt wurden. Für ein Symbol i soll die Anzahl dieser Situationen die Summe der korrekten Antworten n_k sein, wobei die Zahl aller Antworten durch N_g beschrieben wird. Damit lässt sich für Test 2 eine Erkennungsrate (Recognition Rate) $RR_{Test\ 2,i} = \frac{n_k}{N_g}$ bestimmen. Nach ähnlichem Prinzip kann eine Erkennungsrate $RR_{Test\ 4,i}$ für Test 4 bestimmt werden. Durch die Berechnung eines Korrelationskoeffizienten $KOR(RR_{Test\ 2,i}, RR_{Test\ 4,i})$ kann ein Maß des linearen Zusammenhangs bestimmt werden [22]. Der Korrelationskoeffizient beträgt ca. 0,99, was auf einen sehr starken Zusammenhang hinweist. Die Symbolerkennungsraten sind damit vom Fahrzeug unabhängig.

3.4. Dynamische vs. statische Symbole

Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, wurde im vierten Teil der Probandenstudie abgefragt, ob dynamische Symbole für bestimmte Situationen bevorzugt werden (siehe Tabelle 2). Damit entscheiden sich vor allem bei dynamischen Situationen, z.B. Fahrzeug beschleunigt (94 %), bremst (83 %), biegt ab (94 %), die Mehrheit der Probanden für dynamische Symbole. Dagegen bevorzugen die meisten Probanden (80 %) statische Zeichen zur Darstellung statischer Situationen (z.B. ich sollte stehen bleiben).

Tabelle 2: Dynamische vs. statische Symbole

	Fahrzeug steht	Fahrzeug beschleunigt	Fahrzeug bremst	Fahrzeug biegt ab	Fahrzeug hat Fußgänger erkannt	Ich darf gehen	Ich sollte stehen bleiben
Ja	11	33	29	33	12	20	5
Nein	19	0	4	2	17	11	28
Weiß nicht	5	2	2	0	6	4	2

3.5. Intuitivität der Symbole

Da die Probanden im ersten Teil der Studie keine Situationsauswahl oder andere Hinweise zur dargestellten Symbolik zur Verfügung hatten, eignet sich dieser Test besonders gut, um die Intuitivität der Symbole für die Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion zu untersuchen. Dafür werden die Rangliste aus Tabelle 1 und die freien Antworten näher betrachtet. Obwohl alle Symbole, wie in Abschnitt 2 beschrieben, bekannte Zeichen zeigen oder von diesen abgeleitet werden können, beträgt die mittlere Zeit bis zum Deuten der Interaktion 6,64 s. Für das beste Drittel liegt die mittlere Zeit bis zum Beurteilen der Interaktion noch bei 4,84 s. Unter den am

schnellsten erkannten Symbolen (siehe Tabelle 1) sind beispielsweise die STOP-Hand US-amerikanischer Ampeln, das Kreuz und die schematische Darstellung von Fahrzeug, Fußgänger und Stoppschild. Dies lässt die Vermutung zu, dass besonders bekannte Gefahrensymbole schnell erkannt werden. Die meisten der Antworten der Probanden, was das Fahrzeug versucht zu kommunizieren, können auf die untersuchten Situationen aufgeteilt werden bzw. ergaben keine Antwort. Durch Einteilen der Aussagen in eine der sieben untersuchten Situationen und eine sonstige Kategorie werden damit rund 66 Prozent der Antworten berücksichtigt. Die übrigen 34 Prozent konnten zu keinen sinnvollen Gruppen zusammengefasst werden. Mit der beschriebenen Gruppierung wird, analog wie in Abschnitt 3.3 gezeigt, eine Erkennungsrate für jedes Symbol berechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt.

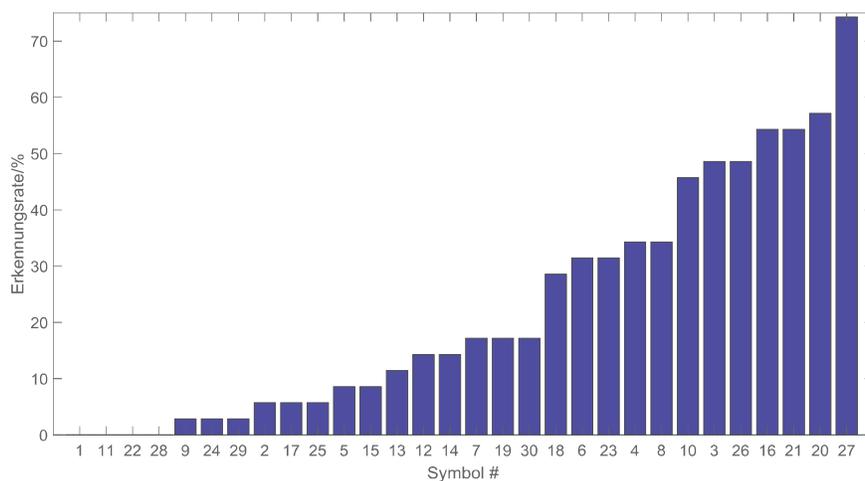


Abbildung 4: Erkennungsrate im Test 1

Das Symbol mit der besten Erkennungsrate im Test 1 ist die STOP-Hand mit ungefähr 74 %. Die drei nächstbesten sind mit ca. 57 % das Fahrzeug mit Fußgänger und jeweils ca. 54 % der animierte Abbiegepeil und der Fußgänger mit der Wellendarstellung. Alle anderen Symbole zeigen eine Erkennungsrate von weniger als 50 %, was bedeutet, dass weniger als die Hälfte der Probanden die gleiche Symboldeutung angaben. Die Symbole 1, 11, 22 und 28 liegen mit jeweils 0 % am Ende der Auflistung. Dies zeigt, dass, obwohl bekannte Symbole schneller erkannt werden als unbekannte, keines der Symbole in der nachgestellten Situation intuitiv erkannt wird. Lediglich Zeichen 27 stellt eine kleine Ausnahme dar. In Test 1 werden 26 Symbole von maximal 50 Prozent der Probanden gleich interpretiert.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe einer Clusteranalyse, einer Ranglistenuntersuchung und einer multiplen linearen Regressionsanalyse konnten geeignete Symbole für eine Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion mit bekannten Situation gefunden werden. Gerade die STOP-Hand US-amerikanischer Ampeln

zeigt gegenüber den Zeichen aus Abbildung 1 sehr gute Ergebnisse über alle Testabschnitte. Durch Vergleich der Erkennungsraten für Symbole am Fahrzeug und am Computerbildschirm zeigt sich, dass das Fahrzeugsetup kaum einen Einfluss auf die Zuordnung der Symbole hat. Besonders die Ergebnisse aus Abschnitt 3.4 zur Bewertung der Intuitivität der Symbole zeigen, dass auch bekannte Symbole, die in anderen Situationen sicher erkannt werden, für eine Fahrzeug-Fußgänger-Interaktion wenig intuitiv zuordenbar sind. Dies verdeutlicht, dass zukünftige Forschung vor allem in die Auslegung intuitiver Symbole gerichtet sein sollte. Dies lässt, wie in [15] beschrieben, vermuten, dass Symbole für die neuen Anwendungsbereiche erst erlernt werden müssen. So bestätigt das auch die hier vorgestellte Probandenstudie, wobei mit einer vorgegebenen Situationsauswahl weitaus schnellere und sicherere Antworten gegeben wurden. Es sollte daher noch untersucht werden, wie Symbole aussehen sollten bzw. in welchen Situationen kommuniziert werden sollte, damit sich für Fußgänger eine natürliche Interaktion mit automatisierten Fahrzeugen einstellen kann, wie bisher mit dem Fahrer eines Fahrzeugs.

Literaturverzeichnis

- [1] AUDI AG, *Fahrerassistenzsysteme*. [Online] Verfügbar unter: <https://www.audi-mediacentre.com/de/technik-lexikon-7180/fahrerassistenzsysteme-7184>. Zuletzt geprüft am: 22.02.2018.
- [2] *CityMobil2 final conference*. Donostia, San Sebastian, Spain. 2016.
- [3] M. Clamann, M. Aubert und M. L. Cummings, "Evaluation of Vehicle-to-Pedestrian Communication Displays for Autonomous Vehicles," in *Transportation Research Board 96th Annual Meeting, Washington DC, United States, 2017*
- [4] T. Deutschländer, "Über Möglichkeiten und Grenzen der statistischen Langfristprognose," Dissertation, Freie Universität Berlin, Berlin, 2003.
- [5] B. Färber, "Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern," in *Springer open, Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, M. Maurer, Ed., Berlin u.a.: Springer Vieweg, 2015, S. 127–146.
- [6] M. J. Flannagan, "UMTRI Review: Lighting for Automated Vehicles," Transportation Research Institute, UMTRI, University of Michigan, Ann Arbor, USA, 2017.
- [7] L. Fridman und B. Mehler et al., *To Walk or Not to Walk: Crowdsourced Assessment of External Vehicle-to-Pedestrian Displays*. [Online] Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1707.02698>. Zuletzt geprüft am: 06.03.2018.
- [8] T. Fuest, L. Sorokin, H. Bellem und K. Bengler, "Taxonomy of Traffic Situations for the Interaction between Automated Vehicles and Human Road Users," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Bd. 597, *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation, July 17–21, 2017, Los Angeles, CA, USA*, N. A. Stanton, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2018, S. 708–719.
- [9] A. Habibovic, J. Andersson, M. Nilsson, V. M. Lundgren und J. Nilsson, "Evaluating interactions with non-existing automated vehicles: Three Wizard of Oz approaches," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV): 19-22 June 2016*, [Piscataway, New Jersey]: [IEEE], 2016, S. 32–37.
- [10] W. Huhn, M. Hamm, S. Berlitz und S. Omerbegovic, "Digitales Licht: Von der Matrix zum Mikrospiegel," *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 120. Jg., Nr. 2, S. 18–25, 2018.
- [11] E. Jonkisz, H. Moosbrugger und H. Brandt, "Testtheorie und Fragebogenkonstruktion," in *Springer-Lehrbuch, Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*, H. Moosbrugger and A. Kelava, Eds. 2. Aufl., Berlin u.a.: Springer, 2012.
- [12] R. Klädtke, S. Hauptmann und G. Böhm, "Lichttechnik zur Kommunikation beim autonomen Fahren," *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 120. Jg., Nr. 2, S. 30–35, 2018.

- [13] P. D. König und S. Jäckle, "Clusteranalyse," in *Lehrbuch, Neue Trends in den Sozialwissenschaften: Innovative Techniken für qualitative und quantitative Forschung*, S. Jäckle, Ed., 2017, S. 51–84.
- [14] U. Krengel, *Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik: für Studium, Berufspraxis und Lehramt*, 7. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 2003.
- [15] T. Lagström und V. M. Lundgren, "Autonomous vehicles' interaction with pedestrians: An investigation of pedestrian-driver communication and development of a vehicle external interface," Master Thesis, Department of Product- and Production Development, Division of Design & Human Factors, Chalmers University of Technology, Gothenborg, Sweden, 2015.
- [16] Q. Liu, B. Emmermann, O. Suen, B. Grant, J. Hercules, E. Glaser und B. Lathrop, "Rightward attentional bias in windshield displays: Implication Towards External Human Machine Interfaces for Self-driving Cars," in *2017 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA), March 27-31, 2017 in Savannah, GA, USA*
- [17] V. M. Lundgren, A. Habibovic, J. Andersson, T. Lagström, M. Nilsson, A. Sirkka, J. Fagerlönn, R. Fredriksson, C. Edgren, S. Krupenia und D. Saluäär, "Will There Be New Communication Needs When Introducing Automated Vehicles to the Urban Context?," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Bd. 597, *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Factors in Transportation, July 17–21, 2017, Los Angeles, CA, USA*, N. A. Stanton, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2018, S. 485–497.
- [18] K. Mathadevan, S. Somanath und E. Sharlin, "Communicating Awareness and Intent in Autonomous Vehicle-Pedestrian Interaction," Research Report, Computer Science, University of Calgary, Calgary, 2017.
- [19] M. Matthews, G. Chowdhary und E. Kieson, *Intent Communication between Autonomous Vehicles and Pedestrians*. [Online] Verfügbar unter: <https://arxiv.org/abs/1708.07123>. Zuletzt geprüft am: 18.01.2018.
- [20] K. Merten, *Informelle Zeichengebung im Straßenverkehr: Bericht zum Forschungsprojekt 7521 der Bundesanstalt für Straßenwesen Bereich Unfallforschung*. Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen Bereich Unfallforschung, 1981.
- [21] A. L. Newman, "Vehicle-to-pedestrian communication systems", USA US20180040240A1.
- [22] L. Papula, *Mathematische Formelsammlung: Für Ingenieure und Naturwissenschaftler*, 10. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.
- [23] T. Petzoldt, K. Schleinitz und R. Banse, "The potential safety effects of a frontal brake light for motor vehicles," in *IET Intelligent Transport Systems. 2018*
- [24] P. Rabenau, F. Patzig und T. Q. Khanh, "Investigation of the Optimum Brightness of Dynamic Taillights," in *Darmstädter Lichttechnik, Proceedings of the 12th International Symposium on Automotive Lighting: ISAL 2017*, T. Q. Khanh, Ed., München: Utz, Herbert, 2017, S. 491–499.
- [25] R. Risser, *Kommunikation und Kultur des Strassenverkehrs*, 1. Aufl. Wien: Literas-Universitäts-Verlag, 1988.
- [26] C. Said und D. R. Baker, *Humanizing cars, sensitizing humans: The rise of robot vehicles will mean reprogramming a longtime relationship*. [Online] Verfügbar unter: <http://www.sfchronicle.com/news/article/Self-driving-cars-human-car-interactions-12215194.php#container>. Zuletzt geprüft am: 16.01.2018.
- [27] J. Sander, "Generalized Density-Based Clustering for Spatial Data Mining," Dissertation, Fakultät für Mathematik und Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München, München, 1998.
- [28] D. L. Scarl, "Eye contact perception at distances up to six meters," Dissertation, Portland State University, Portland, USA, 1985.
- [29] F. Schneemann und I. Gohl, "Analyzing driver-pedestrian interaction at crosswalks: A contribution to autonomous driving in urban environments," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV): 19-22 June 2016*, [Piscataway, New Jersey]: [IEEE], 2016, S. 38–43.
- [30] E. Uhlemann, "Initial Steps Toward a Cellular Vehicle-to-Everything Standard [Connected Vehicles]," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, 12. Jg., Nr. 1, S. 14–19, 2017.
- [31] Universität Zürich UZH, *Methodenberatung: Multiple Regression*. [Online] Verfügbar unter: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse/zusammenhaenge/mreg.html>. Zuletzt geprüft am: 13.03.2018.
- [32] E. Vinkhuyzen und M. Cefkin, "Developing Socially Acceptable Autonomous Vehicles," *Ethnographic Praxis in Industry Conference Proceedings*, 2016. Jg., Nr. 1, S. 522–534, 2016.