

Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 138

The logo for the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) is displayed in a stylized, lowercase, green font with a white outline. The letters are bold and rounded, giving it a modern and professional appearance.

Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern

von

Erik Schaarschmidt
Robert Yen

Rapp Trans (DE) AG
Berlin

Ralf Bosch
Rapp Trans (CH) AG
Basel

Lisa Zwicker
Jens Schade
Tibor Petzoldt

Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr,
Professur Verkehrspsychologie
Technische Universität Dresden

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 138

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Berichte der **Bundesanstalt für Straßenwesen** (BAST) stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 82.0701
Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern

Fachbetreuung
Heike Hoffmann

Referat
Automatisiertes Fahren

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-570-5

Bergisch Gladbach, März 2021



Kurzfassung – Abstract

Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern

Der heutige Straßenverkehr ist geprägt durch eine ständige Interaktion zwischen unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern, um in geregelten oder unregulierten Situationen einen reibungslosen Verkehrsablauf zu gewährleisten. Durch einen steigenden Anteil an automatisierten Fahrzeugen und Fahrfunktionen im Verkehrsgeschehen werden zwangsläufig auch die Interaktionen zwischen nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern und automatisierten Verkehrsteilnehmern unterschiedlicher Automatisierungsstufen sukzessive zunehmen.

Der vorliegende Forschungsbericht widmet sich der Frage, wie sich die heutige Kommunikation zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern unter Berücksichtigung einer zunehmenden Fahrzeugautomatisierung verändern wird und welche möglichen Folgen daraus auf die Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz erwartet werden müssen.

Im Mittelpunkt des Projekts stand eine Analyse, welche Kommunikationsmodelle zur Beschreibung der Interaktionen zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern geeignet sind. Dabei zeigte sich das Sender-Empfänger-Modell von SHANNON & WEAVER (1949) als geeignet, weil es den im Straßenverkehr üblicherweise kurzzeitigen und gerichteten Kommunikationsprozess durch seine klaren Elemente einfach beschreibbar macht. Zudem erscheint zielführend, die Perspektive und Kommunikationsmöglichkeit des aktiven Pkw-Fahrers bzw. die des automatisiert fahrenden Fahrzeugs einzunehmen.

Dem aktiven Fahrer eines herkömmlichen Pkw steht zur Informationsübermittlung an seine Umwelt eine Vielzahl von Kommunikationsmitteln zur Verfügung, da er sowohl auf die technischen Möglichkeiten seines Fahrzeugs als auch auf seine menschliche Zeichengebung zurückgreifen kann. Diese wurden nach der Modalität, der Formalität, der Intentionalität und der Selektivität klassifiziert.

Diese Klassifizierung erfolgte in einer umfangreichen Sammlung an Interaktionsszenarien, in denen (mindestens) zwei Verkehrsteilnehmer miteinander

interagieren. Zudem wurde eine Relevanzbewertung der verschiedenen Interaktionsszenarien hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verkehrssicherheit, den Verkehrsfluss und das Verkehrsklima durchgeführt. Aus theoretischen Überlegungen und empirischen Studien wurden mögliche Kriterien abgeleitet, mit deren Hilfe eine qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel in Abhängigkeit von der vorliegenden Verkehrssituation und der zu übermittelnden Botschaft durchgeführt werden konnte.

Die Interaktionsszenarien wurden anschließend dahingehend geprüft, ob die bislang genutzten Kommunikationsmittel eines herkömmlichen Pkw auch durch einen automatisiert fahrenden Pkw im Mischverkehr angewendet werden können. Dabei traten insbesondere diejenigen Szenarien in den Mittelpunkt, die vom Regelfall nach StVO abweichen und die im heutigen Verkehrsgeschehen nicht durch geeignete technologiebasierte Kommunikationsmittel verhandelt werden können. Im Rahmen eines Experten-Workshops, u. a. mit Vertretern aus den Bereichen der Arbeits-, Organisations- und Verkehrspsychologie mit Bezug zum automatisierten Fahren, wurde zudem eine Diskussion aus wissenschaftlicher Sicht angestoßen, welche neuen Kommunikationsmittel als Folge einer zunehmenden Fahrzeugautomatisierung möglich bzw. nötig sind.

Die Konsolidierung der wissenschaftlichen Beiträge aus dem Workshop sowie deren Gegenüberstellung mit den eigenen Ergebnissen bildeten den Abschluss der Forschungsarbeit. Auf Basis dessen konnten Handlungsempfehlungen für künftige Forschungsfragen und Studienansätze für die Gestaltung und Evaluierung neuer Kommunikationsformen aus wissenschaftlicher Perspektive abgeleitet werden, die bei der weiteren Forschung zu Fragen der Fahrzeugautomatisierung Eingang finden sollen.

Fundamentals of communication between automated vehicles and road users

Today's road traffic is characterised by constant interaction between different road users in order to ensure smooth traffic flow in regulated or unregulated situations. Due to an increasing share of automated vehicles and driving functions in traffic, the interactions between non-automated road users and automated road users of different levels of automation will inevitably increase successively.

This research report is devoted to the question of how today's communication between automated and non-automated road users will change in view of increasing vehicle automation and what possible consequences this will have on road safety and traffic efficiency.

The first focus of this project was an analysis of which communication models are suitable for describing the interactions between automated and non-automated road users. The sender-receiver model from SHANNON & WEAVER (1949) proved to be suitable because its clear elements make it easy to describe the communication process, which is usually short-term and directed in road traffic. In addition, the perspective and communication possibilities of the active car driver or the automatically driving vehicle seem to be the most appropriate.

The active driver of a conventional passenger car has a variety of communication means at his disposal for the transmission of information to his environment, as he can make use of both the technical possibilities of his vehicle as well as his human signs. These were classified according to modality, formality, intentionality and selectivity.

This classification was included in an extensive collection of interaction scenarios in which (at least) two road users interact with each other, as well as a relevance assessment of the various interaction scenarios with regard to their influence on road safety, traffic flow and traffic climate. Furthermore, possible criteria were derived from theoretical considerations and empirical studies, with the help of which a qualitative evaluation of the means of communication could be carried out depending on the existing traffic situation and the message to be transmitted.

The interaction scenarios were then tested to see whether the communication means of a conventional car can also be used by an automated car in mixed traffic conditions. In particular, the focus was on those scenarios that deviate from the standard case according to German Road Traffic Regulations (Straßenverkehrsordnung – StVO) and that cannot be negotiated in today's traffic environment using suitable technology-based communication tools. An expert workshop with representatives from the fields of work-, organisational- and traffic psychology with reference to automated driving, among others, initiated a discussion from a scientific point of view as to which new means of communication are possible or necessary as a result of increasing vehicle automation.

The consolidation of the scientific contributions from the workshop as well as their comparison with the own results formed the conclusion of the research work. On this basis, recommendations for action for future research and study approaches for the design and evaluation of new forms of communication could be derived from a scientific perspective, which should find their way into further research on questions of vehicle automation.

Summary

Fundamentals of communication between automated vehicles and road users

Today's road traffic is characterised by constant interaction between different road users in order to ensure smooth traffic flow in regulated or unregulated situations. Due to an increasing proportion of automated vehicles (AV) in traffic, interactions between non-automated road users and automated road users of different levels of automation will inevitably increase successively. Since automated driving functions will only slowly find their way into the fleet of vehicles on the road, it can be assumed that this mixed traffic system will exist over a significant period of time and that different types of interactions and interaction processes will occur.

This research report is devoted to the question of how today's communication between automated and non-automated road users will change in view of increasing vehicle automation and what possible consequences this will have on road safety and traffic efficiency.

Fundamentals of communication

In order to approach the question systematically, it was first necessary to deal with the fundamentals of communication and interaction in road traffic, especially with regard to which means of communication are most suitable in which traffic situation, between which interaction partners and in relation to the intentions at hand. The main focus of this project was the analysis of which communication model can be used to describe the interactions

between automated and non-automated road users. The complex interrelations and interaction possibilities were described by characterising the relevant recipient groups and describing the different types of messages transmitted (messages). The classical sender-receiver model of SHANNON & WEAVER (1949) proved to be suitable because its clear elements make it easy to describe the communication process, which is usually short-term and directed in road traffic. In addition, the perspective and communication possibilities of the car driver or the automated vehicle seem to be useful.

In order to be able to compare a clear number of means of communication in the present project, various separate signs (groups) were combined on the basis of BAUER et al. (1980) and MERTEN (1981) for theoretical and practical reasons. This concerns, among other things, the various physical gestures and movements, since these are so varied that they cannot be presented exhaustively and clearly enough for research purposes. The same applies to eye contact, as it is no longer separate from the transmitter's facial expression as soon as it occurs. The active driver of a conventional car has a variety of means of communication at his disposal to transmit information to his environment, since he can fall back both on the technical possibilities of his vehicle and on his human signs.

As part of the systematic analysis of the means of communication available in today's traffic of a car with an active driver, the following classification was carried out (table 1).

The question of which means of communication is suitable in which situations to convey a message quickly and unambiguously requires an evaluation of the individual means of communication. To this end, the criteria of recognisability (both with regard

Classification	Description
Modality	Differentiation between technology-supported (e.g. use of indicators and brake lights) and gesture-supported (e.g. eye contact and physical gestures) means of communication.
Formality	Differentiation between formal and informal means of communication on the basis of the definition of whether they constitute a permissible sign in a particular situation in accordance with the German Road Traffic Regulations (StVO – Straßenverkehrsordnung) (e.g. formal: headlamp flasher to warn of dangers; informal: headlamp flasher to give right of way).
Intentionality	Differentiation between explicit (e.g. turn signals as direction indicators for the explicit communication of the transmitter) and implicit (e.g. vehicle dynamics which are interpreted by the receiver as signs) means of communication.
Selectivity	Differentiation between directed (e.g. eye contact directed at a specific road user) and undirected (e.g. brake light emitting information undirected to the environment) means of communication.

Tab. 1: Classification of means of communication

Criterion	Description
Recognisability (environmental conditions)	Recognisability of a means of communication, whether it is visible or audible at all for the receiver under the prevailing environmental conditions (e.g. in darkness).
Recognisability (positioning)	Recognisability of a means of communication, whether it is recognisable for the receiver with regard to the position of the communication partners (e.g. viewing angle and distance).
Unambiguousness	The unambiguousness of a means of communication, whether the intended message can be conveyed unambiguously or whether other messages can be transmitted with it.
Comprehensibility	Comprehensibility of a means of communication, i.e. a sign is understandable to the recipient (intuitively) or strongly dependent on the traffic situation (context).

Tab. 2: Evaluation criteria of means of communication

to environmental conditions and the positioning of road users in relation to one another), unambiguity and comprehensibility were selected and defined.

Analysis of today's communication in road traffic

In order to ensure a comprehensive inclusion of the means of communication used in road traffic, a comprehensive list of scenarios in which non-automated road users interact with each other was compiled in the analytical part of this research work. It was based on various preliminary studies (e.g. WILBRINK et al., 2018), the general traffic regulations according to the German Road Traffic Regulations (StVO), the conflict situations from the accident type catalogue (ORTLEPP & BUTTERWEGGE, 2016), the catalogue of measures against accident accumulations (MaKaU; MAIER, BERGER & KOLLMUS, 2017) as well as further survey work and studies. A total of 154 possible interaction scenarios for traffic constellations in urban traffic, on out-of-town roads and on motorways were compiled. Naturally, the majority of the scenarios here were in the inner-urban area (110), since on the one hand the need for communication is very high and on the other hand the uncertainty, especially on the part of the weak road users (cyclists and pedestrians), is very high.

How relevant an interaction scenario is for the present consideration was determined on the basis of three criteria:

1. Road safety: Assessment of how relevant the scenario is in terms of avoiding serious conflict situations.
2. Traffic flow: Assessment of how relevant the scenario is to the traffic flow in the transmitter's trajectory.

3. Traffic climate: Assessment of how relevant the scenario is in terms of the willingness to cooperate in road traffic.

The evaluation was made by awarding points on a scale from 1 (low relevance) to 3 (high relevance). The three scores were then added up to give an overview of the scenarios that were significant for the project objective. The number of scenarios relevant to the project question was thus reduced to 127 interaction scenarios. These were compiled in a scenario catalogue, with each scenario sheet containing a description of the traffic situation and a sketch. Also included are the basic message to be transmitted from the transmitter (car) to the other interaction partner (receiver) as well as the available or usable means of communication for the transmitter (car) in today's traffic.

Within the scenario catalogue, the means of communication used by the sender (car) were shown for each interaction scenario and classified and evaluated on the basis of the basic work carried out. The qualitative evaluation led to an assessment for each scenario sheet as to which means of communication (possibly in combination) are suitable for conveying the respective message on the basis of the criteria introduced.

Analysis of the future communication in mixed traffic

For the purposes of this project, mixed traffic is defined as the condition in which motorised individual traffic contains, in addition to manually controlled vehicles (up to and including level 2), a substantial proportion of automated vehicles which, in some or all cases of use, perform driving activities (from level 3) and therefore interact with non-automated road users (including pedestrians, cyclists, etc.).

On the basis of the knowledge gained, further consideration was given to the question of how communication should be designed in a future mixed transport system, especially for the interaction scenarios in which the means of communication used to date can no longer be used or can only be used insufficiently. Based on theoretical considerations and empirical studies, a qualitative assessment of the transferability for mixed traffic conditions was formulated.

In addition to a description of the basic assumptions for an automated vehicle (AF) (including rule-compliant and cooperative behaviour), it is assumed that the technology-supported means of communication of a car will continue to be used in the future. The selection of the relevant scenarios was primarily based on whether a change in the previous communication is necessary, because in future a human driver (or transmitter) will no longer appear, but will be replaced by a machine. Nevertheless, it is expected that interactions that take place in traffic environments that are clearly regulated by the road traffic regulations (German Road Traffic Regulations – StVO) and for which a suitable technology-supported means of communication is available can be transferred to mixed traffic.

The situation is different in scenarios where no technology-supported means of communication can be used to convey the message or where there are gesture-supported means of communication which are advantageous over applicable technical aids. These are regarded as non-transferable or partially transferable in view of future mixed traffic and were considered further. The focus for the state of mixed traffic was thus in particular on those scenarios that are not clearly regulated under the German Road Traffic Regulations (StVO) in today's traffic and those in which the basic message of the transmitter (car) cannot be conveyed by suitable technology-supported means of communication.

For the systematic evaluation of the interaction scenarios in terms of their transferability, concrete conditions were subsequently defined according to which the 127 scenarios can be divided into three groups. These conditions link the question of whether a traffic scenario is clearly regulated by the Road Traffic Regulations with the consideration of whether a suitable technology-based means of communication for transmitting a message is available or whether an additional gesture-based means of communication would be advantageous

or even needed due to the lack of a technological alternative. From this consideration, three possible links can be derived, which are shown graphically in figure 1.

The results showed that more than half of the scenarios can be transferred to mixed traffic on the basis of the chosen system, provided that road users behave in accordance with the rules and cooperatively, and that a vehicle's technology-supported means of communication continues to exist. Only a few of the interaction scenarios assessed as relevant with regard to traffic safety, traffic flow and traffic climate are critical with regard to transferability for mixed traffic. For these, there is a need for action, e.g. with regard to new communication concepts:

1. Encounter of two road users in narrow road cross-sections or bottlenecks.
2. Parking in and out of parking areas and multi-storey car parks.
3. Threading and unthreading on interacting strips on motorways.

Other scenarios that can have a particularly negative impact on traffic flow can mainly be assigned to Group II. These scenarios offer potential for misunderstandings due to the partially foreseeable driving behavior of an AV. Scenarios in which an AV waives his right of way for various reasons and, through cooperative behavior, waits until another road user resolves the traffic situation through active action (e.g. driving off) appear less critical from a traffic safety perspective, but have a major impact on traffic flow.

Expert workshop

In the context of an expert workshop (17 participants in total, including representatives from the fields of work, organisational and traffic psychology related to automated driving), a discussion was initiated from a scientific point of view as to which new means of communication are possible or necessary as a result of increasing vehicle automation if today's means of communication no longer function due to mixed traffic. The discussions were based on the above-mentioned critical interaction scenarios, which were used to discuss the following main topics in three consecutive rounds (group work):

1. Solutions for future means of communication of automated vehicles.
2. Criteria for the qualification of solution approaches and acceptance of new means of communication.
3. Advantages and disadvantages of a general marking of automated vehicles.

The original report contains a comprehensive evaluation of the findings and recommendations received during the expert workshop. From this scientific point of view, it can be summarised that for the scenarios assessed as critical, solutions for new means of communication already exist, but also in the course of the emergence of automated driving functions, the applicable traffic regulations of the German Road Traffic Regulations (StVO) would have to be adapted at a suitable point. The fact that there is a need for further means of communication in certain traffic situations is shown by the „headlamp flasher“ used in many cases today, which according to § 16 StVO may only be used in certain cases. It has also been shown that there are other unanswered questions regarding the way in which information is passed on and its content. If, in this respect, the development towards a general marking of automated vehicle (AF) takes place, this should be considered for vehicles from SAE level 3.

There are also other criteria regarding the evaluation of means of communication which must meet both essential quality requirements for technical systems, as well as it should be standardised, uniform and applicable in a variety of traffic scenarios. In addition, the intuitive comprehensibility (quick to grasp, easy to learn) of a means of communication is another important criterion.

Future communication concepts

Based on the assumption that the communication between different human actors that has taken place so far cannot be carried out in this way by an automated vehicle (AF), the question of alternative concepts inevitably arises. In doing so, not only the type of information representation has to be considered, but also the question of which information should (and can) be represented at all. Based on the technical report ISO/TR 23049 (2018) and the findings of the workshop, a discussion took place regarding the information content and the presentation of information. With regard to the content of the communication, it can be assumed that a future means of communication will range from a pure status display to the display of a concrete recommendation for action for other road users.

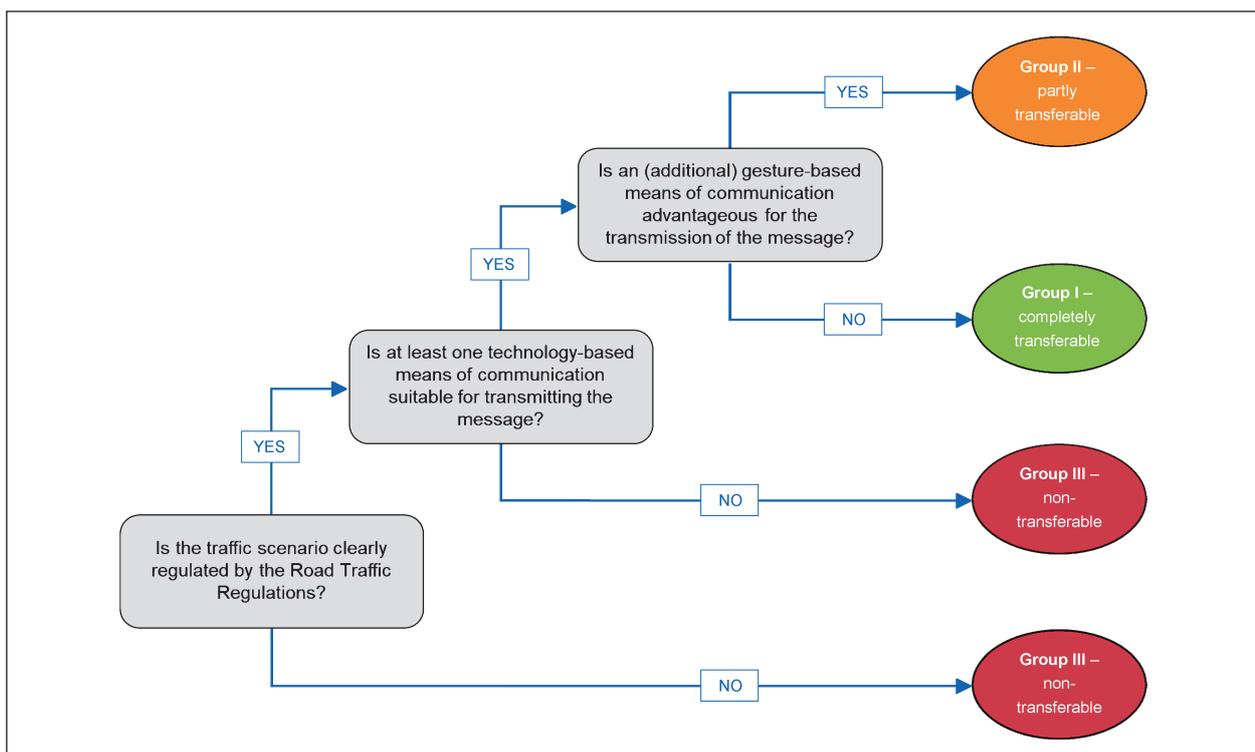


Fig 1: Selection of relevant scenarios in mixed traffic

The content of current display and design concepts was also revised with regard to the type of information presentation. The vast majority of the concepts are of a visual nature (e.g. LED luminaires or light strips in variation of colour, position and time of activation). Although these approaches are technologically relatively easy to implement, difficulties in intuitive comprehensibility are expected or must first be a learning process. In addition to these, projections onto the roadway and the behaviour of the vehicle itself (e.g. time of deceleration, positioning when stopping, etc.) as „movement gestures“ represent further possible forms of representation of future communication of automated vehicles (AF).

Last but not least, the possibility of general identification also represents a form of communication, whereby the information content is limited to the fact that a vehicle is in the automated driving mode. The general marking can be done in different ways, but it is not systematically evaluated with regard to its suitability. Empirical studies of the potential effects of general identification have so far been scarce. Rather, the majority of the publications that have addressed this question so far are on the level of expert opinions (similar to the statements of the expert workshop). In addition, previous studies which, among other things, recorded the needs and wishes of other road users, have shown arguments for and against a general identification, so that a clear picture in the direction of a recommendation is not given.

Numerous research questions have arisen from the present analysis of today's communication in road traffic and the considerations as to how communication should be designed in a future mixed traffic system. A central question concerns the suitability of possible new means of communication for road users with disabilities such as children, the elderly or the disabled, who must continue to be able to participate in traffic as easily as possible.

Conclusion

The present research project offers indications on how today's communication between road users will change with increasing vehicle automation. On the basis of a comprehensive scenario analysis, it is systematically shown that under certain conditions for future mixed traffic, limited communication between automated and non-automated road users is

only expected in a few traffic scenarios. The chosen approach offers clues and suggestions as to which basic criteria future communication means of automated vehicles should be subject to and whether the (correct) understanding of the transmitted message is relevant for traffic safety, traffic flow or traffic climate.

The progress of technical developments and the large number of different new concepts suggests a high need for action for an alternative to the gesture-based communication possibilities of a human driver. However, the results of the present study show a possible need for further means of communication only in a few traffic scenarios. The findings and indications from a large number of different studies and research initiatives in this context, and not least the scientific contributions from the expert workshop, show the topicality of the issue under consideration, but also several open research questions, two of which should be addressed as a priority. On the one hand, the previously experimental research should be expanded to real conditions in the field in order to examine the effectiveness of new means of communication, taking into account behavioral consequences, and to increase the external validity of the findings. On the other hand, requirements and needs of different road user groups, such as children, the elderly and people with reduced mobility should be given a high consideration in developing new means of communication in the future.

Inhalt

1	Einführung	13	3.3	Szenarienkatalog mit Szenarienblättern	26
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	13	3.4	Bewertungssystem und qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel	27
1.2	Methodisches Vorgehen	13	3.5	Zusammenfassung und Diskussion ...	28
1.3	Abgrenzung	14			
2	Literaturanalyse	15	4	Analyse der zukünftig zu erwartenden Kommunikation im Mischverkehr ...	29
2.1	Kommunikationsmodelle, -inhalte und -bedürfnisse	15	4.1	Grundlegende Annahmen über automatisierte Fahrzeuge	30
2.1.1	Wen soll die Nachricht erreichen? (Empfänger)	17	4.2	Bewertung der Übertragbarkeit von Interaktionsszenarien auf den Mischverkehr	30
2.1.2	Was soll dem Empfänger mitgeteilt werden? (Nachricht/Botschaft)	18	4.2.1	Gruppe I – vollständig übertragbar ...	31
2.1.3	Was könnte bei der Nachrichtenübertragung hinderlich sein? (Rauschen)	18	4.2.2	Gruppe II – teilweise übertragbar	32
2.2	Kommunikationsmittel	19	4.2.3	Gruppe III – nicht übertragbar	33
2.3	Klassifikation von Kommunikationsmitteln	20	4.2.4	Relevanz der Szenarien	33
2.3.1	Modalität: technologiegestützt vs. gestengestützt	20	4.3	Kritische Szenarien im Mischverkehr	34
2.3.2	Formalität: formell versus informell ...	20	4.3.1	Interaktion zwischen Fahrzeugen in Engstellen	34
2.3.3	Intentionalität: explizit versus implizit	21	4.3.2	Interaktion zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern auf Parkflächen	36
2.3.4	Selektivität: gerichtet versus ungerichtet	21	4.3.3	Interaktion zwischen Fahrzeugen in Verflechtungsbereichen auf BAB ...	37
2.4	Bewertungskriterien für Kommunikationsmittel	22	4.3.4	Weitere Szenarien mit Handlungsbedarf für den Mischverkehr	38
2.4.1	Erkennbarkeit (Umweltbedingungen)	22	5	Expertenworkshop	39
2.4.2	Erkennbarkeit (Positionierung)	22	5.1	Hintergrund und Ziel des Expertenworkshops	39
2.4.3	Eindeutigkeit	23	5.2	Inhalte und Durchführung des Expertenworkshops	39
2.4.4	Verständlichkeit	23	5.2.1	Inhalt des Expertenworkshops	39
3	Analyse der heute stattfindenden Kommunikation im Straßenverkehr	23	5.2.2	Teilnehmerkreis des Expertenworkshops	39
3.1	Szenariensammlung	24	5.2.3	Ablauf des Expertenworkshops	39
3.2	Relevanzbewertung der Szenarien ...	25			

5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse des Expertenworkshops	40
5.3.1	Lösungsansätze für künftige Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge	40
5.3.2	Kriterien zur Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge	43
5.3.3	Vor- und Nachteile einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge	45
6	Künftige Kommunikationskonzepte	48
6.1	Inhalte der Kommunikation.	48
6.1.1	Informationen des Fahrzeugs über den eigenen „Zustand“.	48
6.1.2	Informationen über das „Verständnis“ des Fahrzeugs bzgl. der Verkehrsumgebung	49
6.2	Informationsdarstellung	50
6.3	Generelle Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge	51
7	Handlungsempfehlungen für künftige Forschungsfragen.	52
8	Zusammenfassung.	56
	Literatur.	59
	Bilder	64
	Tabellen	64

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

1 Einführung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Der heutige Straßenverkehr ist geprägt von einem ständigen Informationsaustausch motorisierter und nicht-motorisierter Verkehrsteilnehmer, um in geregelten oder unregulierten Situationen einen reibungslosen Verkehrsablauf zu gewährleisten. Durch einen steigenden Anteil an automatisierten Fahrzeugen und Fahrfunktionen im Verkehrsgeschehen werden zwangsläufig auch die Interaktionen zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern sukzessive zunehmen. Dieses Mischverkehrssystem wird über einen bedeutenden Zeitraum hinweg bestehen, was eine Betrachtung der voraussichtlichen Änderungen in der Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern und der konkreten Forderungen an die Fahrzeuggestaltung notwendig macht.

Das automatisierte Fahrzeug stellt derzeit noch einen ungewohnten Interaktionspartner dar, der nicht wie ein menschliches Gegenüber auf Kommunikationsmittel wie den Blickkontakt oder Handgesten zurückgreifen kann, um Informationen über seine Absichten oder Erwartungen zu übermitteln. In der aktuellen Forschung wird dies häufig als Problem aufgefasst, welchem wiederum mit der Gestaltung und Evaluation von technischen „Ersatz-Kommunikationsmitteln“ begegnet wird (u. a. RESCHKE, RABENAU, HAMM & NEUMANN, 2018; ACKERMANN, BEGGIATO, SCHUBERT & KREMS, 2019). Der vermeintlichen Bedeutsamkeit von Kommunikation im Straßenverkehr im Allgemeinen sowie von gestenbasierten Kommunikationsmitteln im Speziellen steht allerdings insgesamt eine überraschend geringe Zahl von Studien gegenüber, die sich mit der empirischen Klassifizierung und Bewertung zwischenmenschlicher Kommunikation, wie sie heute im Straßenverkehr stattfindet, befasst.

Es ist zentral und unerlässlich, sich bei der Entwicklung von Kommunikationsmitteln der Zukunft an bisher bewährten Kommunikationsmitteln zu orientieren – und somit das bereits vorhandene Verständnis, Vertrauen und Sicherheitsgefühl, welches die Verkehrsteilnehmer mit diesen verbinden, zu nutzen. Zu diesem Zweck sollte in einem der Entwicklung bzw. Gestaltung neuer Kommunikationsmittel vorgelagerten Schritt Klarheit darüber geschaffen werden, welche Kommunikationsmittel in welcher Verkehrskonstellation (bzw. -situation), zwischen welchen Interaktionspartnern und bezogen

auf die vorliegenden Absichten als am geeignetsten zu bewerten sind. Zu dieser Problematik umfasst die Literatur nur wenige Überblicksarbeiten aus den 1980er Jahren (BAUER, RISSER, TESKE & VAUGHAN, 1980; MERTEN, 1981; RISSER, 1988), in denen zwar eine klassifikatorische Einordnung von Kommunikationsmitteln, aber nur peripher auch eine qualitative Abschätzung derselben vorgenommen wird. Weiterführende und neuere Forschung befasst sich häufig nur mit einzelnen Kommunikationsmitteln, stellt aber selten verschiedene gegenüber. Vergleichende Aussagen in Bezug auf die Auftretenswahrscheinlichkeit (Wie häufig wird beispielsweise durch eine Handgeste die Vorfahrtsgewährung angezeigt und wie häufig wird in der gleichen Situation die Lichthupe genutzt?) oder die Wirksamkeit (Entscheiden sich Fußgänger, denen der Vorrang per Handgeste gewährt wurde, häufiger oder schneller dazu, die Straße zu überqueren, als wenn die Lichthupe zum Einsatz kam?) sind dadurch quasi inexistent. Im vorliegenden Projekt „Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern“ soll daher eine theoretische und systematische Annäherung an eine derartige Übersicht vorgenommen werden, mit deren Hilfe eine bessere Abschätzung zukünftig zu entwickelnder Kommunikationsmittel für den Mischverkehr ermöglicht wird.

1.2 Methodisches Vorgehen

In einem ersten Schritt sollen geeignete Kommunikationsmodelle für die Betrachtungen vorgestellt und erläutert sowie Empfängergruppen definiert und charakterisiert, unterschiedliche Arten von Botschaften beschrieben und Hindernisse bei der Übertragung von Nachrichten identifiziert werden. Diese Überlegungen dienen dazu, die komplexen Zusammenhänge und Interaktionsmöglichkeiten vereinfachend zu beschreiben und eine Arbeitsgrundlage zu bilden. In einem zweiten Schritt werden die verschiedenen Kommunikationsmittel dargestellt und klassifiziert. Parallel werden Interaktionsszenarien, d. h. Situationen, in denen sich (mindestens) zwei Verkehrsteilnehmer begegnen und miteinander interagieren, zusammengetragen und bewertet. Aus theoretischen Überlegungen und empirischen Studien werden anschließend mögliche Kriterien abgeleitet, mit deren Hilfe im analytischen Teil dieser Forschungsarbeit eine qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel in Abhängigkeit von der vorliegenden Verkehrssituation und zu übermit-

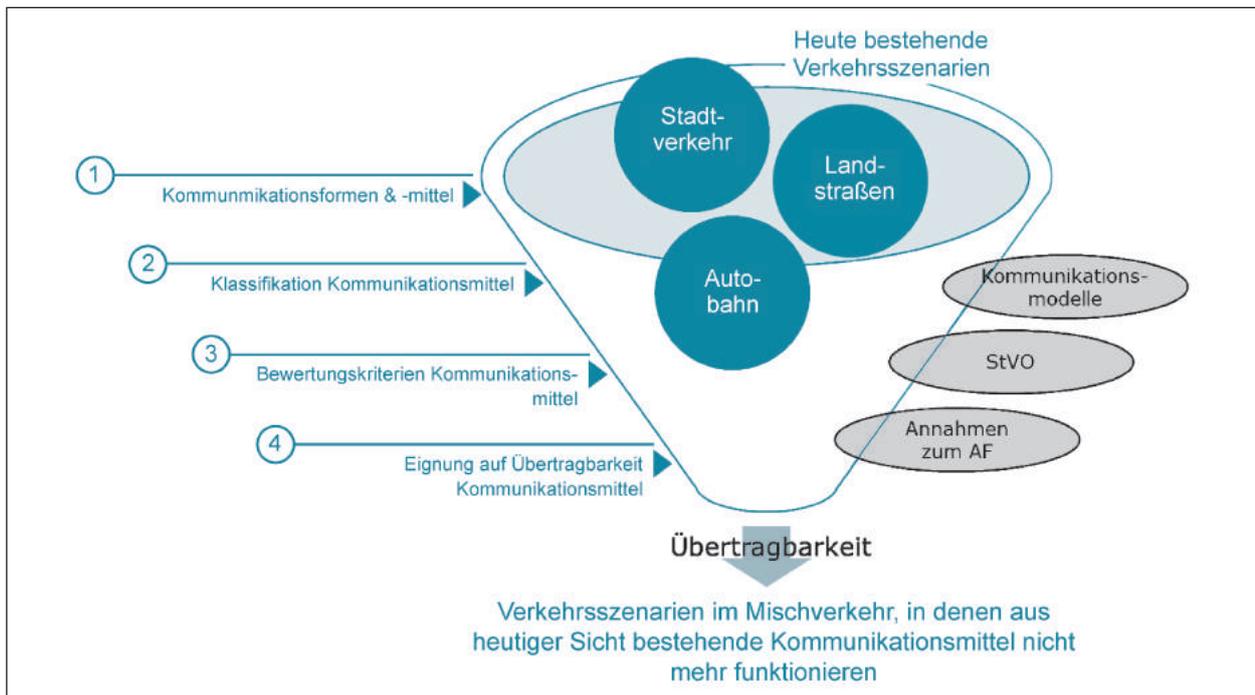


Bild 1-1: Übersicht zum methodischen Vorgehen

telnden Botschaft durchgeführt wird, sodass im Ergebnis des ersten Teils des Forschungsprojektes eine Übersicht über die heute stattfindende Kommunikation im Straßenverkehr vorliegt.

Im zweiten Teil des Projektes wird die Frage aufgegriffen, wie die Kommunikation in einem zukünftigen Mischverkehrssystem gestaltet werden sollte. Zu diesem Zweck werden die im ersten Teil erarbeiteten Szenarien kritisch dahingehend geprüft, für welche Szenarien die bislang genutzten Kommunikationsmittel nicht mehr oder nur noch unzureichend angewendet werden können. Dies vor allem dann, wenn der menschliche Fahrer als Kommunikator durch ein automatisiertes Fahrzeug ersetzt wird. Dabei treten insbesondere diejenigen Szenarien in den Mittelpunkt, die vom Regelfall nach StVO abweichen (z. B. wenn der eigene Vorrang einem anderen Verkehrsteilnehmer überlassen wird) und die im heutigen Verkehrsgeschehen nicht durch geeignete technologiebasierte Kommunikationsmittel verhandelt werden können.

Daran anschließend wird am Beispiel dieser Szenarien im Rahmen eines Workshops, u. a. mit Vertretern aus den Bereichen der Arbeits-, Organisations- und Verkehrspsychologie mit Bezug zum automatisierten Fahren, eine Diskussion aus wissenschaftlicher Sicht darüber angestoßen, welche neuen Kommunikationsmittel als Folge einer zunehmenden Fahrzeugautomatisierung möglich bzw. nötig

sind, wenn aufgrund des Mischverkehrs heutige Kommunikationsmittel nicht mehr adäquat funktionieren. Zudem dient der Workshop dem Erfahrungsaustausch über mögliche neue Konzepte, Strategien und Formen der Kommunikation/Interaktion im Mischverkehr. Auch die Akzeptanz neuer Kommunikationsmittel und ob eine generelle Kenntlichmachung automatisiert fahrender Fahrzeuge notwendig wird, sind ebenfalls zentrale Diskussthemata dieses Workshops.

Den Abschluss dieses Projektes bilden eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Workshop sowie die Gegenüberstellung mit den eigenen Ergebnissen. Auf Basis der getätigten Arbeiten werden aus wissenschaftlicher Perspektive Handlungsempfehlungen für künftige Forschung und Studienansätze für die Gestaltung und Evaluierung neuer Kommunikationsformen abgeleitet.

1.3 Abgrenzung

Verglichen mit der Vielzahl von Interaktionsmöglichkeiten, die die menschliche Kommunikation im Allgemeinen ausmachen, ist die Verständigung im Straßenverkehr als eingeschränkt zu betrachten (FÄRBER, 2015). Neben den kommunikativen Verhaltensweisen, die in der Straßenverkehrsordnung für geregelte Situationen festgelegt sind, wird unter

ungeregelten bzw. abweichenden Umständen ein spontaner, flexibler und oftmals komplexer Austausch unter den Verkehrsteilnehmern nötig (MERTEN, 1981). Zudem sind die Begegnungen im Straßenverkehr zumeist durch eine sehr kurze Zeitspanne und teilweise durch eine hohe Kritikalität geprägt (HÖLZEL, 2008).

Eine theoretische Betrachtung des komplexen Systems der Kommunikation im Straßenverkehr macht verschiedene Einschränkungen und Vereinfachungen nötig. Zum einen wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens vorrangig die Kommunikation zwischen zwei Verkehrsteilnehmern betrachtet und beschrieben. Eine Interaktion zwischen drei oder mehr Kommunikationspartnern kann dabei auf einzelne Systeme aufgeteilt werden, in denen wiederum nur die Interaktion zwischen zwei Partnern berücksichtigt wird. Speziell in der Betrachtung einzelner Interaktionen im Verkehrsgeschehen (Szenarien) wird deutlich, dass sich dritte Partner bei der selektiven Kommunikation zwischen zwei Verkehrsteilnehmern nicht gänzlich vernachlässigen lassen, bspw. wenn der Einfluss der Interaktion auf den Verkehrsfluss des nachfolgenden Verkehrs abgeschätzt werden soll.

Zum anderen wird der Fokus auf den Kommunikationsweg von einem (nicht-)automatisierten Pkw-Fahrer bzw. Pkw hin zu einem nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmer gelegt, der sowohl ein Pkw-/Lkw-Fahrer, ein Motorradfahrer, ein Fahrradfahrer oder ein Fußgänger sein kann. Eben diese Signale sind es, die im Zuge einer zunehmenden Automatisierung nicht mehr in heute üblicher Art und Weise übermittelt werden könnten und für die ein geeigneter Ersatz entwickelt werden muss – beispielsweise wenn ein menschlicher Pkw-Fahrer einen Fußgänger zur Straßenquerung bewegen möchte und dafür (explizit oder implizit) ausgelöste Kommunikationshandlungen vornimmt. Die Betrachtung des gegenläufigen Kommunikationsweges, in diesem Fall beispielsweise ein das Querungsangebot ablehnendes Handzeichen des Fußgängers, würde primär technische Überlegungen zur Sensorik und Algorithmen des Kommunikationspartners nach sich ziehen, da dieser zukünftig nicht mehr ein Mensch, sondern eine Maschine sein wird. Diese Maschine ist (wahrscheinlich) nach bestimmten Grundsätzen programmiert – beispielsweise wird sie sich nicht regelwidrig, d. h. entgegen der gültigen Straßenverkehrsordnung, verhalten. Dementsprechend werden Handlungsweisen entgegen der geltenden Ge-

setze und Verordnungen innerhalb dieses Projektes ebenfalls in Bezug auf nicht-automatisierte Fahrzeuge und auf die heutige Kommunikation von den Betrachtungen ausgeschlossen.

Sowohl die Fokussierung auf zwei Interaktionspartner als auch die Herausstellung des Kommunikationsweges vom Pkw(-Fahrer) zu einem anderen Verkehrsteilnehmer stellen Vereinfachungen für die theoretische Annäherung an das Forschungsthema dar. Wenn die Frage nach dem geeignetsten Kommunikationsmittel für eine bestimmte Situation beantwortet und die Akzeptanz und Verständlichkeit neuer Kommunikationsmittel im Straßenverkehr sichergestellt werden soll, muss vor allem für die Bewertung eines Kommunikationsmittels durch denjenigen, dem eine Botschaft übermittelt werden soll, (und seine schnelle und sichere Reaktion darauf) berücksichtigt werden.

2 Literaturanalyse

2.1 Kommunikationsmodelle, -inhalte und -bedürfnisse

Eines der ersten Kommunikationsmodelle, das sich im Gegensatz zu diversen (psychologischen) Modellen weniger auf den Inhalt der zu übermittelnden Nachricht bezieht als vielmehr auf die technische Übertragung dieser, entwickelten SHANNON & WEAVER (1949). Es handelt sich um ein Encoder-Decoder-Modell, in dem eine Nachricht von einem Sender an einen Empfänger kommuniziert wird (siehe Bild 2-1). Zu diesem Zweck muss die betreffende Nachricht zunächst senderseitig mittels eines Transmitters (Sendergerät) enkodiert werden, d. h. in ein Signal umgewandelt werden. Dieses Signal gelangt anschließend über einen Kanal zum Empfänger, der es zunächst dekodieren, die Nachricht also lesbar machen muss.

Es existieren mehrere Möglichkeiten, durch die dieser Informationsfluss gestört werden kann, z. B. durch das im Modell aufgeführte Rauschen im Kanal. Entscheidend ist, dass das Signal möglichst ohne derart große Störungen durch den Kanal gelangt und vom Empfänger noch gut übersetzt werden kann. Nehmen wir als Sender den Fahrer eines Pkw, als Empfänger wieder einen Fußgänger, der im Begriff ist, die Straße zu überqueren und damit den Fahrweg des Pkw zu kreuzen, und als Nachricht „Ich gewähre dir Vorrang und lasse dich die

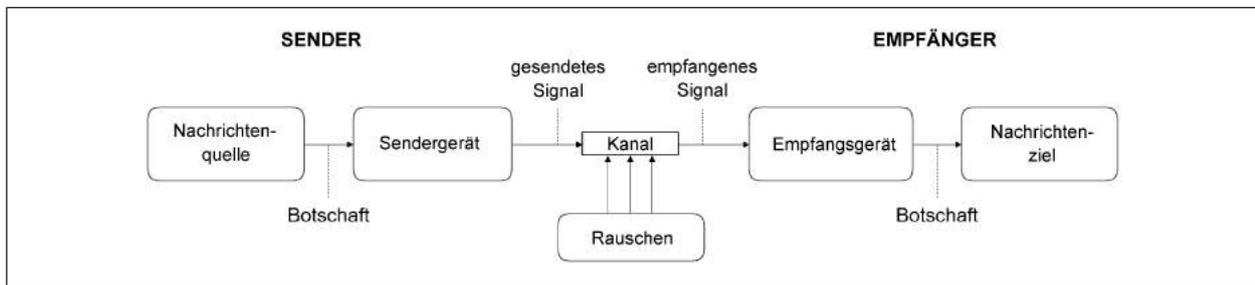


Bild 2-1: Sender-Empfänger-Modell nach SHANNON & WEAVER (1949)

Straße queren“: Unter günstigen Umweltbedingungen wie klarer Sicht, Tageslicht und geringem Abstand zueinander werden vermutlich viele der möglichen Signale, die alle die Nachricht übermitteln können (z. B. Lichthupe, Handzeichen), vom Fußgänger richtig aufgenommen und dekodiert. Bei schlechten Sichtverhältnissen, in der Nacht oder bei einer großen Distanz der beiden Verkehrsteilnehmer zueinander ist ein Signal wie das Handzeichen vom Fußgänger allerdings schlechter zu erkennen und in der Folge auch zu interpretieren.

Die Nachrichtenübertragung kann auch dadurch misslingen, dass bei Sender und Empfänger nicht das gleiche Zeichen- und Bedeutungswissen vorliegt, der Sender also Signale nutzt, die der Empfänger nicht deuten kann oder gar falsch deutet, oder dass die Aufmerksamkeit des Empfängers nicht auf den anderen Kommunikationspartner gerichtet ist (RÖHNER & SCHÜTZ, 2016). Misslingt die Übermittlung der Nachricht (d. h. missglückt die Kommunikation), kommt es im schlimmsten Fall zu einem Unfall oder zumindest zu einem Konflikt zwischen beiden Verkehrsteilnehmern. Im weniger dramatischen, aber dennoch zu vermeidenden Fall führen Verständigungsprobleme und Unsicherheiten in der Kommunikation zu einer Verlangsamung des Verkehrsflusses, weil zusätzliche Zeit zur Klärung der Absichten beider Kommunikationspartner benötigt wird.

Das Sender-Empfänger-Modell von SHANNON & WEAVER (1949) eignet sich für das vorliegende Forschungsvorhaben insbesondere deshalb, weil es den im Straßenverkehr üblicherweise kurzzeitigen und gerichteten Kommunikationsprozess durch seine klaren Elemente einfach beschreibbar macht. Die Nutzung eines eher technischen Modells erscheint für das Projekt angebracht – vor allem, weil perspektivisch die Übertragung menschlicher Kommunikation auf technische Kommunikation betrachtet werden soll. Gleichzeitig vernachlässigt das Modell allerdings verschiedene Aspekte der zwischen-

menschlichen Kommunikation und greift an einigen Punkten zu kurz.

Zum einen wird zwischen intendierter und nicht intendierter Kommunikation im betrachteten Modell nicht differenziert, obwohl beiläufige Signale des Senders von anderen Verkehrsteilnehmern durchaus wahrgenommen, dekodiert und somit für die Planung deren Verhaltens genutzt werden (siehe auch Kapitel 2.3.3). Ein Beispiel dafür ist das auf ein Linksblinken bzw. Linksabbiegen hindeutende Fahren weit links im eigenen Fahrstreifen, das FÄRBER (2015) als vorwegnehmendes Handeln bezeichnet. Darüber hinaus nutzen Menschen Schemata, um von äußerlich sichtbaren Eigenschaften auf das Verhalten zu schließen, z. B. wenn sie dem Fahrer eines Sportwagens eine rücksichtslose Fahrweise unterstellen (FÄRBER, 2015). Doch wenngleich WATZLAWICK formuliert: „Man kann nicht nicht kommunizieren!“ (WATZLAWICK, BEAVIN & JACKSON, 1969) – weder die Aussendung eines Signals noch die Wahrnehmung und Nutzung dieser Signale müssen dem Sender bzw. dem Empfänger zwingend bewusst sein bzw. bewusst zum Zweck der Kommunikation eingesetzt worden sein.

Zum anderen bezieht das Sender-Empfänger-Modell den Kontext der kommunikativen Situation nicht mit ein, obwohl dieser die Bedeutung ein und desselben Signals verändern kann (ZWICKER, PETZOLDT, SCHADE & SCHAARSCHMIDT, 2019). So kann ein eingeschalteter Warnblinker bei einem am Fahrbahnrand stehenden Pkw auf eine Unfall- oder Gefahrenstelle hinweisen oder, wenn zuvor das Einscheren auf einen Fahrstreifen ermöglicht wurde, Dank ausdrücken. Sowohl die Kodierung als auch die Dekodierung einer Nachricht durch den Menschen kann also auf verschiedene Art und Weise und abhängig von Erfahrungen und Erwartungen geschehen. Zusätzlich spielen emotionale Zustände und damit auch soziale Verhaltensweisen (z. B. affektive und instrumentelle Aggressivität, Altruismus) eine Rolle (WILDE, 1976), die im System Stra-

ßenverkehr mit seinen spezifischen Voraussetzungen, wie der Anonymität der Kommunikationspartner oder dem Vorhandensein von Lärm, hoher Verkehrsdichte oder Zeitdruck, in besonderem Maße hervorgerufen werden können (HERZBERG & SCHLAG, 2006).

Der menschliche Empfänger versteht unter demselben Signal also nicht immer dieselbe Botschaft (Bsp. Warnblinker zur Warnung oder zum Dank, s. o.), gleichzeitig kann auch der menschliche Sender unterschiedliche Botschaften mithilfe desselben Signals verschlüsseln (Bsp. Vorranggewährung per Lichthupe oder Handzeichen, s. o.). Der Psychologe und Kommunikationswissenschaftler SCHULZ von THUN (1981) formulierte zu dieser Problematik vier Perspektiven einer Nachricht, die als Weiterentwicklung des Sender-Empfänger-Modells betrachtet werden können. Diese vier Perspektiven bzw. Ebenen sind in Tabelle 2-1 am Beispiel der freien Straßenquerung eines Fußgängers erläutert (Pkw-Fahrer hat Vorrang, lässt den Fußgänger aber dennoch die Straße queren und signalisiert ihm dies über die Geschwindigkeitsreduzierung bis zum Stillstand).

Eine Interaktion zwischen zwei Verkehrsteilnehmern kann einen unterschiedlichen Verlauf nehmen, je nachdem, wie der Empfänger die erhaltene Nachricht interpretiert, d. h. auf welcher Ebene er sie verstärkt zuordnet bzw. auf welchem „Ohr“ er hört (SCHULZ von THUN, 1981). Die Dekodierung der Botschaft hängt dabei auch von der Vorerfahrung oder dem Selbstbild des Empfängers ab, z. B. könnte eine Interpretation durch den Empfänger auf der Ebene der Selbstoffenbarung ebenso gut „Du hältst mich für alt und gebrechlich, aber ich bin auf

deine Hilfe nicht angewiesen!“ lauten. Situationen, in denen Nachrichten besonders leicht fehlinterpretiert werden und damit negative Affekte nach sich ziehen können, bedürfen daher im Zuge der Untersuchungen zur Kommunikation im Straßenverkehr besonderer Beachtung: Wie sollen sie verstanden werden und wie kann man das sicherstellen?

Dem Fahrer eines Pkw steht zur Informationsübermittlung an seine Umwelt eine Vielzahl von Kommunikationsmitteln zur Verfügung, da er sowohl auf die technischen Möglichkeiten seines Fahrzeugs als auch auf seine menschliche Zeichengebung zurückgreifen kann. Welches Kommunikationsmittel er wählt, hängt von verschiedenen Faktoren bzw. Elementen des Sender-Empfänger-Modells ab.

2.1.1 Wen soll die Nachricht erreichen? (Empfänger)

Als Empfänger kommen grundsätzlich verschiedene Verkehrsteilnehmergruppen in Frage, die sich beispielsweise darin unterscheiden, über welche Möglichkeiten sie zum Empfang von Signalen verfügen, auf welchen Verkehrswegen sie sich bewegen und welche Erwartungen sie an einen Pkw-Fahrer stellen. Diese sind Fußgänger, Radfahrer (und Fahrer von Elektrofahrrädern, sog. Pedelecs), Motorradfahrer sowie Pkw-/Lkw-Fahrer. Elektrische Kleinstfahrzeugen werden an dieser Stelle nicht betrachtet, da sie im deutschen Straßenverkehr erst kürzlich zugelassen wurden und es bislang an Erfahrungswerten zu dieser speziellen Verkehrsteilnehmergruppe mangelt.

Die Gruppe der Fußgänger ist durch eine geringe Bewegungsgeschwindigkeit (Regelwert von 1,2 m/s

Ebene	Erläuterung	gesendete (gemeinte) Botschaft	empfangene (interpretierte) Botschaft
Sachinhalt	... betrifft den Anteil der Botschaft, über den informiert wird.	„Ich bremsen meinen Pkw ab.“	„Du bremsst deinen Pkw ab.“
Beziehung	... betrifft den Anteil der Botschaft, der sich auf die Meinung über einander oder das Verhältnis zueinander bezieht.	„Ich hätte das Vorrecht gehabt, sehe aber, dass du unsicher bist, und biete dir daher die Möglichkeit, sicher die Straße zu queren.“	„Du siehst, dass ich deine Hilfe bei der Überquerung gebrauchen kann und gewährst mir daher den Vorrang.“
Selbstoffenbarung	... betrifft den Anteil der Botschaft, den der Kommunikationspartner von sich selbst kundgibt.	„Ich bin ein aufmerksamer Mensch und bleibe für dich stehen.“	„Du hast es nicht eilig und bist ein aufmerksamer Fahrer.“
Appell	... betrifft den Anteil der Botschaft, der eine Veranlassung zu etwas oder eine Erwartung an zukünftiges Handeln des anderen ausdrückt.	„Überquere die Straße!“	„Du willst, dass ich die Straße überquere.“

Tab. 2-1: Ebenen einer Nachricht nach SCHULZ von THUN (1981) mit Beispielen

mit möglichen Variationen von 1,0 m/s bis 1,5 m/s; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, 2015) und eine hohe Vulnerabilität charakterisiert, verfügt innerorts in der Regel über abgetrennte, mehr oder weniger geschützte Wege und beinhaltet den wohl größten Anteil an eingeschränkten Personen (Ältere, Kinder und Menschen mit Behinderungen). Zudem sind die nächsten Handlungen von Fußgängern oftmals schlechter vorzusehen als die anderer Verkehrsteilnehmer (FUEST, SOROKIN, BELLEM & BENGLER, 2018). Aus diesen Gründen sind zu Fuß Gehende in vielen Situationen besonders auf die Aufmerksamkeit und Beachtung durch andere Verkehrsteilnehmer angewiesen.

Auch Radfahrer gehören zu den ungeschützten Verkehrsteilnehmern, die ein höheres Sicherheitsbedürfnis haben als beispielsweise Autofahrer, da sie im Falle eines Unfalls nicht durch eine Karosserie geschützt sind (FUEST et al., 2018). Ihre Fortbewegungsgeschwindigkeit (zwischen 12 und 19 km/h für konventionelle Fahrräder) differiert, Nutzer von (Speed-)Pedelecs erreichen sogar noch höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten (bis zu 25 km/h; SCHLEINITZ, PETZOLDT, FRANKE-BARTHOLDT, KREMS & GEHLERT, 2017). Nicht zuletzt stellen Radfahrer auch durch ihre vielseitigen Verkehrswege einen besonderen Kommunikationspartner dar, mit dem ein Pkw-Fahrer sowohl auf der eigenen Fahrbahn (mit und ohne separaten Radfahrstreifen), als auch auf geteilten Rad- und Fußwegen interagieren muss.

Die Gruppe der motorisierten Verkehrsteilnehmer ist in Motorradfahrer und Pkw-/Lkw-Fahrer zu unterteilen, wobei beide auf gleichen Verkehrswegen unterwegs sind und Verkehrsbereiche (z. B. Bundesautobahn BAB) existieren, in denen keine anderen Verkehrsmittel als diese anzutreffen sind. Da Motorradfahrer mit ähnlichen, teilweise sehr hohen Geschwindigkeiten am Verkehr teilnehmen, aber ebenfalls nicht über eine abschirmende Karosserie oder Airbags verfügen, gehören sie allerdings zu den ungeschützten Verkehrsteilnehmern.

2.1.2 Was soll dem Empfänger mitgeteilt werden? (Nachricht/Botschaft)

Die verschiedenen Sichtweisen, die eine Nachricht enthalten kann, wurden in Kapitel 2.1 schon beleuchtet. Die Wahl des Kommunikationsmittels gibt dem Fahrer eines Pkw allerdings in gewisser Hin-

sicht den Spielraum, die Perspektive des Empfängers zu beeinflussen. Am Beispiel des Pkw-Fahrers, der dem Fußgänger Vorrang zur Straßenüberquerung gibt, zeigt sich, dass ein langsames Abbremsen des Fahrzeugs weniger stark einen Appell vermittelt als ein direkter Blickkontakt mit expliziter Handgeste. Will der Sender also Unklarheiten und Missverständnisse vermeiden und seine Botschaft gleichzeitig möglichst schnell und einfach übermitteln, so sollte er klar kommunizieren, welche Absichten er verfolgt (z. B. „Ich werde dir Vorrang gewähren.“).

In der Literatur wird als Alternative zur Absichtsmittteilung (imperativ) oftmals die Aussendung des eigenen Status genannt (informativ; MERTEN, 1981; in o. g. Situation z. B. „Ich habe dich wahrgenommen.“) – diese Botschaft lässt allerdings verschiedene Interpretationen und damit Verzögerungen in der Verständigung zu. Die Information, dass der Fußgänger gesehen wurde, reicht für diesen nicht zweifelsfrei aus, um gesichert die Straße zu überqueren – der Pkw-Fahrer könnte immer noch sein Vorfahrtsrecht durchsetzen, beispielsweise um den nachfolgenden Verkehr nicht aufzuhalten.

Ohnehin werden die Signale, die ein (nicht-automatisierter) Pkw aussendet, eher als Intention denn als Status interpretiert, sogar bis hin zu einer „Vermenschlichung“ des Pkw (z. B. wird dem Fahrzeug statt dem Fahrer ein aggressives Verhalten zugesprochen; PORTOULI, NATHANAEL & MARMARAS, 2014; DEY & TERKEN, 2017). Auch im Zuge einer experimentellen Studie zur externen Kommunikation automatisierter Fahrzeuge durch Human Machine Interfaces (HMI) konnte gezeigt werden, dass die Probanden direkte Instruktionen wie „Go ahead“ gegenüber Status-Meldungen generell, aber auch bezüglich der Bewertungskriterien Erkennbarkeit, Eindeutigkeit und Interaktionskomfort präferierten (ACKERMANN et al., 2019; vgl. auch MERAT, LOUW, MADIGAN, WILBRINK & SCHIEBEN, 2018).

2.1.3 Was könnte bei der Nachrichtenübertragung hinderlich sein? (Rauschen)

Wie eingangs erwähnt kann ein zu hohes Rauschen die Nachrichtenübertragung stören. Im „InterACT“-Projekt der Europäischen Union (WILBRINK, SCHIEBEN, KAUP, WILLRODT, WEBER & LEE, 2018) werden u. a. die Tageszeit (Tag, Nacht) und die Lichtbedingungen (Tageslicht, Dämmerung,

Dunkelheit bei Nacht) zur Abschätzung der Frage einbezogen, mit welchen Signalen ein automatisiertes Fahrzeug am besten kommunizieren sollte. Auch die Ortslage, genauer die Verkehrskonstellation, und damit verbundene Merkmale der Situation, in der zwei Interaktionspartner aufeinandertreffen, müssen hierbei betrachtet werden. Beispielsweise kann ein hohes Verkehrsaufkommen die selektive Kommunikation zwischen zwei Partnern stören, da die Anwesenheit mehrerer, potenzieller Empfänger das Ansprechen eines konkreten Verkehrsteilnehmers behindert. FUEST et al. (2018) nennen als betrachtungswürdige situative Merkmale weiterhin die geltende Vorfahrtsregelung (Vorfahrt liegt beim Sender oder beim Empfänger), die Annäherungsgeschwindigkeiten beider Kommunikationspartner und die longitudinale bzw. laterale Distanz zueinander. An dieser Stelle sei auf Kapitel 2.4.1 und 2.4.2 verwiesen, in welchen die Bewertung der einzelnen Kommunikationsmittel an Hand

von Kriterien behandelt wird, die als Rauschen bezeichnet werden können.

2.2 Kommunikationsmittel

Zur lückenlosen Berücksichtigung aller im Verkehr eingesetzten Kommunikationsmittel wurden in den 1980er Jahren beispielsweise Round-Table-Gespräche mit Verkehrsteilnehmern durchgeführt. Im Ergebnis einer solchen Studie von BAUER et al. (1980) konnten vorrangig optische Signale beschrieben werden. Auch MERTEN (1981) erstellte eine Liste von Signalen, die über die gesetzlich beschriebene Zeichengebung hinausgehen. Beide Auflistungen werden in Tabelle 2-2 gegenübergestellt und um die Einordnung innerhalb des aktuellen Projektes ergänzt.

BAUER et al. 1980	MERTEN 1981	aktuelles Projekt
Blickkontakt	Blickkontakt	Blickkontakt
deutlich zur Schau getragenes Schimpfen	emotionaler Gesichtsausdruck	Blickkontakt
wischende Handbewegung	Gestik	körperliche Gesten (Spezifikation der Geste)
wischende Handbewegung nach unten		
Hand vertikal hochheben		
Daumen und Zeigefinger zueinander öffnen und schließen		
Vogelzeichen		
Faust zeigen		
Hand in Ohrenhöhe waagrecht von hinten nach vorne schieben		
Nicken	Körperhaltung und Körperbewegung	Fahrodynamik (Spezifikation des Fahrverhaltens)
Kopfschütteln		
Andeutung einer Geh- oder Fahrbewegung		
hindeuten und abwechselnd den Empfänger und die gemeinte Stelle anschauen		
Arme seitwärts auf und ab bewegen		
Kopf einziehen und Hände auseinandernehmen		
leicht abbremsen ohne Bremswirkung	Bewegung und Distanzverhalten	Fahrtrichtungsanzeiger
links blinken		Bremslicht
rechts blinken		Lichthupe
Lichthupe		Warnblinker
Warnblinkanlage		Hupe/Horn
hupen		

Tab. 2-2: Kommunikationsmittel nach BAUER et al. (1980: 42–49) und MERTEN (1981: 20–21)

Um eine übersichtliche Anzahl von Kommunikationsmitteln vergleichen zu können, wurden verschiedene, in beiden oben genannten Veröffentlichungen getrennte Zeichen(-gruppen) aus theoretischen und praktischen Gründen zusammengefasst. Dies betrifft den Fahrtrichtungsanzeiger (rechts blinken und links blinken) und die Kategorien Blickkontakt und emotionaler Gesichtsausdruck. Letztere wurden zu Blickkontakt zusammengefasst, da dieser, sobald er zustande kommt, vom Gesichtsausdruck des Senders nicht mehr getrennt wahrnehmbar ist. Das Zusammennehmen der verschiedenen körperlichen Gesten und Bewegungen war notwendig, da diese derart vielfältig sind, dass sie nicht erschöpfend und zum Forschungszweck auch nicht übersichtlich genug dargestellt werden können. Um ihren spezifischen Bedeutungen dennoch gerecht zu werden, wird die einzelne Hand- oder Körpergeste nachgestellt erwähnt (z. B. „körperliche Gesten (hier: wischende Handbewegung)“). Nach demselben Prinzip soll die Fahrdynamik spezifiziert werden, z. B. durch „Verlangsamung bis zum Stillstand“ oder „Fahren weit links“.

2.3 Klassifikation von Kommunikationsmitteln

In der Literatur finden sich verschiedene Vorschläge, Kommunikationsmittel anhand bestimmter Kriterien zu klassifizieren. Ziel dieser Klassen ist v. a. die Vereinfachung der Untersuchung der zahlreich verfügbaren Zeichen- und Kommunikationsmittel.

2.3.1 Modalität: technologiegestützt vs. gestengestützt

RENGE (2000) differenziert zwischen technologie- und gestengestützten Kommunikationsmitteln, was sich auf das „Hilfsmittel“, mit dem ein Signal kodiert wird, bezieht. Der Einsatz des Fahrtrichtungsanzeigers und des Bremslichtes erfolgt beispielsweise durch technische Unterstützung, während der Blickkontakt und körperliche Gesten als gestengestützt eingeordnet werden. Dem Fahrer eines Pkw stehen demnach beide Formen der Kommunikation zur Verfügung, wobei ein Fußgänger in der Regel keine technischen Geräte mit sich führt, die zur Kommunikation mit einem anderen Verkehrsteilnehmer eingesetzt werden.

Während die technologiegestützte Kommunikation für automatisierte Fahrzeuge einfach zu überneh-

men sein sollte, wird der Verlust zwischenmenschlicher, gestengestützter Kommunikationsmittel häufig als Problem des Mischverkehrs beschrieben und als Begründung für die Entwicklung von alternativen Anzeigekonzepten genutzt (z. B. RESCHKE et al., 2018; BÖCKLE, BRENDEN, KLINGEGÅRD, HABIBOVIC & BOUT, 2017). Ab einer Automatisierungsstufe nach SAE Level 3 übernimmt das Fahrzeug für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen die Quer- und die Längsführung. Die Möglichkeit mit einem anderen Verkehrsteilnehmer über „etablierte“ Handzeichen zu kommunizieren bliebe zwar grundsätzlich bestehen, erscheint jedoch kritisch hinsichtlich gegensätzlicher „Botschaften“ des automatisiert verkehrenden Fahrzeugs. Insofern wird davon ausgegangen, dass ab SAE Level 3, d. h. wo in spezifischen Situationen kein manueller Fahrer das Fahrzeug lenkt, die Möglichkeit entfällt, mit einem anderen Verkehrsteilnehmer über „etablierte“ Handzeichen zu kommunizieren. Die Vielzahl an Studien zur Untersuchung von Ersatzmöglichkeiten der gestengestützten Kommunikationsmittel (z. B. Displays und Projektionen, aber auch „1 zu 1“-Übersetzungsversuche wie „Eyes on a Car“; CHANG, TODA, SAKAMOTO & IGARASHI, 2017) lässt vermuten, dass deren Bedeutsamkeit empirisch gut belegt wäre – tatsächlich fehlt es allerdings an belastbaren Studien zu diesem Thema. Die Übertragbarkeit nicht mehr einsetzbarer Kommunikationsformen im Mischverkehr sowie die Vorstellung und Empfehlung neuer Konzepte ist Teil des zweiten Analyseschrittes im aktuellen Projekt.

2.3.2 Formalität: formell versus informell

Die Kommunikationsmittel lassen sich auch danach einteilen, ob sie in offiziellen Regelwerken wie der StVO als in einer bestimmten Situation zulässiges Zeichen definiert sind. Dazu gehören beispielsweise Blinker als Fahrtrichtungsanzeiger und die Warnblinkanlage, um andere Verkehrsteilnehmer vor einer Gefahrenstelle zu warnen. Im Gegensatz zu dieser formellen ist aber auch die informelle Zeichengebung Teil des Straßenverkehrs, welche sich eher aus den Erfahrungen eines Fahrers und den sozialen Normen im Verkehr ergibt (PORTOULI et al., 2014).

Dabei ist zu betonen, dass diese informellen Signale keinesfalls rechtlich irrelevant oder per se verboten sind, sondern von Gesetzen und Verordnungen schlicht nicht definiert und nur unpräzise beschrie-

ben werden (z. B. „deutlich ankündigen“, „erkennen lassen“; MERTEN, 1981). Der Einsatz von Schall- und Leuchtzeichen – wie Hupe oder Lichthupe – ist formell nur außerhalb geschlossener Ortschaften zur Ankündigung eines Überholvorgangs oder bei akuten Gefährdungen gestattet (§ 16 StVO). Darüber hinaus ist wohl jedem Verkehrsteilnehmer die informelle Nutzung dieser Signale, d. h. innerorts und/oder zur Vorfahrtsgewährung, bekannt. Naturgemäß sind (aus Sicht eines Pkw-Fahrers) gestengestützte Zeichen, die der Mensch mit seiner Mimik und Gestik aussendet, zumeist informell, da sie gesetzlich schwierig zu beschreiben sowie rechtlich schwierig zu bewerten sind. Daher spricht RENGE (2000) bei formellen, technologiegestützten Signalen vereinfacht von „formal signals“, bei informellen, technologiegestützten von „informal signals“ und bei informellen gestengestützten von „everyday signals“.

Dabei ist die Interpretation, vor allem vor dem Hintergrund der Kulturabhängigkeit, keinesfalls trivial: Im Vergleich zu Japan und Finnland werden formelle Zeichen in Deutschland beispielsweise als signifikant weniger freundlich und informelle (meist gestenbasierte) Zeichen verstärkt als aggressiv bewertet (RENGE, SCHLAG, WELLER, PERÄÄHO & KESKINEN, 2001). In den meisten Fällen werden formelle und informelle Kommunikationsmittel allerdings zeitgleich und kombiniert genutzt und vom Empfänger wahrgenommen, sodass dieser Erwartungen über die Absichten bzw. die bevorstehenden Handlungen des Senders bilden kann (BJÖRKLUND & ÅBERG, 2005; SUCHA, 2014).

2.3.3 Intentionalität: explizit versus implizit

Eine Nachricht kann vom Sender intendiert sein oder nur „beiläufig“ dessen Absichten vermitteln, aber gleichzeitig und unabhängig von dieser Intentionalität vom Empfänger interpretiert werden. In verschiedenen Studien werden die Kommunikationsmittel diesbezüglich in explizite und implizite Signale klassifiziert (u. a. LAGSTRÖM & LUNDGREN, 2015; IMBSWEILER et al., 2018). Als explizite werden dabei diejenigen Zeichen eingeordnet, die ein Sender intentional übermittelt und ausdrücklich zu Kommunikationszwecken einsetzen möchte. Darunter fallen sowohl optische (z. B. Fahrtrichtungsanzeiger, wischende Handbewegung) als auch akustische Reize (z. B. Hupe; Warnton von Elektro-Autos an Fußgänger). Auch die ausdrückliche Kennzeichnung eines automatisierten Fahrzeugs

als solches wäre ein explizites Signal, wobei das Fehlen eines menschlichen Fahrers (oder das Vorhandensein eines offensichtlich stark abgelenkten Fahrers) impliziert, dass das Fahrzeug automatisiert fährt (FUEST et al., 2018). RISTO, EMMENEGGER, VINKHUYZEN, CEFKIN & HOLLAN (2017) diskutieren zudem den absichtlichen Einsatz der Fahrdynamik als Kommunikationsmittel.

Implizite Zeichen werden vom Empfänger erschlossen und interpretiert, obwohl der Sender sie nicht zum Zwecke der Übermittlung einer konkreten Information aussendet. Dies ist z. B. der Fall, wenn ein Fußgänger an der Geschwindigkeitsverzögerung eines Pkw erkennt, dass der Fahrer ihn die Straße überqueren lassen wird. Implizite Signale helfen im Straßenverkehr häufig dabei, explizite Signale, die verschiedene Bedeutungen haben können, zu interpretieren. So deutet ein eingeschalteter Fahrtrichtungsanzeiger auf der rechten Seite, der in der Regel einen Abbiegewunsch nach rechts ausdrückt, bei langsamer Fahrt entlang einer Reihe von parkenden Pkw eher darauf hin, dass der Fahrer auf der Suche nach einem Parkplatz ist. Diesen Gedanken unterstützend kommt eine niederländische Beobachtungsstudie zur Fahrer-Fußgänger-Interaktion zu dem Schluss, dass Fußgänger (sowie Pkw-Fahrer) die Trajektorie anderer Verkehrsteilnehmer dynamisch und flexibel interpretieren und ihre Querungsentscheidungen damit vor allem auf der Grundlage von impliziten Signalen treffen (DEY & TERKEN, 2017).

2.3.4 Selektivität: gerichtet versus ungerichtet

Zusätzlich ist die Unterscheidung der Kommunikationsmittel nach der Selektivität möglich, d. h. inwiefern sie sich an einen konkreten Verkehrsteilnehmer richten oder eine Information ungerichtet an ihre Umwelt übermitteln. Als klassisches Beispiel für letztere Kategorie ist das Bremslicht zu nennen, welches vom Fahrzeug (schon immer) automatisiert ausgesendet wird und eine Verzögerung des Fahrzeugs vermittelt – ob nachfolgender Verkehr in der Verkehrssituation existiert oder nicht. Als gerichtetes Kommunikationsmittel kann demgegenüber der Blickkontakt zwischen zwei Interaktionspartnern bezeichnet werden, der in der Regel vermeidet, dass sich auch dritte, an der Interaktion nicht direkt beteiligte Personen von der Kommunikation angesprochen fühlen.

2.4 Bewertungskriterien für Kommunikationsmittel

Die Frage, welche Kommunikationsmittel in welchen Situationen dazu geeignet sind, eine Botschaft schnell und unmissverständlich zu übermitteln, macht eine Bewertung der einzelnen Kommunikationsmittel notwendig. Dabei wird an dieser Stelle ausschließlich die Mensch-zu-Mensch-Kommunikation betrachtet. Der Übertrag auf die Kommunikation Mensch-automatisiertes Fahrzeug erfolgt in Kapitel 4. In Anlehnung an das Sender-Empfänger-Modell der Kommunikation wurden die in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen Kriterien Erkennbarkeit (sowohl bezogen auf die Umweltbedingungen als auch auf die Positionierung der Verkehrsteilnehmer zueinander), Eindeutigkeit und Verständlichkeit ausgewählt und definiert (siehe Kapitel 2.4.1 bis 2.4.4; siehe auch ACKERMANN, BEGGIATO, SCHUBERT & KREMS, 2019). Die Überlegungen zur Beurteilung der kommunikativen Zeichen beziehen sich dabei ausschließlich auf einen gesunden, erwachsenen Menschen als Empfänger, wobei am Straßenverkehr selbstverständlich nicht nur Personen mit uneingeschränkter Wahrnehmungsfähigkeit und einem großen Erfahrungsschatz teilnehmen. Verschiedene Studien befassen sich beispielsweise mit Kindern (z. B. CHARISI, HABIBOVIC, ANDERSSON, LI & EVERS, 2017), Älteren (z. B. LIU & TUNG, 2014) und seh- oder hörbehinderten Menschen (z. B. ALTINSOY et al., 2015) als Kommunikationspartner. Das vorliegende Projekt hat eine übersichtliche und grundlegende Zusammenfassung über die im Straßenverkehr existierende(n) Kommunikation(-smittel) zum Ziel und muss diese Personengruppen daher zunächst von den Überlegungen ausklammern.

2.4.1 Erkennbarkeit (Umweltbedingungen)

Vor der Bewertung hinsichtlich der Interpretierbarkeit (Eindeutigkeit und Verständlichkeit) eines Kommunikationsmittels stellt sich die Frage, ob das Signal für den Empfänger überhaupt sicht- oder hörbar ist, d. h. ob es durch das Rauschen des Kanals bis zu ihm durchdringen kann. Unter Idealbedingungen, also bei Tageslicht und mäßigem, nicht blendendem Sonnenschein verfügen alle bisher beschriebenen optischen Kommunikationsmittel über eine gute Sichtbarkeit bezogen auf die Lichtverhältnisse. Die Wetterbedingungen oder die Tageszeit können allerdings einen Einfluss darauf haben, beispielsweise wird das Handzeichen oder der Blick-

kontakt bei Nacht oder Regen schwieriger für einen Außenstehenden wahrnehmbar sein. An dieser Stelle sind technologiegestützte sowie auditive Kommunikationsmittel von Vorteil, da Leucht- und Schallanlagen unter schwierigen Witterungs- und Lichtbedingungen leichter zu erkennen sind. Bezogen auf das implizite Signal der Geschwindigkeitsverzögerung konnten BEGGIATO, WITZLACK, SPRINGER & KREMS (2018) zeigen, dass Fußgänger in der Dämmerung konservativere Entscheidungen zur Straßenüberquerung treffen als bei Tageslicht.

2.4.2 Erkennbarkeit (Positionierung)

Auch aus der Positionierung beider Kommunikationspartner zueinander kann man ableiten, ob das gesendete Signal für den Empfänger überhaupt erkennbar ist. Dabei spielen vor allem die Distanz und sich aus ihr und der Annäherungsgeschwindigkeit ergebende Parameter wie die time-to-collision eine Rolle (z. B. RASOULI, KOTSERUBA & TSOTSOS, 2017; LIU & TUNG, 2014; SCHMIDT & FÄRBER, 2009). Hohe Geschwindigkeiten gehen mit einer geringen, objektiven Sicherheit einher, weil daraus eine höhere Unfallschwere resultieren kann, und erfordern zudem eine schnelle und präzise Kommunikation (FUEST et al., 2018). BEGGIATO et al. (2018) konnten zeigen, dass Fußgänger sogar riskantere Querungsentscheidungen bei höheren Geschwindigkeiten eines herannahenden Pkw treffen; sie akzeptieren also kleinere Zeitspannen für die Überquerung, was die objektive Sicherheit zusätzlich vermindert.

Die Distanz der Interaktionspartner kann in longitudinal (nach vorn) und lateral (zur Seite) unterschieden werden und beeinflusst die Erkennbarkeit eines Signals zum einen durch die Entfernung und zum anderen durch den (Blick-)Winkel von Sender und Empfänger. Während der longitudinale Abstand eher mit objektiver und der laterale mit subjektiver Sicherheit in Verbindung gebracht wird (FUEST et al., 2018; nur in Fahrtrichtung, also longitudinal, kann es zu einer Kollision kommen, während ein knappes „Aneinander-Vorbeifahren“, also ein geringer lateraler Abstand, zu gefühlter Unsicherheit führt), gelten in Bezug auf die Kommunikationsmittel dieselben Restriktionen: Leucht- und Schallsignale sind schon über größere Entfernungen zu hören und/oder zu sehen, gestengestützte Kommunikation erfordert einen geringen Abstand beider Kommunikationspartner zueinander.

Aber auch der Winkel zweier Interaktionspartner zueinander beeinflusst die Erkennbarkeit. Stehen beispielsweise zwei Pkw auf zwei Fahrstreifen in gleicher Richtung nebeneinander und der eine möchte dem anderen Pkw-Fahrer den Fahrstreifenwechsel ermöglichen, ist der Einsatz der Lichthupe zu diesem Zweck nicht zielführend, da er vom zweiten Pkw-Fahrer gar nicht wahrgenommen werden kann. Ein weiteres Beispiel stellt das Bremslicht dar, das am Fahrzeugheck angebracht ausschließlich den nachfolgenden Verkehr über das Abbremsen eines Pkw informiert – nicht aber den vorausfahrenden oder entgegenkommenden. In Studien zur Fußgänger-Fahrzeug-Interaktion wird häufig das Bremsverhalten als implizites Zeichen zur Vorranggewährung diskutiert und untersucht (z. B. zur Frage, ob und wann Fußgänger eine Verzögerungsbewegung detektieren können; ACKERMANN, BEGGIATO, BLUHM & KREMS, 2018), wobei PETZOLDT, SCHLEINITZ & BANSE (2017) mit Untersuchungen zu einer vorderen Bremsleuchte eine effektive und einfache Alternative belegen konnten (vgl. auch MONZEL, KEIDEL, SCHUBERT & BANSE, 2018).

2.4.3 Eindeutigkeit

Hat der Empfänger das Signal wahrnehmen können, stellt sich die Frage, ob dieses die Botschaft eindeutig vermittelt oder mit diesem auch eine weitere (andere) Botschaft übertragen werden könnte. Dabei sind informelle Zeichen nur augenscheinlich weniger eindeutig als formelle Zeichen. Vielmehr muss die Bedeutung der Kombination beider Arten und die Kontextabhängigkeit abermals verdeutlicht werden, z. B. bezogen auf die Lichthupe: „Die Betätigung der Lichthupe durch einen Fahrer, der Vorfahrt hat und verzögert, wird als Angebot zum Einscheren verstanden, beschleunigt er oder fährt mit gleicher Geschwindigkeit weiter, so drückt das gleiche Signal aus, dass er auf seiner Vorfahrt beharrt.“ (FÄRBER, 2015: 133). Daraus folgt, dass für die Bewertung der Eindeutigkeit eines Signals der Kontext immer zu berücksichtigen ist.

2.4.4 Verständlichkeit

Ob ein Zeichen für den Empfänger (intuitiv) verständlich ist, hängt vor allem davon ab, ob es seiner Bedeutung oder der ihm zugrundeliegenden Handlung ähnlich ist. EKMAN & FRIESEN (1969) definieren in diesem Zusammenhang drei Kodierungsprinzipien: intrinsische, ikonische und arbiträre Kodie-

rung. Fallen das Zeichen für eine Handlung und die Handlung selbst zeitlich und inhaltlich zusammen (man könnte auch sagen: ist die Handlung selbst von außen ersichtlich), handelt es sich um eine intrinsische Kodierung und damit um eine hohe Verständlichkeit. Die Geschwindigkeitsverzögerung eines Fahrzeugs weist z. B. unmissverständlich darauf hin, dass der Fahrer den Pkw abbremst. Eine ikonische Kodierung liegt vor, wenn das Signal und die Handlung eine große Ähnlichkeit zueinander haben, z. B. das linke Blinklicht, das durch seine Anordnung am Fahrzeug leicht mit dem Linksabbiegen assoziiert werden kann. Besteht keine offensichtliche Ähnlichkeit zwischen dem Zeichen und der Nachricht, die dieses vermitteln soll – z. B. beim Kommunikationsmittel Warnblinker (siehe Kapitel 2.1) – sprechen EKMAN & FRIESEN (1969) von arbiträrer Kodierung. Die Bedeutung des Zeichens wurde in diesem Fall von außen festgelegt, muss folglich erst erlernt werden, um für den Empfänger verständlich (d. h. dekodierbar) zu sein, und ist stark vom Kontext abhängig.

3 Analyse der heute stattfindenden Kommunikation im Straßenverkehr

Um eine umfassende Einbeziehung der im Straßenverkehr verwendeten Kommunikationsmittel zu gewährleisten, wurde zunächst eine umfangreiche Liste von Szenarien erstellt (Szenariensammlung, siehe Kapitel 3.1 und Anhang 1), in denen nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmer miteinander interagieren. Die Grundlage dieser Übersicht bilden verschiedene Vorarbeiten, darunter das InterACT-Projekt (WILBRINK et al. 2018), Regelungen nach der StVO, die Konfliktsituationen aus dem Unfalltypen-Katalog (ORTLEPP & BUTTERWEGGE, 2016), der Maßnahmenkatalog gegen Unfallhäufungen (MaKaU; MAIER, BERGER & KOLLMUS, 2017) sowie verschiedene Überblickearbeiten und Studien (z. B. BAUER et al., 1980; CLOUTIER, LACHAPPELLE, D'AMOURS-OUELLET, BERGERON, LORD & TORRES, 2017). Anschließend wurde die Szenariensammlung der Fachbetreuung und dem Betreuerkreis des vorliegenden Projektes in einem persönlichen Treffen vorgestellt und diskutiert.

Die (große) Zahl von Szenarien sollte für die weiteren Analyseschritte dahingehend bewertet werden, welche Relevanz sie für die Bereiche Verkehrssi-

cherheit, -fluss und -klima haben (siehe Kapitel 3.2). Auch an dieser Stelle wurden die Fachbetreuung und der Betreuerkreis einbezogen, lieferten wertvolle Hinweise zur Relevanzbewertung und ergänzten Vorschläge für zusätzliche Interaktionsszenarien.

Die eigentliche Fragestellung des Projektes, welche Kommunikationsmittel in welcher Situation zur Übermittlung welcher Botschaft geeignet sind, wird durch die entwickelten Szenarienblätter adressiert. Der Aufbau eines Szenarienblattes und die qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel werden in den Kapiteln 3.3 und 3.4 näher beschrieben. Um auch hier eine gewisse Übersichtlichkeit zu wahren, wurden gewisse Zusammenfassungen vorgenommen und Annahmen getroffen. Darunter fällt zum einen, dass Situationen, die sich aus kommunikativen Aspekten allein darin unterscheiden, dass sich der Empfänger auf der rechten oder der linken Straßenseite befindet, zusammen betrachtet werden. Somit ist die Kritikalität einer Verkehrssituation in Bezug auf die Verkehrssicherheit kein Kriterium für die Kommunikation. Vielmehr ist es notwendig, dass die Kommunikation in kritischen Szenarien erfolgreich abläuft.

Ebenfalls zusammen betrachtet wurden die Verkehrsteilnehmer Motorrad- und Pkw-Fahrer, die weitestgehend die gleichen Verkehrswege teilen und daher gleichbedeutend verwendet wurden. Zum anderen wurde angenommen, dass sich Verkehrssituationen, die sich innerorts und außerorts stark ähneln, zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit zusammenfassen lassen und sich eventuelle Unterschiede (beispielsweise aufgrund der unterschiedlich geltenden Geschwindigkeitsbegrenzungen) vernachlässigen lassen. Ergaben sich rechtliche Schwierigkeiten (z. B. Einsatz der Lichthupe inner- und außerorts) oder Verständnisprobleme bezogen auf den Kontext, werden diese auf dem Szenarienblatt erläutert.

3.1 Szenariensammlung

Die Szenariensammlung wurde nach folgenden Gesichtspunkten aufgebaut:

- Lage, unterteilt in innerorts (Stadt), außerorts einbahnig (Landstraße) und außerorts zweibahnig (Bundesautobahn),
- Verkehrsumgebung (z. B. freie Strecke, Kreuzung mit Vorfahrt von rechts),

- Titel des Szenarios,
- Sender der zu übermittelnden Botschaft (immer ein Pkw),
- Empfänger der zu übermittelnden Botschaft (immer ein nicht-automatisierter Verkehrsteilnehmer),
- Kurzbeschreibung der Situation ohne die Berücksichtigung einer bestimmten Sichtweise,
- Unterscheidung in Regelfall oder abweichender Fall in Bezug auf die derzeit gültigen Verkehrsregelungen nach StVO,
- Botschaft des Senders,
- Skizze.

Der Kommunikation zwischen zwei Verkehrsteilnehmern kann je nach Verkehrssituation und Absichten der Interaktionspartner eine höhere oder niedrigere Bedeutung zukommen, wenn z. B. über den zukünftigen Verlauf oder die Intentionen eines der Interaktionspartner Unsicherheit besteht (PORTOULI et al., 2014). Dies ist insbesondere der Fall, wenn vom Regelfall, also beispielsweise der Vorfahrtsregelung, abgewichen wird oder wenn die Vorfahrt ungeregelt ist.

In der Analyse zum heutigen Verkehrsgeschehen lässt sich die überwiegende Mehrheit der Interaktionsszenarien auf die Frage reduzieren, welcher Interaktionspartner zuerst anfährt oder losgeht. Nicht zwingend liegt hierfür eine eindeutige Verkehrsregelung nach der StVO zugrunde, wie es beispielsweise an Kreuzungen und Einmündung der Fall ist. Dennoch stehen die Begriffe „Vorfahrt“ und „Vorrang“ gleichbedeutend mit der o. g. Frage nach der Reihenfolge für die Befahrung bzw. Nutzung einer bestimmten Verkehrsfläche bzw. eines Straßenabschnittes, die bzw. der von beiden Interaktionspartnern im Verlauf ihres Fahr- bzw. Gehweges genutzt werden möchte.

Hinsichtlich der Relevanzbewertung eines Interaktionsszenarios nach den Kriterien Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss und Verkehrsklima hat die Frage nach der Reihenfolge der Befahrung eines Straßenabschnittes zentrale Bedeutung. Insofern lassen sich alle Interaktionsszenarien, unabhängig von der Verkehrsumgebung auf die o. g. Frage reduzieren. Die gleichzeitige Nutzung einer bestimmten Verkehrsfläche wäre nicht möglich und würde zwangsläufig zum Konflikt führen (negativer Einfluss auf die Verkehrssicherheit). Dies gilt in Kreuzungsberei-

	Sender hat Vorrang/Vorfahrt	Empfänger hat Vorrang/Vorfahrt
Interaktion gemäß Vorfahrtsregelung	„Ich setze meinen Vorrang/meine Vorfahrt durch!“	„Ich gewähre dir deinen Vorrang/deine Vorfahrt!“
Abweichung von Vorfahrtsregelung	„Ich überlasse dir meinen Vorrang/meine Vorfahrt!“	„Ich nehme den mir angebotenen Vorrang/die mir angebotene Vorfahrt an!“

Tab. 3-1: Vier-Felder-Tafel der möglichen Botschaften bezogen auf die Vorfahrtsregelung

chen im städtischen Verkehr wie auch beim Überholen auf Landstraßen oder beim Fahrstreifenwechsel auf Autobahnen. Das Warten (ggf. auch abweichend von der nach StVO vorgeschriebenen Vorfahrts- bzw. Vorrangregelung) beeinflusst einerseits den Verkehrsablauf und andererseits das Verkehrsklima.

Auf Basis dieser Überlegung lassen sich verschiedene Grundbotschaften formulieren, die der Sender im Rahmen seiner technologie- und/oder gesten-gestützten Kommunikationsmittel zur Übermittlung einer Nachricht zur Verfügung hat.

So stellt bspw. Tabelle 3-1 vier verschiedene Grundbotschaften für einen Kreuzungs- oder Einmündungsbereich dar, abhängig davon, ob der Sender oder der Empfänger bevorrechtigt ist und ob dieser seine Vorfahrt bzw. seinen Vorrang durchsetzen oder an den jeweils anderen Interaktionspartner abgeben möchte. Weitere mögliche Grundbotschaften (wie z. B. die Botschaft „Ich möchte überholen!“ beim Überholen auf Landstraßen oder die Botschaft „Ich lasse dich einfahren!“ beim Fahrstreifenwechsel auf Autobahnen) sind je nach Interaktionsszenario und der zugrunde liegenden Verkehrskonstellation im anhängenden Szenarien-katalog formuliert.

An einer Kreuzung mit Vorfahrtssignalisierung (siehe Bild 3-1, erste Skizze) kann sich der Sender auf der bevorrechtigten Straße befinden (blauer Pkw), wodurch er vor dem Empfänger (roter Pkw) Vorrang hat. Im Regelfall wird er seine Vorfahrt durchzusetzen wollen, wozu er die Botschaft 1 „Ich setze meinen Vorrang/meine Vorfahrt durch!“ aussendet (z. B. durch konstante Fahrzeuggeschwindigkeit). Will er von seinem Vorrang keinen Gebrauch machen und somit von der Vorfahrtsregelung abweichen, sollte er dem Empfänger Botschaft 2 „Ich überlasse dir meinen Vorrang/meine Vorfahrt!“ übermitteln (z. B. durch eine wischende Handbewegung), damit dieser seine Fahrt fortsetzen kann.

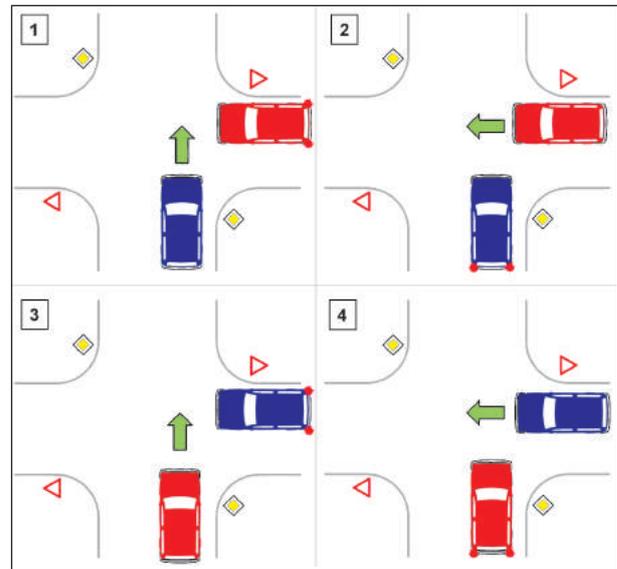


Bild 3-1: Botschaften des Senders (blauer Pkw) an einer Kreuzung mit Vorfahrtssignalisation

Auf der betrachteten Kreuzung kann allerdings auch der Sender-Pkw (siehe Bild 3-1, Skizze 3 und 4; blauer Pkw) derjenige sein, der sich auf der Nebenstraße befindet und dem Empfänger somit Vorfahrt gewähren muss (roter Pkw). Eine Interaktion gemäß der Vorfahrtsregelung würde bedeuten, dass der Sender (z. B. über das Abbremsen bis zum Stillstand) Botschaft 3 „Ich gewähre dir deinen Vorrang/deine Vorfahrt!“ kommuniziert, woraufhin der Empfänger seinen Weg fortsetzt. Hat der Empfänger dem Sender allerdings im Vorfeld die Vorfahrt angeboten bzw. überlassen, so lautet die übermittelte Botschaft 4 des Senders „Ich nehme den mir angebotenen Vorrang/die mir angebotene Vorfahrt an!“ (z. B. durch Anfahren und ggf. dankausdrückendes Handzeichen).

3.2 Relevanzbewertung der Szenarien

Das Ziel dieses Projektes ist die Untersuchung der heute verwendeten Kommunikationsmittel und ihrer Übertragbarkeit auf den künftigen Straßenverkehr mit automatisierten Fahrzeugen. Zu den kritischsten Folgen einer misslungenen Kommunikation zählen dabei in erster Linie Verkehrsunfälle und die Schädigung von Verkehrsteilnehmern, weshalb die Verkehrssicherheit bzw. die Vermeidung schwerer Konfliktsituationen das erste Kriterium zur Relevanzbewertung der Szenarien darstellen. Darüber hinaus sollte der Verkehrsfluss möglichst nicht unterbrochen oder verlangsamt bzw. diejenigen Kommunikationsmittel bevorzugt werden, die dies am ehes-

Verkehrssicherheit	Beinhaltet die Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf die Vermeidung von schweren Konfliktsituationen ist:		
	3 = hoch hohe Unfallschwere (z. B. mgl. Konflikte mit Rad/ Fußverkehr oder mgl. Konflikte bei hohen Geschwindigkeiten)	2 = mittel mittlere Unfallschwere (z. B. mgl. Konflikte zwischen Fahrzeugen bei mittleren Ge- schwindigkeiten)	1 = niedrig geringe Unfallschwere (z. B. mgl. Konflikte zwischen Fahrzeugen bei niedrigen Geschwindigkeiten)
Verkehrsfluss	Beinhaltet die Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf den Verkehrsfluss in der Trajektorie des Senders ist:		
	3 = hoch Reduzierung des Verkehrs- flusses in der Trajektorie des Senders (z. B. Beeinträchtigung Kfz-Verkehr durch langsameren Rad-/Fußver- kehr)	2 = mittel gleichbleibender Verkehrsfluss in der Trajektorie des Senders (z. B. keine Beeinträchtigung Kfz-Verkehr)	1 = niedrig Erhöhung des Verkehrsflusses in der Trajektorie des Senders (z. B. Bevorrechtigung Kfz-Verkehr durch Verzicht auf Vorfahrt/Vorrang gem. Regelung nach StVO)
Verkehrsklima	Beinhaltet die Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf die Bereitschaft zur Kooperation im Straßenverkehr ist:		
	3 = hoch Altruismus: „Ich helfe dir auch, wenn ich mich schädige.“ (z. B. Verzicht auf Vorrang/Vorfahrt gem. Regelung nach StVO)	2 = mittel Reziprozität: „Ich helfe dir, wenn es mir nützt.“ (z. B. Kooperation in uneindeutigen Verkehrssituationen)	1 = niedrig Unabhängigkeit: „Ich helfe dir nicht, ich schädige dich nicht.“ (z. B. Einhaltung Vorrang/Vorfahrt gem. Regelung nach StVO)

Tab. 3-2: Beurteilung der Relevanz eines Szenarios

ten verhindern können. Da sich die wahrgenommene Verkehrssicherheit von der tatsächlichen unterscheiden kann und um die subjektive Bereitschaft zur Kooperation abzubilden, wurde auch das Verkehrsklima zur Beurteilung der Relevanz einer Situation aufgenommen.

Die Beurteilung der Relevanz eines Interaktions-szenarios erfolgte demnach auf der Grundlage der drei Kriterien Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss und Verkehrsklima, wobei für jedes Szenario anhand nachfolgender Skala Punkte vergeben wurden (Tabelle 3-2). Anschließend wurden die drei Punktzahlen aufsummiert, um einen Überblick über die für das Projektziel bedeutsamsten Szenarien zu erhalten.

3.3 Szenarien-katalog mit Szenarien-blättern

Ein Szenarienblatt dient der übersichtlichen Darstellung von Verkehrssituationen inklusive der Botschaft, die vom Sender (Pkw) an den anderen Interaktionspartner (Empfänger) übermittelt werden soll, und der Kommunikationsmittel, die er dafür verwenden kann. Da sich aus der Situation unmittelbar die geltende Vorfahrtsregel ergibt, sofern eine entsprechende Regelung nach der StVO vorliegt, und die-

se wiederum die Botschaft beeinflusst, wird auf jedem Szenarienblatt zunächst aufgezeigt, welchem der Kommunikationspartner der Vorrang bzw. die Vorfahrt obliegt. Wie eingangs erläutert, sind die Begriffe „Vorfahrt“ und „Vorrang“ gleichbedeutend mit der Frage nach der Reihenfolge für die Befahrung einer gemeinsamen Verkehrsfläche zu sehen und gelten somit z. B. auch beim Fahrstreifenwechsel auf Autobahnen oder beim Überholen auf Landstraßen. Anschließend wird die Bedeutung der auf dem Blatt zusammengefassten Szenarien verbal und anhand der in Kapitel 3.2 beschriebenen Relevanzkriterien erläutert.

Innerhalb der Szenarienblätter werden die verschiedenen Szenarien der Szenariensammlung aufgelistet und dabei charakterisiert durch (vgl. Bild 3-2):

- die Ortslage (innerorts, außerorts oder Bundesautobahn),
- die (Verkehrs-)Umgebung (z. B. freie Strecke),
- den Empfänger (z. B. Fußgänger),
- eine verbale Kurzbeschreibung der Situation einschließlich des Hinweises darauf, ob von dem „normalen“ Regelfall abgewichen wird (z. B. durch Verzicht auf Vorrang/Vorfahrt) sowie
- eine Skizze zur Verdeutlichung (Sender-Pkw immer als blaues Fahrzeug dargestellt).

Szenarienblatt: Verkehrsumgebung des Szenarios		Botschaft des Senders (Pkw): Übermittelte Botschaft des blauen Pkw/AF		Gruppe: Einteilung hinsichtlich der Übertragbarkeit auf Mischverkehr			
Vorrang/Vorfahrt: Nennung des gemäß StVO bevorrechtigten Interaktionspartners		Sender (Pkw) <input checked="" type="checkbox"/>	Empfänger <input type="checkbox"/>	Ungeregt <input type="checkbox"/>	Bewertung der Relevanz		
Bedeutung: Kurzbeschreibung der Bedeutung des Szenarios hinsichtlich des Einflusses auf:					Verkehrssicherheit		
Verkehrssicherheit: Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf die Vermeidung von schweren Konfliktsituationen ist.					1	2	3
Verkehrsablauf: Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf den Verkehrsfluss in der Trajektorie des Senders ist.					Verkehrsfluss		
Verkehrsklima: Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf die Bereitschaft zur Kooperation im Straßenverkehr ist.					1	2	3
					Verkehrsklima		
					1	2	3
Ziffer	Lage	Umgebung	Empfänger	Beschreibung	Skizze(n)		
Lfd. Nr.	IO = innerorts AO = außerorts BAB = Bundesautobahn	Verkehrs- umgebung	beteiligter Interaktions- partner	Kurzbeschreibung des Szenarios inkl. Regelung nach StVO			

Bild 3-2: Beispielabbildung der Inhalte je Szenarienblatt (1)

Anschließend werden die in Kapitel 2.2 beschriebenen Kommunikationsmittel aufgezählt und auf den Dimensionen der Modalität, Formalität, Intentionalität und Selektivität (siehe Kapitel 2.3) eingeordnet. Dabei entfällt die Betrachtung derjenigen Kommunikationsmittel, die im entsprechenden Szenario nicht eingesetzt werden oder formell nicht eingesetzt werden dürfen (z. B. Lichthupe bei Szenarien innerorts). Die nachgestellte, qualitative Bewertung erfolgt ebenfalls im Hinblick auf die zu übermittelnde Botschaft und die vorhandene Situation und soll im folgenden Kapitel 3.4 näher erläutert werden. Eine zusammenfassende Einschätzung zur Eignung der heute verwendeten Kommunikationsmittel schließt jedes Szenarienblatt ab, wobei die (einzeln oder in der Kombination) zu empfehlenden Kommunikationsmittel bezogen auf die Situation und die Botschaft zur besseren Übersichtlichkeit Grün hinterlegt wurden.

3.4 Bewertungssystem und qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel

Das Bewertungssystem stützt sich auf die in Kapitel 2.4 eingeführten und theoretisch begründeten Kriterien Erkennbarkeit (bezogen auf die Umweltbedin-

gungen sowie auf die Positionierung beider Kommunikationspartner zueinander), Eindeutigkeit und Verständlichkeit. Die Bewertung eines Kommunikationsmittels erfolgt dabei pro Szenarienblatt, da sie von der betrachteten Situation und der vermittelten Botschaft abhängig ist.

Bezogen auf die vier Kriterien kann ein Kommunikationsmittel dabei uneingeschränkt erkennbar, eindeutig oder verständlich sein (Bewertung mit „+“), z. B. wenn der Pkw ein Vorfahrtsangebot annimmt, indem er anfährt oder beschleunigt (Fahrer-dynamik, siehe Szenarienblatt 10): Die Fahrzeugbeschleunigung ist sowohl bei nächtlichen, regnerischen etc. Bedingungen als auch bei großem und geringem Abstand gut erkennbar, eindeutig und unmissverständlich. In der gleichen Situation eignet sich der Blickkontakt zur Übermittlung der Botschaft „Ich nehme den mir angebotenen Vorrang/Vorfahrt an!“ nur eingeschränkt, da er bei schlechten Umweltbedingungen wie einer spiegelnden Windschutzscheibe oder bei einer ungünstigen Positionierung (z. B. zu großer Abstand zueinander) für den Empfänger nicht oder nur schwerlich erkennbar ist (Bewertung mit „o“).

Vollkommen uneindeutig und missverständlich wäre im gleichen Szenario der Einsatz der Lichthupe, vermutlich würde der Empfänger durch dieses

Szenarienblatt: Verkehrsumgebung des Szenarios		Botschaft des Senders (Pkw): übermittelte Botschaft des blauen Pkw/AF							
Kommunikationsmittel (Sender)	Blinker	Warnblinker	Bremsleuchte	Hupe/Horn	Lichthupe	Körpergeste	Blickkontakt	Fahrdynamik	
Modalität	Unterscheidung in technologiegestützte vs. gestengestützte Kommunikationsmittel								
Formalität	Unterscheidung in formelle vs. informelle Kommunikationsmittel								
Intentionalität	Unterscheidung in explizite vs. implizite Kommunikationsmittel								
Selektivität	Unterscheidung in gerichtete vs. ungerichtete Kommunikationsmittel								
Qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel									
Erkennbarkeit – Umweltbedingungen	Bewertung der Sichtbarkeit eines Kommunikationsmittels (bezogen auf Umweltbedingungen)						Bewertungsskala Kommunikations- mittel: + geeignet o eingeschränkt - ungeeignet		
Erkennbarkeit – Positionierung	Bewertung der Sichtbarkeit des Kommunikationsmittels (bezogen auf Position der Interaktionspartner)								
Eindeutigkeit	Bewertung hinsichtlich der Eindeutigkeit des Kommunikationsmittels								
Verständlichkeit	Bewertung hinsichtlich der Verständlichkeit des Kommunikationsmittels								
Eignung der Kommunikationsmittel:									
zusammenfassende Kurzbeschreibung hinsichtlich der Eignung der heute verwendeten Kommunikationsmittel									

Bild 3-3: Beispielabbildung der Inhalte je Szenarienblatt (2)

Kommunikationsmittel sogar die Botschaft „Ich gewähre dir deinen Vorrang/deine Vorfahrt“ dekodieren (Bewertung mit „-“).

3.5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Analyse der heute stattfindenden Kommunikation im Straßenverkehr ergab zunächst eine Szenariensammlung, in der 154 Szenarien (davon innerorts 110, außerorts 16 und auf Bundesautobahnen 28 Szenarien) zusammengetragen und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Verkehrssicherheit, den Verkehrsfluss und das Verkehrsklima bewertet wurden. Im daraus anschließend erstellten Szenarienkatalog finden sich 127 relevante Szenarien wieder, die durch die Gruppierung nach Verkehrsumgebung und Botschaft auf 52 Szenarienblättern dargestellt werden (vgl. Szenarienkatalog im Anhang). Die qualitative Bewertung der Kommunikationsmittel führte zu einer Einschätzung pro Szenarienblatt, welche Kommunikationsmittel (ggf. in Kombination miteinander) dazu geeignet sind, die jeweilige Botschaft erkennbar, eindeutig und verständlich zu übermitteln. Während der einzelnen Analyseschritte fielen allerdings auch Einschränkungen und Unklarheiten auf, die an dieser Stelle kurz erläutert werden sollen.

Bei vielen Szenarien im Straßenverkehr ist beispielsweise der Fahrtrichtungsanzeiger als Kommunikationsmittel (formell) unerlässlich, drückt aber lediglich den Abbiegewunsch aus und übermittelt die betrachtete Botschaft (z. B. Szenarienblatt 5 mit der Botschaft „Ich gewähre dir deinen Vorrang/deine Vorfahrt!“) nicht. In solchen Fällen wurde er als Kommunikationsmittel zwar in die Betrachtung eingeschlossen (keine Kennzeichnung „entfällt“), aber nicht als geeignetes Kommunikationsmittel zur Übertragung der Botschaft empfohlen.

Eine weitere Problematik umfasst die Anwendung der Lichthupe im innerörtlichen Bereich. Gemäß § 16, Abs.1 StVO darf Schall- und Leuchtzeichen (z. B. Hupe bzw. Lichthupe) nur geben, wer außerhalb geschlossener Ortschaften überholt (§ 5 Absatz 5 StVO) oder wer sich oder andere Verkehrsteilnehmer gefährdet sieht. Daher ist die Anwendung der Lichthupe zur Gewährung oder zum Überlassen der Vorfahrt bzw. des Vorrangs nicht zulässig, wird aber dennoch praktiziert. Es handelt sich dabei also um eine soziale Norm (anstatt um eine Rechtsnorm).

Aufgrund der rechtlichen Lage entfällt die Lichthupe als mögliches Kommunikationsmittel in solchen Szenarien, die nur innerorts vorkommen, wobei in der gemeinsamen Betrachtung von inner- und außerörtlichen Szenarien auffällt, dass sie durchaus

einen Beitrag zur besseren und schnelleren Kommunikation zwischen zwei Verkehrsteilnehmern leisten kann. An dieser Stelle wird deutlich, dass bereits im heute stattfindenden Straßenverkehr für einen bestimmten Anwendungsfall (Überlassen bzw. deutliches Gewähren der Vorfahrt auf gleichrangigen Verkehrswegen, wenn Blickkontakt, Körper-/Handgeste und/oder Fahrdynamik dies nicht rechtzeitig oder deutlich genug ausdrücken können) ein geeignetes, erlaubtes Kommunikationsmittel fehlt und diese „Lücke“ durch die informelle Norm des Lichthupeneinsatzes gefüllt wurde. Als Beispiel dient hierfür das Szenario, bei dem zwei entgegenkommende Fahrzeuge in einem Straßenabschnitt mit beengtem Querschnitt (insbesondere über eine größere Distanz) interagieren müssen, sodass es beiden Fahrzeugen gelingt diese Engstelle geordnet zu passieren. Grundsätzlich gilt für diesen Fall § 6 Abs. 1 StVO, welcher besagt, wer an einer Fahrbahnverengung, einem Hindernis auf der Fahrbahn oder einem haltenden Fahrzeug links vorbeifahren will, entgegenkommende Fahrzeuge durchfahren lassen muss. Nicht immer ist diese Regelung eindeutig, insbesondere dann, wenn die gleiche Situation auch aus Sicht des entgegenkommenden Fahrzeugs zutrifft.

4 Analyse der zukünftig zu erwartenden Kommunikation im Mischverkehr

Gegenwärtig werden vollautomatisierte Fahrzeuge bereits in solchen Bereichen eingesetzt, in denen klare Grenzen und Bedingungen vorliegen, die Infrastruktur auf die technischen Möglichkeiten der Fahrzeuge abgestimmt ist und Menschen im Umgang mit den automatisierten Fahrzeugen geschult sind (z. B. Transportvehikel in Fabriken, landwirtschaftliche Maschinen). Im Vergleich zu „geschlossenen Systemen“ wie einer Fabrikhalle oder einer definierten Anbaufläche stellt der offene Straßenverkehr ein anspruchsvolleres und weniger berechenbares Anwendungsfeld für ein automatisiertes Fahrzeug dar. Es ist davon auszugehen, dass zunächst der Anteil an automatisierten Fahrfunktionen (Teil-, Hoch-, Vollautomatisierung) steigen wird, wobei unter dem Begriff „automatisiertes Fahren“ sehr unterschiedliche Ausprägungen subsumiert werden. Eine sinnvolle Unterteilung der Automatisierungsgrade wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (GASSER, FREY, SEECK, AUERSWALD, 2017) und der Society of Automotive Engineers (2018) vorgenommen und ist in Tabelle 4-1 dargestellt.

Im vorliegenden Projekt wird unter Mischverkehr derjenige Zustand verstanden, in dem der motorisierte Individualverkehr neben manuell gesteuerten Fahrzeugen (bis einschließlich Level 2) einen sub-

Level 0	nicht-automatisiert	Der Fahrer führt das Fahrzeug in allen Belangen selbst. Das Fahrzeug kann aber durchaus mit Warnsystemen ausgerüstet sein.
Level 1	assistierend	Das Fahrzeug übernimmt entweder die Längs- oder die Querführung, während der Fahrer die jeweils andere übernimmt. Er muss das Fahrzeug dauerhaft überwachen und jederzeit die vollständige Kontrolle übernehmen können.
Level 2	teilautomatisiert	Das Fahrzeug übernimmt für eine gewisse Zeit oder in speziellen Situationen wie bspw. dem Überholen auf der Autobahn sowohl die Quer- als auch die Längsführung. Der Fahrer muss das Fahrzeug dauerhaft überwachen und jederzeit in der Lage sein, die Steuerung sofort zu übernehmen.
Level 3	bedingt automatisiert	Das Fahrzeug übernimmt für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen die Quer- und die Längsführung. Eine dauerhafte Überwachung durch den Fahrer ist nicht notwendig. Er muss jedoch in der Lage sein, auf Anforderung des Fahrzeugs nach einer ausreichenden Reaktionszeit die Kontrolle wieder zu übernehmen.
Level 4	hochautomatisiert	Das Fahrzeug kann in einem definierten Anwendungsfall wie bspw. dem Fahren auf Autobahnen alle Situationen automatisch bewältigen. Der Fahrer muss vor Beendigung des Anwendungsfalls zur Übernahme der Fahraufgabe aufgefordert werden. Kommt er dem nicht nach, muss das Fahrzeug einen risikominimalen Zustand einnehmen.
Level 5	vollautomatisiert	Auf dieser Stufe ist von Fahrtbeginn bis -ende kein Fahrer mehr notwendig. Das Fahrzeug übernimmt die Fahraufgabe vollumfänglich, d. h. bei allen Straßentypen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeldbedingungen.

Tab. 4-1: Automatisierungsgrade der Fahrzeugfunktionen (nach SAE, 2018)

stanzialen Anteil an automatisierten Fahrzeugen enthält, die in einigen oder allen Anwendungsfällen die Fahrtätigkeiten übernehmen (ab Level 3) und daher mit nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern (einschließlich Fußgängern, Radfahrern etc.) interagieren. Hinsichtlich unterschiedlicher Automatisierungsgrade (vgl. Tabelle 4-1) sind allerdings keine Betrachtungen vorgesehen.

Derzeit sind viele Herausforderungen der Einführung automatisierter Fahrzeuge in den Straßenverkehr noch ungeklärt. Dazu zählen bspw. die Übernahme-Problematik, das Verhalten in Sondersituationen (z. B. der Umgang mit Einsatzfahrzeugen, Sondersignalen und Zeichen eines Polizeibeamten), Fragen der Haftung in Schadensfällen oder die Diskrepanz zwischen bezahlbaren Rechenleistungen und benötigten Datenmengen. Bisher konnten keine einheitlichen Regularien und Prüfverfahren für automatisierte Fahrzeuge formuliert werden, wengleich sich groß angelegte Projekte durchaus mit diesen Themen beschäftigen (z. B. das Projekt PE-GASUS; MAZZEGA, 2019). Aus diesem Grund werden im nächsten Abschnitt grundlegende Annahmen beschrieben, die für die Überlegungen innerhalb des vorliegenden Projekts getroffen werden (siehe Kapitel 4.1). Anschließend sollen aus dem in Kapitel 3 erstellten Szenarienkatalog diejenigen Szenarien ausgewählt werden, die im Mischverkehrssystem bezogen auf die Kommunikation als problematisch oder zumindest verbesserungswürdig zu bewerten sind. Die für diese Einschätzung definierten Prinzipien werden in Kapitel 4.2 dargestellt.

4.1 Grundlegende Annahmen über automatisierte Fahrzeuge

Eine entscheidende Annahme über automatisierte Fahrzeuge betrifft den Umstand, dass diese sich ohne Ausnahme an die geltenden Verkehrsregeln halten. In Deutschland sind diese durch die StVO vorgegeben. Anders als ein menschlicher Fahrer, welcher je nach Situation in seiner Fahrweise einen gewissen Handlungsspielraum nutzt und/oder sich über die geltenden Verkehrsregeln der StVO hinwegsetzt, wird für das automatisierte Fahrzeug davon ausgegangen, dass es sich ausschließlich im Rahmen der geltenden Verkehrsregeln verhält. Das automatisierte Fahrzeug würde demnach an einer gleichrangigen Kreuzung erst dann vor dem von rechts kommenden Fahrzeug (oder Fahrradfahrer) kreuzen, wenn dieser deutlich kommuniziert hat,

seinen Vorrang an das automatisierte Fahrzeug abzugeben. Wie der Verzicht auf den Vorrang bzw. die Vorfahrt durch den nach StVO bevorrechtigten Verkehrsteilnehmer übermittelt werden könnte, wurde nicht näher betrachtet. Demensprechend wird als weitere Annahme aufgenommen, dass das Fahrzeug (sensor-)technologisch überhaupt dazu in der Lage ist, eine solche Absicht des (nicht-automatisierten) Verkehrsteilnehmers mit ausreichend hoher Sicherheit detektieren und verstehen zu können. In der Literatur finden sich verschiedene Beispiele, die nahelegen, dass es sich dabei keineswegs um ein einfach zu lösendes Problem handelt (z. B. RASOULI & TSOTSOS, 2018a), welches aber wie eingangs erwähnt nicht Teil der aktuellen Betrachtungen ist.

Weiterhin wird angenommen, dass das automatisierte Fahrzeug stets zum Ziel hat, Unfälle und Beschädigungen von beteiligten Verkehrsteilnehmern abzuwenden. Daraus ergibt sich, dass sein Verhalten nicht nur augenscheinlich als defensiv einzuordnen ist und womöglich vom Interaktionspartner gezielt ausgenutzt werden könnte. Denkbar ist bspw., dass ein Fußgänger beim Überqueren einer stark befahrenen Straße eher eine Lücke vor einem automatisierten als vor einem nicht-automatisierten Fahrzeug wählt, da er annimmt, dass ersteres in jedem Fall für ihn bremsen würde. Wenn es dem Verkehrsfluss zuträglich ist, ist zudem davon auszugehen, dass sich ein automatisiertes Fahrzeug kooperativ verhalten wird, z. B. durch das Überlassen der Vorfahrt, wenn dadurch eine Kreuzungsblockade aufgelöst wird.

Bezogen auf die technischen Systeme wird davon ausgegangen, dass automatisierte Fahrzeuge gegen die Manipulation von Daten und Funktionen – sowohl durch den Nutzer als auch durch Dritte – abgesichert sind. Für das vorliegende Projekt bedeutet das, dass die (möglicherweise neu implementierten) Kommunikationsmittel nicht abgewandelt werden können, sondern genau dem Anwendungsfall und der Funktionalität entsprechen, für die sie vom Hersteller vorgesehen wurden.

4.2 Bewertung der Übertragbarkeit von Interaktionsszenarien auf den Mischverkehr

Die Auswahl relevanter Szenarien in einem Mischverkehrssystem richtete sich vor allem danach, ob eine Veränderung der bisherigen Kommunikation

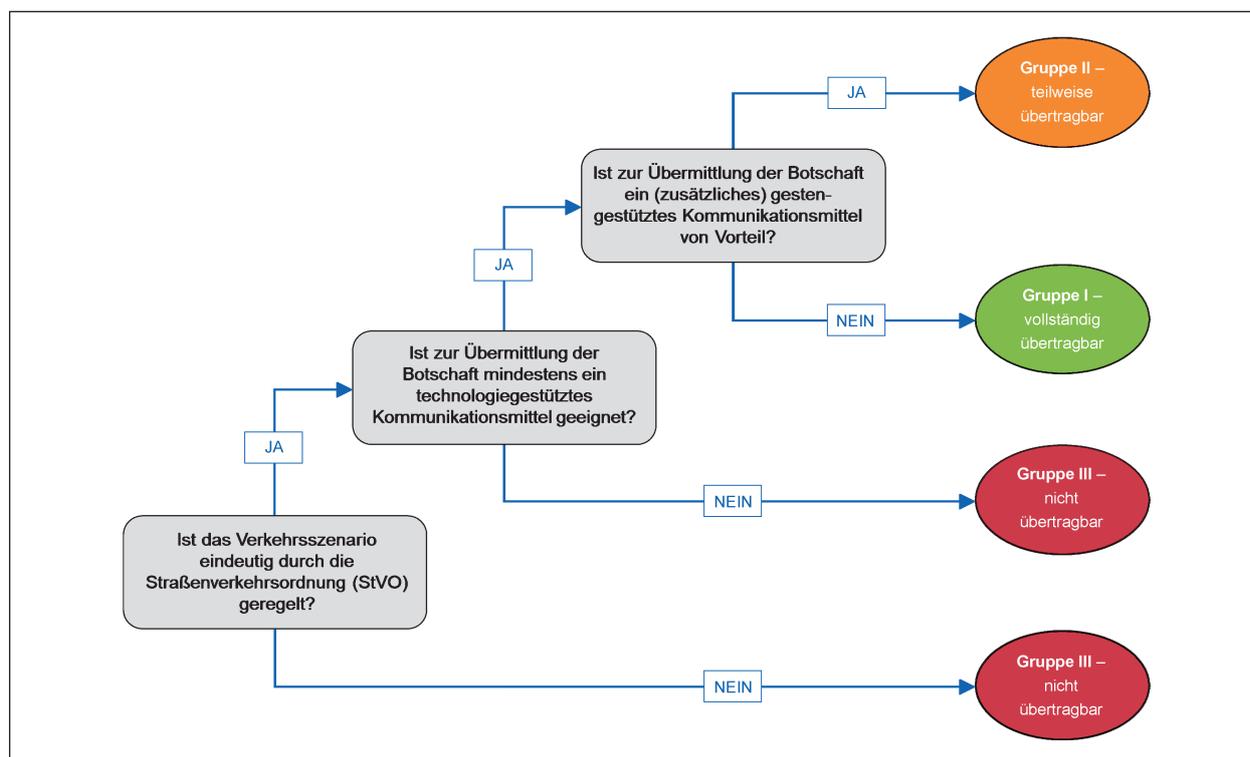


Bild 4-1: Auswahl relevanter Szenarien für den Mischverkehr

notwendig bzw. angeraten ist, weil zukünftig nicht mehr ein menschlicher Sender auftritt, sondern dieser von einer Maschine ersetzt wird. In vorangegangenen Kapiteln wurde bereits erläutert, dass sich Interaktionen, die in Verkehrsumgebungen stattfinden, die eindeutig durch die StVO geregelt sind, und bei denen ein geeignetes technologiegestütztes Kommunikationsmittel vorhanden ist, auf den Mischverkehr übertragen lassen. Dies gilt vor allem dann, wenn nicht vom Regelfall abgewichen wird (z. B. „Ich gewähre dir deinen Vorrang/deine Vorfahrt.“).

Szenarien, bei denen kein technologiegestütztes Kommunikationsmittel zur Übermittlung der Botschaft infrage kommt oder es gestengestützte Kommunikationsmittel gibt, die gegenüber anwendbaren technischen Hilfsmitteln von Vorteil sind, gelten im Hinblick auf den zukünftigen Mischverkehr als nicht oder teilweise übertragbar und sollten weiter betrachtet werden. Ein Vorteil gestengestützter Kommunikationsmittel kann bspw. darin begründet sein, dass diese selektiv angewendet werden können – man kann nicht gleichzeitig zu zwei unterschiedlichen, sich aus verschiedenen Richtungen annähernden Verkehrsteilnehmern Blickkontakt aufnehmen. Für die Szenarien, in denen (zusätzlich) ein gestengestütztes Kommunikationsmittel angewendet bzw. hilfreich wäre, weil dies eindeutiger oder verständlicher ist als das technologiege-

stützte oder durch dieses ein konkreter Verkehrsteilnehmer selektiv angesprochen werden kann, wurde dies innerhalb des Szenarienkatalogs beschrieben. Dies betrifft insbesondere die Szenarien der Gruppe II und der Gruppe III.

Zur Bewertung von Interaktionsszenarien hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf den Mischverkehr wurden im vorliegenden Projekt konkrete Bedingungen definiert, nach denen die Szenarien des Katalogs (siehe Kapitel 3.3) in drei Gruppen eingeteilt werden können. Diese Bedingungen verknüpfen die Frage, ob ein Verkehrsszenario eindeutig durch die StVO geregelt ist mit der Überlegung, ob ein entsprechend geeignetes technologiegestütztes Kommunikationsmittel zur Übermittlung der Botschaft aus Sicht des Senders verfügbar ist oder ob ein zusätzliches gestengestütztes Kommunikationsmittel vorteilhaft wäre bzw. mangels einer technologischen Alternative sogar benötigt wird.

Aus dieser Überlegung lassen sich verschiedene Verknüpfungen ableiten, die in Bild 4-1 grafisch dargestellt sind.

4.2.1 Gruppe I – vollständig übertragbar

Interaktionsszenarien wurden als vollständig übertragbar eingestuft und entfielen daher für die weite-

re Betrachtung innerhalb dieses Projektes, wenn folgende drei Bedingungen erfüllt wurden:

1. Das Interaktionsszenario findet in einer Verkehrsumgebung statt, die eindeutig durch die StVO geregelt ist.
2. Für die zu übermittelnde Botschaft steht dem Sender (heute ein üblicher Pkw und künftig ein automatisiertes Fahrzeug) mindestens ein geeignetes technologiegestütztes Kommunikationsmittel zur Verfügung.
3. Für die zu übermittelnde Botschaft wird kein gestengestütztes Kommunikationsmittel benötigt.

In die Gruppe I fielen vor allem diejenigen Szenarien, die einer eindeutigen Vorfahrtsregelung unterliegen und bei denen nicht vom Regelfall abgewichen wird. Dies ist bspw. bei den Botschaften „Ich setzte meinen Vorrang/meine Vorfahrt durch!“ und „Ich gewähre dir deinen Vorrang/deine Vorfahrt!“ der Fall, die über technische Mittel wie eine gleichbleibende oder reduzierte Geschwindigkeit vermittelt werden können.

Als vollständig übertragbar wurden insgesamt 87 der 127 Szenarien des Szenarienkatalogs identifiziert, auf die alle oben genannten Bedingungen zutreffen. Ein Beispiel für diese Gruppe ist das in Szenarienblatt 39 enthaltene Szenario 102 (ebenso 103 und 104), welches ein Überholen (Botschaft „Ich möchte überholen!“) auf freier Strecke außerorts beschreibt. Nachdem der Sender-Pkw zunächst seine Geschwindigkeit verzögert hat (Fahrndynamik), kündigt er über die Hupe, die Lichthupe und/oder den Fahrtrichtungsanzeiger seinen Überholvorgang an und überholt den Fußgänger (bzw. den vorausfahrenden Radfahrer oder ein vorausfahrendes motorisiertes Fahrzeug). In diesem Szenario ist dementsprechend (nicht nur) ein technologiegestütztes, geeignetes Kommunikationsmittel vorhanden und eine weitere Betrachtung im Hinblick auf den Mischverkehr kann entfallen.

4.2.2 Gruppe II – teilweise übertragbar

Für die Einordnung eines Szenarios in Gruppe II mussten folgende drei Bedingungen erfüllt sein, wobei die ersten zwei Bedingungen für die Gruppen I und II gleichermaßen galten:

1. Das Interaktionsszenario findet in einer Verkehrsumgebung statt, die eindeutig durch die StVO geregelt ist.

2. Für die zu übermittelnde Botschaft steht dem Sender (heute ein üblicher Pkw und künftig ein automatisiertes Fahrzeug) mindestens ein geeignetes technologiegestütztes Kommunikationsmittel zur Verfügung.

3. Für die zu übermittelnde Botschaft ist es von Vorteil, wenn der Sender (heute ein üblicher Pkw und künftig ein automatisiertes Fahrzeug) (zusätzlich) ein gestengestütztes Kommunikationsmittel anwendet, weil dies eindeutiger oder verständlicher ist als das technologiegestützte oder durch dieses ein konkreter Verkehrsteilnehmer selektiv angesprochen werden kann.

In Gruppe II wurden vorrangig die Szenarien einsortiert, die eine Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmern erfordern, um eine Verkehrssituation abweichend von der Regelung nach StVO zu lösen. Hierfür stehen die Botschaften „Ich überlasse dir meinen Vorrang/meine Vorfahrt!“ und „Ich nehme den mir angebotenen Vorrang/die mir angebotene Vorfahrt an!“ im Kern der Betrachtung. Zwar würde auch hier eine Geschwindigkeitsverringerung bzw. -erhöhung die jeweilige Botschaft ausdrücken können, die durchaus übliche Verwendung von Handgesten oder der (innerorts streng genommen unzulässigen) Lichthupe zeigt allerdings, dass die Einführung eines alternativen Kommunikationsmittels in solchen Fällen empfehlenswert sein könnte.

In die Gruppe II und damit als teilweise übertragbar eingeordnet, wurden 31 der 127 Szenarien des Szenarienkatalogs. Darunter fallen z. B. die Szenarien 57 bis 59 in Szenarienblatt 17, bei denen der bevorrechtigte Sender-Pkw innerorts oder außerorts auf freier Strecke einem anderen Verkehrsteilnehmer die Vorfahrt bzw. den Vorrang anbietet (Botschaft „Ich überlasse dir meinen Vorrang/meine Vorfahrt!“). Für die Verkehrskonstellation existiert in der StVO eine Vorfahrtsregelung (erste Bedingung), von der allerdings abgewichen wird. Weiterhin wäre die Fahrndynamik (in diesem Fall das Verzögern bzw. Anhalten) ein geeignetes, technologiegestütztes Kommunikationsmittel (zweite Bedingung), bei entsprechenden Umgebungsbedingungen sowie entsprechender Positionierung zueinander ist allerdings auch der Einsatz gestengestützter Kommunikationsmittel wie der Handgeste oder dem Blickkontakt möglich und durchaus üblich. KITAZAKI & MYHRE (2015) vergleichen die Fahrndynamik mit der Handgeste und kamen zu dem Schluss, dass letztere als besonders effektiv zum Überlassen der Vorfahrt bewertet wird, ein hohes Vertrauen zwi-

schen den Kommunikationspartnern schafft und sich besonders eignet, um eigentlich geltende Regelungen zu übergehen. Außerdem hat sich im heutigen Straßenverkehr die Lichthupe als informelle Ausdrucksmöglichkeit für die Botschaft „Ich überlasse dir meinen Vorrang/meine Vorfahrt!“ etabliert, was verdeutlicht, dass eine zulässige, technologiegestützte Alternative in diesen Fällen gesucht werden sollte.

4.2.3 Gruppe III – nicht übertragbar

Jene Szenarien, die nicht den Gruppen I oder II zugeordnet werden konnten, wurden in Gruppe III eingeteilt, erfüllen mindestens eine der folgenden Bedingungen und sollten bezogen auf das Mischverkehrssystem weiter betrachtet werden, da sie ohne entsprechende Anpassungen nicht übertragbar sind:

1. Das Interaktionsszenario findet in einer Verkehrsumgebung statt, die nicht eindeutig durch die StVO geregelt ist.
2. Für die zu übermittelnde Botschaft steht dem Sender (heute ein üblicher Pkw und künftig ein automatisiertes Fahrzeug) kein geeignetes technologiegestütztes Kommunikationsmittel zur Verfügung, d. h. für die zu übermittelnde Botschaft des Senders wird ein gestengestütztes Kommunikationsmittel benötigt.

Die Szenarien der Gruppe III kommen bspw. auf gleichrangigen Straßen innerorts oder in speziellen Verkehrsumgebungen wie Verflechtungsfahrbahnen auf Autobahnen vor. Sie sind daher geprägt von einer hohen Inhomogenität und erfordern eine intensivere bzw. flexiblere Interaktion zwischen den sich begegnenden Verkehrsteilnehmern als die Szenarien der Gruppen I und II.

Mindestens eine der oben genannten Bedingungen traf auf neun der 127 Szenarien des Szenarienkatalogs zu, die damit als nicht übertragbar klassifiziert wurden. Als Beispiele seien die Szenarien 90 und 91 in Szenarienblatt 32 (Botschaft „Ich möchte einparken und lasse dich räumen!“) angeführt, die beim Parken auf Parkplätzen oder im Parkhaus stattfinden können. Diese Verkehrsumgebungen sind nicht zwingend auf Grundlage der StVO geregelt. Zudem gibt es mehrere Möglichkeiten, wie der Sender die betreffende Botschaft übermitteln kann: über den Fahrtrichtungsanzeiger, das Rückfahrlicht, die Bremsleuchte, den Blickkontakt, eine wi-

schende Handbewegung oder den Stillstand des Fahrzeugs (Fahrdynamik), bis der Kommunikationspartner den Bereich geräumt hat. Dabei stellen die gestengestützten Kommunikationsmittel aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeiten, der geringen Distanz zwischen den Verkehrsteilnehmern und der Möglichkeit der gerichteten Kommunikation sogar sehr gute Mittel zur Übertragung der Botschaft dar.

4.2.4 Relevanz der Szenarien

Innerhalb des Szenarienkatalogs finden sich Ausführungen zur Relevanz der Szenarien in Bezug zu den Kriterien Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss und Verkehrsklima (siehe Kapitel 3.2). Für jedes als relevant eingeschätzte Szenario ist eine qualitative Bewertung hinsichtlich dieser Kriterien kurz beschrieben sowie die erreichten Wertungspunkte angegeben. Zudem wurde jedes Szenario bzw. die in den betreffenden Szenarien geeigneten Kommunikationsmittel in Bezug auf die Übertragbarkeit für einen künftigen Mischverkehr nach Gruppen gekennzeichnet. Bild 4-2 zeigt die Inhalte beispielhaft für das Szenarienblatt 1.

Die Bewertung nach der Relevanz der aufgeführten Szenarien hatte zum Inhalt, eine Einschätzung hinsichtlich ihrer Bedeutung des Szenarios für einen sicheren und flüssigen Verkehrsablauf (siehe dazu Kapitel 3.2) zu tätigen. Dies gibt jedoch noch keinen Hinweis darauf, wie notwendig bzw. wie hoch der Bedarf für ein neues Kommunikationsmittel für den Zustand des Mischverkehrs ist. So kam es vor, dass Szenarien hinsichtlich der Kriterien Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss oder Verkehrsklima als relevant eingeschätzt wurden, die Kommunikation jedoch unter Berücksichtigung der vorhandenen Kommunikationsmittel (z. B. über die vorhandenen lichttechnischen Einrichtungen und/oder der Fahrzeug-Trajektorie) und der zu übertragenden Botschaft des Sender-Fahrzeugs im heutigen Verkehr als auch im künftigen Mischverkehr möglich ist bzw. sein wird. Dies vor allem dann, wenn sich die Verkehrsteilnehmer an die gültigen Verkehrsregelungen halten. Insofern ergab eine hohe Relevanzbewertung nicht zwangsläufig auch eine Notwendigkeit für ein neues Kommunikationsmittel.

Im Fokus dieser Forschungsarbeit stehen insbesondere diejenigen Szenarien, in denen über die Regelungen der StVO hinaus z. B. Vorrang/Vorfahrt neu verhandelt werden (müssen), um z. B. den Ver-

Szenarienblatt 1: Kreuzung mit Vorfahrt von rechts		Botschaft des Senders (Pkw): Ich gewähre dir deinen Vorrang/deine Vorfahrt!		Gruppe II – teilweise übertragbar			
Vorrang/Vorfahrt:		Sender (Pkw) <input type="checkbox"/>	Empfänger <input checked="" type="checkbox"/>	Ungeregelt <input type="checkbox"/>	Relevanz		
Bedeutung: Das folgende Szenario zeigt Verkehrssituationen innerorts, bei denen an einer Kreuzung mit Vorfahrt von rechts der Sender (Pkw) Vorrang/Vorfahrt gegenüber dem Empfänger (anderer Verkehrsteilnehmer) gewähren muss. Diese Situationen kommen insb. im untergeordneten Straßennetz (z. B. in Tempo-30-Zonen) häufig vor und sind eindeutig durch die StVO geregelt (geringer Einfluss auf Verkehrsklima). Bedeutend sind die Situationen v. a. hinsichtlich der Verkehrssicherheit, da Konfliktsituationen mit schwachen Verkehrsteilnehmern eine hohe Unfallschwere erwarten lassen. Das Abbremsen des Pkw, um dem Kommunikationspartner Vorrang/Vorfahrt zu gewähren, beeinträchtigt den Verkehrsfluss mäßig (mittlere Relevanz). Ein (zusätzliches) gestengestütztes Kommunikationsmittel (z. B. Handzeichen) wäre hilfreich, um den Kommunikationspartner selektiv anzusprechen.					Verkehrssicherheit		
					1	2	3
					Verkehrsfluss		
					1	2	3
					Verkehrsklima		
					1	2	3
Ziffer	Lage	Umgebung	Empfänger	Beschreibung	Skizze(n)		
1	IO	Kreuzung mit Vorfahrt von rechts	Fußgänger	Interaktion mit querendem Fußgänger beim Abbiegen (rechts/links): ein Fußgänger quert die Fahrbahn, in die ein Pkw ab-/einbiegen möchte → Fußgänger hat Vorrang/Vorfahrt vor ab-/einbiegendem Pkw			

Bild 4-2: Beispielabbildung Szenarien katalog

kehrsfluss sicher zu stellen oder eine unsichere Verkehrssituation bzw. einen Konflikt zu vermeiden. Für ein Fahrzeug bzw. einen aktiven Fahrer stehen für diese „erweiterte“ Kommunikation bzw. den situationsspezifisch resultierenden Kommunikationsbedarf allerdings nur die mehrfach benannten technologie- und gestengestützten Kommunikationsmittel zu Verfügung. Durch die Absenz des aktiven Fahrers eines automatisierten Fahrzeugs im Mischverkehr werden die bestehenden Kommunikationsmöglichkeiten durch den Entfall sogenannter Körpergesten weiter reduziert bzw. sind eben diese nicht auf den Mischverkehr übertragbar.

4.3 Kritische Szenarien im Mischverkehr

Anhand der gewählten Methodik hat sich gezeigt, dass für einen Großteil der Verkehrsszenarien, in denen heute zwischen zwei Verkehrsteilnehmern eine Interaktion stattfindet und die hinsichtlich Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss und Verkehrsklima relevant erscheinen, die bestehenden Kommunikationsmittel eines Fahrzeugs (Pkw) auch für den Mischverkehrs übertragbar sind. Insbesondere die lichttechnischen Einrichtungen und die Fahrzeugtrajektorie sind i. d. R. ausreichend, um die situati-

onsspezifischen Botschaften aus Sicht des Sender-Fahrzeugs zu übermitteln. Nur zu einem geringen Teil gibt es Szenarien, in denen ein zusätzliches fahrzeugseitiges Kommunikationsmittel hilfreich wäre, um die Übermittlung der korrekten Botschaft zu unterstützen bzw. diese zu konkretisieren (Gruppe II, siehe Bild 5). Nur in Einzelfällen liegen Szenarien vor, die aus heutiger Sicht in einem Mischverkehrssystem ohne weitere (zusätzliche) Kommunikationsmöglichkeiten eines (automatisierten) Fahrzeugs den Bedarf an Kommunikation nicht abdecken können (Gruppe III, siehe Bild 5).

4.3.1 Interaktion zwischen Fahrzeugen in Engstellen

Begegnen sich zwei Fahrzeuge in entgegengesetzter Fahrtrichtung innerhalb eines beengten Straßenquerschnitts, der ein Passieren der Fahrzeuge nicht ohne weiteres ermöglicht, besteht die Gefahr einer Einschränkung des Verkehrsablaufs (sog. Deadlock-Situation). Eine solche Engstelle zeichnet sich dadurch aus, dass auf beiden Seiten der jeweiligen Fahrtrichtung Hindernisse (z. B. parkende Fahrzeug oder eine Baustelle) den für den fließenden Verkehr zur Verfügung stehenden Straßenquerschnitt derart reduzieren, dass nur eines der beiden Fahrzeuge diesen Abschnitt befahren kann.

Szenarienblatt 27: Schmaler Straßenquerschnitt/Engstelle		Botschaft des Senders (Pkw): Ich nehme den mir angebotenen Vorrang/die mir angebotene Vorfahrt an!		Gruppe III – nicht übertragbar																			
Vorrang/Vorfahrt:		Sender (Pkw) <input checked="" type="checkbox"/>	Empfänger <input type="checkbox"/>	Ungeregelt <input type="checkbox"/>	Relevanz																		
Bedeutung: Das folgende Szenario zeigt Verkehrssituationen innerorts, bei denen der Sender (blauer Pkw) innerhalb einer Fahrbahnverengung Vorrang/Vorfahrt ggü. dem Empfänger (roter Pkw) gewähren muss. Diese Situationen kommen insb. im untergeordneten Straßennetz häufig vor. Zwar regelt § 6 Abs. 1 StVO die Vorfahrt an Fahrbahnverengungen, doch je nach Situation nicht eindeutig genug, sodass hier Vorrang/Vorfahrt neu verhandelt werden muss (hoher Einfluss auf Verkehrsklima). Der mögliche Konflikt zwischen den motorisierten Fahrzeugen lässt eine geringe Unfallschwere erwarten. Der Einfluss auf den Verkehrsablauf ist für den motorisierten Verkehrs insgesamt hoch (hohe Relevanz). Ein (zusätzliches) gestengestütztes Kommunikationsmittel (z. B. Lichthupe) wäre hilfreich, um den Kommunikationspartner selektiv anzusprechen.					<table border="1"> <tr><th colspan="3">Verkehrssicherheit</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><th colspan="3">Verkehrsfluss</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><th colspan="3">Verkehrsklima</th></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table>	Verkehrssicherheit			1	2	3	Verkehrsfluss			1	2	3	Verkehrsklima			1	2	3
Verkehrssicherheit																							
1	2	3																					
Verkehrsfluss																							
1	2	3																					
Verkehrsklima																							
1	2	3																					
Ziffer	Lage	Umgebung	Empfänger	Beschreibung	Skizze(n)																		
80	IO	schmaler Straßenquerschnitt / Engstelle	Motorisiertes Fahrzeug	Interaktion mit einem entgegenkommenden motorisierten Fahrzeug: ein dem Pkw entgegenkommendes motorisiertes Fahrzeug befährt einen schmalen Straßenquerschnitt/eine Engstelle → motorisiertes Fahrzeug verzögert an geeigneter Stelle und lässt Pkw vorfahren																			

Bild 4-3: Interaktion zwischen Fahrzeugen in Engstellen (exemplarisch)

Somit muss durch kooperatives Verhalten der Verkehrsteilnehmer die Abfolge der Befahrung der Engstelle „ausgehandelt“ werden, da die bestehende Regelung nach § 6 StVO hierfür zu kurz greift. Diese besagt, dass bei einer Fahrbahnverengung, derjenige entgegenkommende Fahrzeuge durchfahren lassen muss, der an einem Hindernis auf der Fahrbahn oder einem haltenden Fahrzeug links vorbeifahren will.

Je nach Situation müssen die Verkehrsteilnehmer u. U. über eine größere Distanz zueinander die „Vorfahrt“ (die im eigentlichen Sinn keine ist) verhandeln. Oftmals ist im heutigen Verkehr die Lichthupe ein probates Mittel, um dem entgegenkommende Verkehrsteilnehmer zu signalisieren, dass er die Engstelle befahren kann, da man selbst eine Ausweichmöglichkeit gefunden hat (z. B. eine Einfahrt oder eine Lücke zwischen den parkenden Fahrzeugen) oder am Eingang der Engstelle wartet. Die Lichthupe kann dabei als gestengestütztes, gerichtetes und explizites Kommunikationsmittel verstanden werden, welche aufgrund der räumlichen Entfernung der Verkehrsteilnehmer zueinander als Mittel zum Zweck genutzt wird, wo in anderen Situationen eine Körpergeste angewandt werden würde.

Wie bereits erläutert ist die Nutzung der Lichthupe gemäß StVO nur in bestimmten Verkehrssituatio-

nen zulässig. Dennoch wird sie insbesondere in der geschilderten Situation verwendet. Zwar sind hinsichtlich der Beurteilung, ob die Verwendung der Lichthupe durch den anderen Verkehrsteilnehmer positiv oder negativ interpretiert wird, keine Untersuchungen bekannt, doch kann man davon ausgehen, dass sie kontextabhängig allgemein akzeptiert ist (siehe Kapitel 2.4.3). Man kann sogar darüber hinaus davon ausgehen, dass durch die Rückmeldung des vorgelassenen Fahrzeugs (z. B. Handzeichen des Fahrers oder erneut ein kurzes Aufblenden) zum Dank, die Lichthupe im beschriebenen Kontext sehr positiv wirkt bzw. als Mittel zur Kooperation verstanden wird.

Warum dieses Szenario und weitere bspw. mit anderen Verkehrsteilnehmern wie Radfahrern als kritisch einzuschätzen sind, liegt insbesondere daran, dass die heute verwendeten Kommunikationsmittel im Mischverkehr so nicht mehr anwendbar erscheinen und durch eine missglückte Kommunikation der Verkehrsablauf gestört wird. Auch werden negative Folgen auf das Ansehen automatisierter Fahrzeuge zu erwarten sein, wenn diese nicht in der Lage sind, solche Verkehrssituationen durch Kooperation (auch mit nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern) zu lösen. Für den Zustand des Mischverkehrs ist daher fraglich, wie sich in dieser Verkehrssituation ein automatisiertes Fahrzeug verhalten

soll. Unter der Annahme eines regelkonformen Verhaltens, muss davon ausgegangen werden, dass das automatisierte Fahrzeug die Lichthupe (wenn überhaupt) auch nur in den nach StVO vorgesehenen Situationen anwendet. Gleichzeitig besteht jedoch u. U. der Bedarf des entgegenkommenden Fahrzeugs nach irgendeiner Art der Kommunikation, die ihm die Gewissheit gibt, nicht fälschlicherweise in die Engstelle einzufahren und in einer Deadlock-Situation zu enden. Auch umgekehrt ergibt sich die Fragestellung, ob z. B. das automatisierte Fahrzeug die Nutzung der Lichthupe des entgegenkommenden nicht-automatisierten Fahrzeugs versteht und entsprechend erwartungsgemäß reagiert.

4.3.2 Interaktion zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern auf Parkflächen

Weitere kritische Szenarien, in denen für den künftigen Mischverkehr zusätzliche Kommunikationsmittel hilfreich erscheinen, sind Verkehrssituationen auf öffentlichen oder privaten Parkplätzen oder Parkhäusern, die gemäß StVO nur unter § 1 geregelt sind. Dieser besagt, dass die Teilnahme am Straßenverkehr ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksicht erfordert und sich die Teilnehmer so zu

verhalten haben, dass kein anderer geschädigt, gefährdet oder mehr als nach den Umständen unvermeidbar, behindert oder belästigt wird. Diese allgemeine Grundregel gilt für den gesamten Straßenverkehr, jedoch liegen insbesondere für das Ein- und Ausparken auf großen Parkflächen keine eindeutigen Regelungen hinsichtlich Vorfahrt/Vorrang vor. Heute werden solche Situationen i. d. R. über Handzeichen und Blickkontakt z. B. zwischen einem aktiven Fahrer eines Pkw und einem anderen Verkehrsteilnehmer gelöst.

Zwar erscheinen diese Szenarien aufgrund der geringen Geschwindigkeiten bzw. der Trajektorie in Verbindung mit den lichttechnischen Einrichtungen des Fahrzeugs (z. B. Rückfahrlicht und Fahrtrichtungsanzeiger) weniger kritisch, da das Vorhaben des Fahrzeugs im Kontext einer freien Parklücke für andere Verkehrsteilnehmer eindeutig und verständlich ist (vgl. Bild 4-4), jedoch ist die Vorfahrt bzw. der Vorrang im Sinne von „Wer darf zuerst fahren bzw. gehen?“ nicht eindeutig. Ein menschlicher Fahrer könnte diese Situation für den anderen Verkehrsteilnehmer deutlich angenehmer wirken lassen bzw. diesen von Unsicherheiten befreien, indem der gegenseitige Blickkontakt signalisiert: „Ich habe dich gesehen!“ bzw. ein Handzeichen: „Du kannst gehen!“ für Klarheit sorgt.

Szenarienblatt 32: Parken auf Parkplatz/im Parkhaus		Botschaft des Senders (Pkw): Ich möchte einparken und lasse dich räumen!		Gruppe III – nicht übertragbar			
Vorrang/Vorfahrt:		Sender (Pkw) <input type="checkbox"/>	Empfänger <input type="checkbox"/>	Ungeregelt <input checked="" type="checkbox"/>	Relevanz		
Bedeutung: Das folgende Szenario zeigt Verkehrssituationen innerorts beim Einparken auf einem Parkplatz / im Parkhaus, bei denen zwischen den Verkehrsteilnehmern eine Interaktion stattfindet. Vorfahrt und Vorrang sind gem. StVO nicht vorgeschrieben, sondern es muss nach §1 StVO die gegenseitige Rücksichtnahme sichergestellt werden (mittlere Relevanz bzgl. Verkehrsklima). Diese Situationen kommen insb. im untergeordneten Straßennetz (z. B. Stadtverkehr) häufig vor. Durch mögliche Konflikte mit schwachen Verkehrsteilnehmern ist die Relevanz der Szenarien bzgl. der Verkehrssicherheit als hoch einzuschätzen. Gleiches gilt für den Einfluss auf den Verkehrsablauf aus Sicht des blauen Pkw, welcher in diesen Fällen wartet. Ein (zusätzliches) gestengestütztes Kommunikationsmittel (z. B. Handzeichen) wäre hilfreich, um den Kommunikationspartner selektiv anzusprechen.					Verkehrssicherheit		
					1	2	3
					Verkehrsfluss		
					1	2	3
					Verkehrsklima		
					1	2	3
Ziffer	Lage	Umgebung	Empfänger	Beschreibung	Skizze(n)		
90	IO	Parken auf Parkplatz/im Parkhaus	Fußgänger	Interaktion mit Fußgänger beim Einparken auf Parkplatz/im Parkhaus: vorwärts/rückwärts einparkender Pkw im Parkhaus/Parkplatz mit einem die Parkfläche querenden Fußgänger → keine Vorrang/Vorfahrt- oder Vorfahrtsregel; es gilt §1 StVO; Pkw wartet und lässt Fußgänger räumen			

Bild 4-4: Interaktion zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern auf Parkflächen (exemplarisch)

In einem künftigen Mischverkehr sind solche gestengestützten Kommunikationsmittel durch das Fehlen des aktiven Fahrers eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs nicht mehr existent, was zur Notwendigkeit alternativer Kommunikationskonzepte führen kann. Für die Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und schwachen Verkehrsteilnehmern im Allgemeinen, und Fußgängern im Besonderen, werden seitens der Fahrzeugindustrie bereits verschiedene Möglichkeiten neuer Anzeigekonzepte untersucht, die vor allem die durch den Wegfall gestengestützter Kommunikation entstehende Lücke versuchen zu schließen (z. B. über neue Anzeigekonzepte wie Displays am Fahrzeug). Die Möglichkeiten der Darstellung sind vielfältig und aktueller Gegenstand der technischen Entwicklung. Allerdings sind auch in diesem Bereich noch viele Fragen ungeklärt, u. a. nach den Inhalten der Kommunikation und nach dem, was durch ein automatisiertes Fahrzeug konkret dargestellt werden soll oder muss und welche Vor- und Nachteile sich daraus ergeben können. Eine aus wissenschaftlicher Sicht geführte Diskussion und Auseinandersetzung zu diesen Themen sind Bestandteil der nachfolgenden Kapitel 5 und 6.

4.3.3 Interaktion zwischen Fahrzeugen in Verflechtungsbereichen auf BAB

Auch auf dem übergeordneten Straßennetz kann es zu Situationen kommen, in denen bereits im heutigen Verkehrsgeschehen ein erhöhter Bedarf an Kommunikation vorhanden ist. Dabei zeigt sich der Verkehrsablauf durch die Eigenheiten einer Autobahn (z. B. getrennte Richtungsfahrbahnen, nur motorisierte Verkehrsteilnehmer) deutlich weniger komplex als der innerstädtische Verkehr. Meist begrenzt sich die Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmern auf die für Autobahnen typischen Bewegungsmuster der Fahrzeuge, so z. B. Fahrstreifenwechsel, die in aller Regel über den Fahrtrichtungsanzeiger angezeigt werden aber auch die Fahrzeugtrajektorie, z. B. über das Brems- und Beschleunigungsverhalten bei Aus- bzw. Einfahrt auf die Autobahn. In den allermeisten Fällen sind für den Verkehrsablauf auf Autobahnen auch klare Verkehrsregeln gegeben. Einzig für den Bereich einer Verflechtungsfahrbahn, die als Netzelement an Autobahnkreuzen vorkommt, sind auch für den heutigen Verkehr kritische Szenarien denkbar, da hier keine eindeutige Regelung hinsichtlich der Vorfahrt gegeben ist (vgl. Bild 4-5).

Der Verkehrsablauf auf einer Verflechtungsfahrbahn ist dadurch gekennzeichnet, dass sich der

Szenarienblatt 50: Verflechtungsbereiche auf BAB		Botschaft des Senders (Pkw): Ich verflechte vor bzw. nach dir!		Gruppe III – nicht übertragbar																			
Vorrang/Vorfahrt:		Sender (Pkw) <input type="checkbox"/>	Empfänger <input type="checkbox"/>	Ungeregelt <input checked="" type="checkbox"/>	Relevanz																		
Bedeutung: Die nachfolgende Verkehrssituation zeigt ein Interaktionsszenario zwischen einem ausfahrenden blauen Pkw (Sender) und einem einfahrenden roten Pkw (Empfänger) in Verflechtungsbereichen auf Autobahnen. Diese Verkehrssituationen unterliegen keiner eindeutigen Verkehrsregel nach StVO. Der Fahrstreifenwechsel muss so vollzogen werden, dass keine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer erfolgt. Im dargestellten Szenario ist der Einfluss auf das Verkehrsklima hoch, da der blaue Pkw verzögert, so dass der rote Pkw ungehindert einfahren kann. (hoher Einfluss auf Verkehrsklima durch kooperatives Verhalten der Verkehrsteilnehmer). Bedeutend sind die Situationen hinsichtlich der Verkehrssicherheit, da Konflikte bei hohen Geschwindigkeiten eine hohe Unfallschwere erwarten lassen. Der Verkehrsfluss des blauen Pkw ist eingeschränkt (hohe Relevanz).					<table border="1"> <tr><td colspan="3">Verkehrssicherheit</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td colspan="3">Verkehrsfluss</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td colspan="3">Verkehrsklima</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table>	Verkehrssicherheit			1	2	3	Verkehrsfluss			1	2	3	Verkehrsklima			1	2	3
Verkehrssicherheit																							
1	2	3																					
Verkehrsfluss																							
1	2	3																					
Verkehrsklima																							
1	2	3																					
Ziffer	Lage	Umgebung	Empfänger	Beschreibung	Skizze(n)																		
123	BAB	durchgehende Fahrstreifen auf BAB	Motorisiertes Fahrzeug	Interaktion zwischen ein- und ausfahrenden Verkehrsteilnehmern in Verflechtungsbereichen auf BAB: ein mot. Fahrzeug möchte auf die BAB einfahren und verflechtet mit einem ausfahrenden Pkw im Verflechtungsbereich (z. B. Autobahnkreuz) → keine gesonderte Vorfahrtsregelung; es gilt §7 Abs. 5 StVO; einfahrendes motorisiertes Fahrzeug beschleunigt und verflechtet vor ausfahrendem Pkw																			

Bild 4-5: Interaktion zwischen Fahrzeugen in Verflechtungsbereichen auf BAB (exemplarisch)

einfahrende und der ausfahrende Verkehr einer Autobahn über einen abgegrenzten Bereich miteinander verflechten bzw. den Fahrstreifen wechseln muss, um in der Folge auf die Autobahn auffahren zu können bzw. um diese zu verlassen. Allgemein gilt gemäß StVO § 7 Abs. 5, dass in allen Fällen ein Fahrstreifen nur gewechselt werden darf, wenn eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer ausgeschlossen ist. Jeder Fahrstreifenwechsel ist rechtzeitig und deutlich anzukündigen; dabei sind die Fahrtrichtungsanzeiger (Fahrtrichtungsanzeiger) zu benutzen.

Da sowohl der einfahrende als auch der ausfahrende Verkehr einen Fahrstreifenwechsel auf einer endlichen Länge der Verflechtungsfahrbahn vollziehen muss, kann es vorkommen, dass in einer Situation, in der beide Fahrzeuge auf gleicher Höhe fahren, innerhalb kürzester Zeit „verhandelt“ werden muss, welches der beiden Fahrzeuge vorfährt bzw. welches Fahrzeug verzögert und sich hinter dem anderen Fahrzeug einordnet. Auch im heutigen Verkehr kann es hier zu Missverständnissen kommen, da das andere Fahrzeug nicht oder zu spät wahrgenommen wurde (z. B. „Toter Winkel“), was u. U. in zu einem Zusammenstoß führen kann.

Aus heutiger Sicht sind für diese Situationen die Fahrzeugtrajektorie in der Kombination mit dem Aufleuchten des Fahrtrichtungsanzeigers und in Bezug auf den Kontext des Ein- bzw. Ausfahrwunsches als Kommunikationsmittel eindeutig und verständlich. Doch für den Zustand des Mischverkehrs ergeben sich offene Fragen, wie ein automatisiertes Fahrzeug in einer solchen Situation reagiert bzw. umgekehrt, wie ein nicht-automatisiertes Fahrzeug bzw. dessen Fahrer wiederum auf ein automatisiertes Fahrzeug reagiert. Die Problematik dabei ist, dass für die situative Entscheidung, wer vor wem den Fahrstreifen wechselt nur eine begrenzte Fahrbahnlänge zur Verfügung steht, so dass innerhalb kürzester Zeit eine Kooperation beider Fahrzeuge erfolgen muss. Denkt man eine solche Situation weiter, z. B. dahingehend, dass eines der beiden Fahrzeuge ein Lkw bzw. Sattelzug ist, der allein durch seine Abmessungen den zur Verfügung stehenden Verflechtungsbereich reduziert. Auch dicht aufeinanderfolgende Fahrzeugkolonnen, die kaum ausreichende Fahrzeugabstände für einen (sicheren) Fahrstreifenwechsel zulassen, erscheinen für den Zustand des Mischverkehrs kritisch, wenn keine eindeutige Regelung erfolgt oder keine Lösung z. B. über kooperative Systeme zur

Kommunikation zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen geschaffen werden kann.

4.3.4 Weitere Szenarien mit Handlungsbedarf für den Mischverkehr

Weitere Szenarien, die sich neben der Verkehrssicherheit vor allem nachteilig auf den Verkehrsablauf auswirken können, lassen sich überwiegend in Szenarien der Gruppe II finden. Hier sind bspw. Szenarien zu nennen, die Potenzial für Missverständnisse aufgrund des nur ein Teilen absehbaren Fahrverhaltens eines automatisiert fahrenden Fahrzeuges ergeben und u. U. Handlungsbedarf hinsichtlich neuer Kommunikationskonzepte für den Zustand des Mischverkehrs erfordern.

Szenarien, in denen aus unterschiedlichen Gründen ein automatisiertes Fahrzeug auf seine Vorfahrt verzichtet und durch ein kooperatives Verhalten solange wartet, bis ein anderer Verkehrsteilnehmer die Verkehrssituation durch aktives Handeln auflöst (z. B. anfahren, losgehen), erscheinen aus Perspektive der Verkehrssicherheit weniger kritisch, beeinflussen den Verkehrsablauf jedoch stark. Insbesondere hinsichtlich der zur übermittelnden Botschaft „Ich überlasse dir meinen Vorrang/meine Vorfahrt!“ bietet der erstellte Szenarienkatalog eine Reihe von Szenarien, die eine solche Verkehrssituation zum Inhalt haben.

Auch in Szenarien, die zwar eindeutig durch die StVO geregelt sind, aber von einem nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmer nicht in der „geregelten“ Art und Weise verstanden werden oder bekannt sind, können sich kritische Verkehrssituationen ergeben. Als Beispiel sind hier die Szenarien zu nennen, in denen ein Fußgänger an einer Kreuzung die Fahrbahn queren möchte. Es ist zu vermuten, dass nicht alle Verkehrsteilnehmer, insbesondere Fußgänger die bestehenden Regeln zum Vorrang bzw. der Vorfahrt an einer gleichrangigen oder vorfahrtsgeregelten Kreuzung bzw. Einmündung zwischen dem motorisierten Verkehr und dem nicht-motorisierten Verkehr kennen, und sich dadurch u. U. nicht regelkonform verhalten. Dies lässt sich zudem steigern, wenn an der Kreuzung oder Einmündung eine abknickende Vorfahrt signalisiert ist.

Generell erscheinen gleichrangige Straßen im städtischen Verkehrsnetz erhebliches Potenzial für kritische Szenarien im Mischverkehr zu liefern. Mit den Szenarien in Engstellen wurde bereits eine der sog.

Deadlock-Situationen behandelt. Der gewählte Untersuchungsansatz beschränkt sich jedoch zunächst auf zwei Interaktionspartner, sodass unter Berücksichtigung zusätzlicher Interaktionspartner auch weitere solcher Deadlock-Situation zu erwarten sind. Als Beispiel sei hier eine gleichrangige Kreuzung oder Einmündung genannt, in der gleichzeitig in jeder Zufahrt ein Fahrzeug auf die Vorfahrt des jeweils rechts von ihm stehenden Fahrzeugs wartet. Unter der Annahme (vgl. Kapitel 4.1), dass in einem solchen Fall ein automatisiertes Fahrzeug solange wartet, bis ein anderes (nicht-automatisiertes) Fahrzeug anfährt und sich somit entgegen der gültigen Verkehrsregeln die Vorfahrt „erzwingt“, sind solche Situation letztlich lösbar.

5 Expertenworkshop

5.1 Hintergrund und Ziel des Expertenworkshops

Im Rahmen eines Expertenworkshops am 29.10.2019 bei der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde auf Basis der verschiedenen kritischen Verkehrssituationen eine Diskussion über mögliche neue Kommunikationsmittel angestoßen. Ziel war es, erste Konzepte für neue Strategien und Formen der Kommunikation und Interaktion für einen künftigen Mischverkehr mit automatisierten Fahrzeugen zusammenzutragen.

Der durchgeführte Workshop, der u. a. mit Vertretern aus den Bereichen der Arbeits-, Organisations- und Verkehrspsychologie mit Bezug zum automatisierten Fahren erfolgte, hatte zum Ziel, aus einer wissenschaftlichen Perspektive über die bisher gewonnenen Erkenntnisse des Projektes zu diskutieren. Zudem trugen die Teilnehmer mit ihrer Expertise aus einer Vielzahl thematisch ähnlich gelagerter Forschungsprojekte zur Diskussion über neue Kommunikationsformen und die Notwendigkeit einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge bei.

Dieser Erfahrungsaustausch bildete die Grundlage, um aus einer wissenschaftlichen Betrachtung entsprechende Handlungsempfehlungen für künftige Forschungsfragen und Studienansätze für die Gestaltung und Evaluierung neuer Kommunikationsformen abzuleiten.

5.2 Inhalte und Durchführung des Expertenworkshops

5.2.1 Inhalt des Expertenworkshops

Wesentlicher Inhalt des durchgeführten Expertenworkshops waren Diskussionen über folgende Themenschwerpunkte, verbunden mit dem Ziel, die gesammelten Erkenntnisse für die Fragestellungen des Forschungsprojektes zu nutzen:

1. Ermittlung möglicher neuer Kommunikationsmittel als Folge einer zunehmenden Fahrzeugautomatisierung, wo aufgrund des Mischverkehrs heutige Kommunikationsmittel nicht mehr funktionieren.
2. Erfahrungsaustausch zu Konzepten über neue Strategien und Formen der Kommunikation/Interaktion in einem künftigen Mischverkehr mit automatisierten Fahrzeugen anhand von Beispielen sowie Ableitung von Empfehlungen in Bezug auf den Handlungsbedarf für künftige Forschungsfragen, Studienansätze, Gestaltung und Evaluierung neuer Kommunikationsformen.
3. Diskussion zur Akzeptanz neuer Kommunikationsformen zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern.
4. Diskussion der Notwendigkeit einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge.

5.2.2 Teilnehmerkreis des Expertenworkshops

Als Teilnehmer des Workshops konnten neben drei Fachbetreuern der Bundesanstalt für Straßenwesen sowie einem Mitglied des Betreuerkreises, insgesamt neun weitere Experten aus den Bereichen der Arbeits-, Organisations- und Verkehrspsychologie mit Bezug zum automatisierten Fahren gewonnen werden. Die Fokusgruppe aus dem akademischen Bereich brachte Erfahrungen aus verschiedenen Forschungsprojekten mit Bezug zur Kommunikation mit automatisierten Fahrzeugen sowie zu weiteren Schwerpunktthemen (wie Fahrassistenzsystemen und Automation, Human Factors, Field Operational Test (FOT) bzw. Naturalistic Driving Study (NDS) oder Usability im Automotive-Bereich) in die Diskussion ein.

5.2.3 Ablauf des Expertenworkshops

Als Ausgangsbasis der Diskussion diente ein Inputreferat über die bisher gewonnenen Erkenntnisse

sowie zum methodischen Vorgehen des vorliegenden Forschungsprojektes (vgl. Kapitel 1 bis 4). Neben der Vorstellung des grundsätzlichen Untersuchungsansatzes, diente das Inputreferat dazu, jene Szenarien vorzustellen, bei denen eine Kommunikation/Interaktion aus heutiger Sicht nicht mehr ohne weiteres im Mischverkehr mit automatisierten Fahrzeugen funktioniert (siehe Kapitel 4.3). Ebenso Bestandteil der Einführung war es, die im Verlauf des Workshops zu diskutierenden Tischthemen vorzustellen sowie die Erwartungen an den Workshop von Seite der Teilnehmer und Teilnehmerinnen zu erfahren.

Daran anschließend wurden in drei aufeinanderfolgenden Tischrunden jeweils in Kleingruppen die nachfolgenden Tischthemen diskutiert und in der Folge die Ergebnisse der Tischdiskussionen auf Kärtchen an Pinnwänden präsentiert:

- Tischthema 1: Lösungsansätze für künftige Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge

Im ersten Tischthema wurden bisher bekannte Lösungsansätze für künftige Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge zusammengetragen und im Kontext des vorliegenden Forschungsprojektes bzw. der genannten kritischen Szenarien diskutiert. Inhalt der Diskussion war neben der Interaktion zwischen automatisierten Fahrzeugen und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern auch die Kommunikation automatisierter Fahrzeuge untereinander.

- Tischthema 2: Kriterien zur Qualifizierung von Lösungsansätzen

Das zweite Tischthema befasste sich mit der Frage, welche Kriterien für die Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel denkbar sind und ob es Anhaltspunkte hinsichtlich der Akzeptanz neuer Kommunikationsmittel gibt. Schwerpunkte der Diskussion lagen hier im Bereich der Standardisierung, genereller Qualitätskriterien technischer Systeme aber auch in der Wahrnehmungspsychologie.

- Tischthema 3: Vor- und Nachteile einer generellen Kenntlichmachung

Das dritte Tischthema widmete sich der Frage nach den Vor- und Nachteilen einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge sowie der Ermittlung von Argumenten für bzw. gegen diese. Zudem wurde thematisiert, ab wel-

chem Grad der Automatisierung eine Kenntlichmachung infrage kommt und wie diese gestaltet sein könnte.

Den Abschluss der Veranstaltung bildete eine im Plenum vorgetragene Zusammenfassung hinsichtlich der Erwartungen und Erkenntnisse aus den Diskussionen in den Tischrunden. Die wesentlichen Erkenntnisse des Expertenworkshops und insbesondere der besprochenen Tischthemen fasst Kapitel 5.3 zusammen.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse des Expertenworkshops

5.3.1 Lösungsansätze für künftige Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge

Zentraler Diskussionsbestandteil waren insbesondere neue Kommunikationsformen des automatisierten Fahrzeugs, um mit seiner Umwelt bzw. mit einem bestimmten anderen Verkehrsteilnehmer zu interagieren. Dabei wurden verschiedene Ansätze genannt wie ein automatisiertes Fahrzeug bspw. über neuartige Schall- und Leuchtzeichen sein Vorhaben signalisieren bzw. einen anderen Verkehrsteilnehmer zu einer Handlung auffordern kann. Einen Überblick über mögliche fahrzeugseitig optische und akustische Systeme gibt Kapitel 6. Die bisherigen Erkenntnisse des Projekts haben gezeigt, dass bei der überwiegenden Mehrheit der analysierten Verkehrsszenarien die Auflösung der Situation durch die bestehenden Verkehrsregeln der StVO sowie die vorhandenen Kommunikationsmittel heutiger Fahrzeuge möglich ist. Für die in einem Mischverkehr als kritisch eingeschätzten Szenarien (vgl. Kapitel 4.3) gäbe es aus Sicht der Experten eine Reihe möglicher Kommunikationsformen, die zur Lösung dieser Verkehrssituation beitragen könnten.

Kooperative Systeme und Vernetzung der Fahrzeuge

In der Diskussion hat sich gezeigt, dass die Wahl der Kommunikationsform unmittelbar mit dem betreffenden Kommunikationspartner zusammenhängt. Müssen z. B. motorisierte Fahrzeuge in einem Verkehrsszenario miteinander interagieren, besteht die Möglichkeit bzw. sogar die Erfordernis, über andere Methoden zu kommunizieren, als es in einem gleichen oder anderen Szenario mit einem nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer (Rad- und Fußverkehr) notwendig wäre. Für die Kommunika-

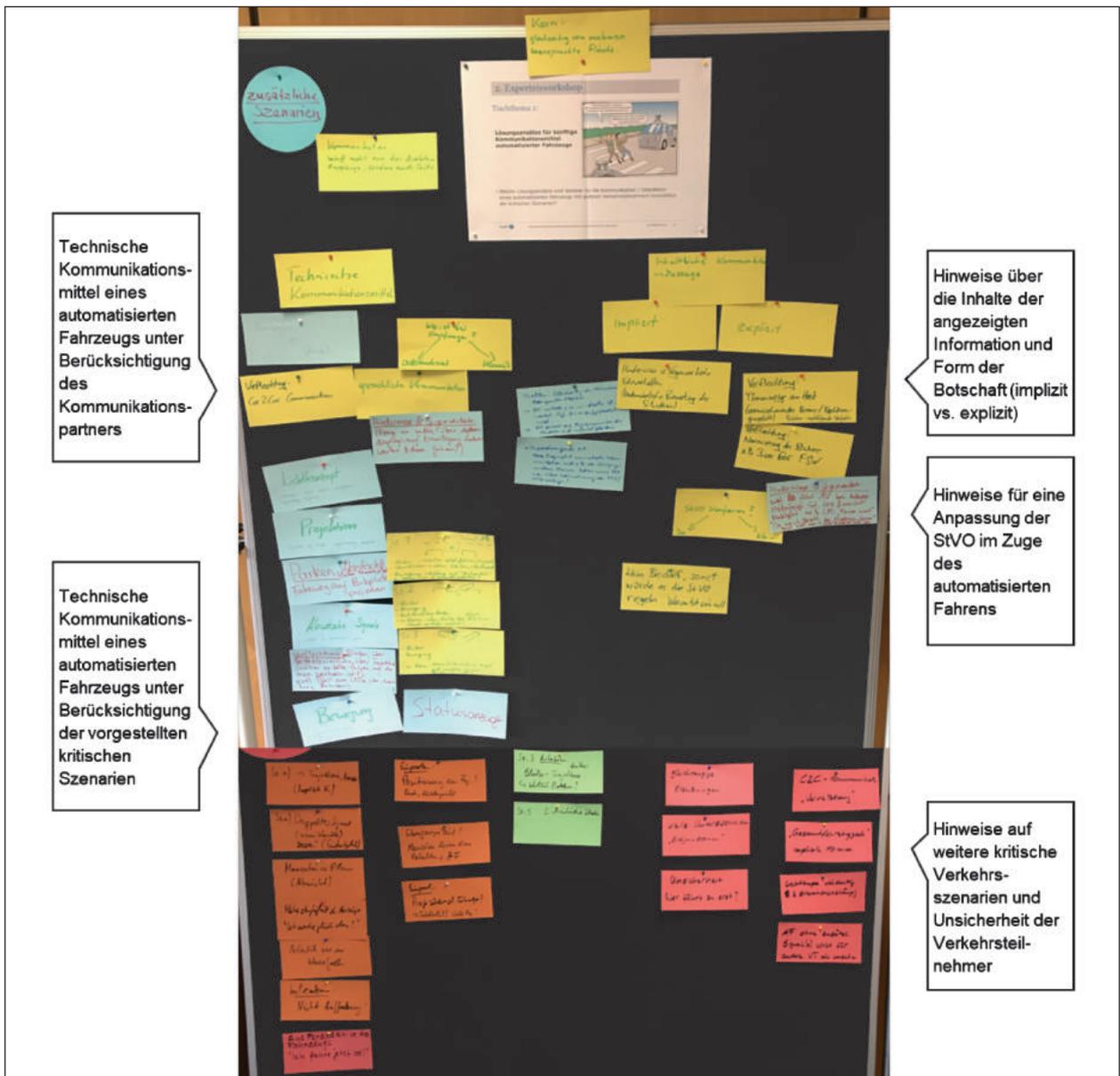


Bild 5-1: Tischthema 1 – Lösungsansätze für künftige Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge

tion der motorisierten Fahrzeuge untereinander, ob nichtautomatisiert, teil- oder vollautomatisiert, werden von den Experten große Potenziale darin gesehen, die erforderlichen Informationen jedeswedes Verkehrsszenarios über die Vernetzung der Fahrzeuge auszutauschen. Die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander sowie mit Verkehrsinfrastrukturen sind ohnehin wichtige Voraussetzung für das automatisierte Fahren.

Kommunikation mit Rad- und Fußverkehr über neue HMI-Systeme

Anders verhält es sich aus heutiger Sicht für die Interaktion zwischen einem automatisierten Fahrzeug

mit Fußgängern und Radfahrern, welche nicht über eine „Vernetzung“ zum Fahrzeug verfügen. Eine Vielzahl an Forschungsinitiativen und Lösungskonzepten liegen bereits vor, welche sich mit neuartigen fahrzeugseitigen Kommunikationsmitteln wie LED-Anzeigen, Leuchtzeichen, Warntöne und/oder Projektionen, beschäftigen. Der einheitliche Ansatz ist, dass durch die Kenntnis der Handlungsabsicht des automatisierten Fahrzeugs bei Interaktion mit diesem mehr Vertrauen und Akzeptanz seitens der nichtautomatisierten bzw. nicht vernetzten Verkehrsteilnehmer geschaffen werden soll. Fraglich ist jedoch, ob sich durch diese neuartigen fahrzeugseitigen Kommunikationsmittel ein erhoffter Beitrag für mehr Sicherheit respektive weniger Unsicherheit im

Verkehr (bzw. im Mischverkehr) in Gänze erzielen lässt.

Kern des Problems ist die seitens der Verkehrsteilnehmer fehlende Erfahrung im Umgang mit automatisierten Fahrzeugen. Aus aktueller Perspektive führt dies insbesondere in den Szenarien zu Unsicherheit, die eine Beanspruchung der gleichen Verkehrsfläche durch automatisierte und nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmer (z. B. beim Queren der Fahrbahn) zum Inhalt haben. Es wird seitens der Experten erwartet, dass mit der Entwicklung und der zunehmenden Einführung automatisierter Fahrfunktionen im Verkehr auch die Erfahrung der nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmer beim Umgang mit diesen Fahrzeugen wachsen wird. Für diese Übergangszeit, aber vor allem für ein Zukunftsszenario mit mehrheitlich automatisiert verkehrenden Fahrzeugen, sollten aus Sicht der Experten zusätzliche neuartige Schall- und Leuchtzeichen der Fahrzeuge nur in geringen Umfang angewandt werden.

Dort wo heute über die bestehenden lichttechnischen Einrichtungen eines Fahrzeugs wie dem Aufleuchten des Fahrtrichtungsanzeigers oder des Bremslichtes für andere Verkehrsteilnehmer keine eindeutige Verhaltensweise des Fahrzeugs abzuleiten ist, kommen implizite Kommunikationsmittel wie z. B. das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten des Fahrzeugs zum Tragen. Die Trajektorie lässt trotz der in den meisten Fällen klar definierten und allgemein gültigen Straßenverkehrsregeln Missverständnisse und Fehlinterpretationen zu. Dies kann zu einer erhöhten Unsicherheit bei anderen Verkehrsteilnehmern führen, die dadurch ggf. länger abwarten als erforderlich oder sogar auf ihren Vorrang bzw. ihre Vorfahrt verzichten, um sicherheitshalber einen Konflikt zu vermeiden. Neuartige Schall- und Leuchtzeichen könnten hier Abhilfe schaffen und für Klarheit hinsichtlich der beabsichtigten Handlungen sorgen.

Entwicklung und Implementierung neuer fahrzeugseitiger Kommunikationsmittel

Es ist erkennbar, dass vor allem die Fahrzeugindustrie die Entwicklung solcher neuen HMI-Systeme vorantreibt. Nur ist heute noch nicht klar, welche Form der Kommunikation dem Zweck der Reduzierung von Unsicherheit vorrangig dienen wird. Fraglich ist beispielsweise, ob ein solches System eine konkrete Handlungsaufforderung ausgeben soll oder ausschließlich den Status zum Fahrverhalten des Fahrzeugs signalisiert. Die Meinungen der Teil-

nehmer und Teilnehmerinnen waren hier nicht vollkommen eindeutig, die Experten sehen aber Vorzüge bei einer Statusanzeige, da somit die Handlungsverantwortung (und das Gebot zu vorsichtigem, kooperativem Handeln im Straßenverkehr) weiterhin bei beiden Kommunikationspartnern liegt. Allerdings bestehen für eine Statusanzeige weitere offene Fragen zur Ausgestaltung bzw. zu den Inhalten des angezeigten Fahrzustandes. Fraglich ist zum Beispiel, ob die Anzeige ausschließlich kennzeichnet, dass sich das Fahrzeug in einem automatisierten Fahrzustand befindet und keine weitere Information ausgibt, oder aber, ob konkrete Fahrmanöver des aktuellen Fahrverhaltens (z. B. „Ich fahre!“) oder zum geplanten Fahrverhalten (z. B. Ich werde anhalten!“) kommuniziert werden sollen.

In der Diskussion im Plenum konnten hierfür und hinsichtlich der Weiterentwicklung solcher Systeme keine konkreten Aussagen getroffen werden. Jedoch sind sich die Teilnehmer und Teilnehmerinnen insofern einig, dass neue Leuchtzeichen künftiger Fahrzeuge nur dann in Betracht gezogen werden sollten, wenn diese für eine Vielzahl von Verkehrsszenarien angewandt werden können (Übertragbarkeit) und vor allem herstellerübergreifend einheitlich und vom Fahrzeugtyp unabhängig gestaltet sind (Einheitlichkeit). Ein Wettbewerb der Fahrzeugindustrie hinsichtlich der neuesten Leuchtzeichen und des modernsten HMI-Systems kann nicht das Ziel der Entwicklung sein, wenn man im künftigen Mischverkehr ein ungeordnetes und unregelmäßiges Leuchten und Blinken der Fahrzeuge vermeiden möchte. Eine sich daraus ergebende Flut an optischen und akustischen Reizen, die von den Fahrzeugen an nicht automatisierte Verkehrsteilnehmer ausgesendet wird, birgt das Risiko von Fehlinterpretationen und Missverständnissen. Zudem könnten sich ausgesandte Informationen der Fahrzeuge überlagern oder gegensätzlich Hinweise ausgeben. Aus Sicht der Verkehrssicherheit ist das keine erstrebenswerte Zukunftsvision, was eine Harmonisierung neuer fahrzeugseitiger Kommunikationsmittel erfordert.

Novellierung der Straßenverkehrsordnung im Zuge des automatisierten Fahrens

Neben dieser im Workshop angesprochenen Regulierung bei der Implementierung neuartiger fahrzeugseitiger Kommunikationsmittel wurde auch auf die Möglichkeit einer Novellierung der Straßenverkehrsordnung im Zuge des automatisierten Fahrens hingewiesen. Der heutige Straßenverkehr ist

in vielerlei Hinsicht durch Gebote und Verbote sowie durch Vorrang und Vorfahrtsregeln organisiert. Zudem befinden sich die verschiedenen Verkehrsteilnehmer in ständiger Kommunikation miteinander. Dadurch lassen sich Situationen, in denen z. B. eine Vorfahrt nicht eindeutig definiert ist oder wo aus Gründen des Verkehrsablaufes eine bestehende Vorfahrtsregelung neu verhandelt werden muss, über verschiedene Interaktionsstrategien lösen. Da offensichtlich nur ein geringer Teil der analysierten Verkehrsszenarien einer nicht eindeutigen Verkehrsregelung unterliegen, sollte insbesondere im Zuge der Einführung automatisierter Fahrzeuge eine entsprechende Konkretisierung der StVO in Betracht gezogen werden. Dies insbesondere dann, wenn davon auszugehen ist, dass automatisierte Fahrzeuge sich grundsätzlich konform zur StVO verhalten werden.

5.3.2 Kriterien zur Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge

Das Tischthema 2 befasste sich mit der Frage, welche Kriterien für die Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel denkbar sind und ob es Anhaltspunkte hinsichtlich der Akzeptanz neuer Kommunikationsmittel gibt.

Allgemeingültige Qualitätskriterien für technische Systeme

In den Tischrunden zu diesem Thema wurden durch die Experten einige allgemeingültige Qualitätskrite-

rien für technische Systeme genannt und im Bezug zum Forschungsinhalt diskutiert. Generell gilt, sofern es sich bei einem neuen Kommunikationsmittel um ein technisches System handelt, dass die allgemeingültigen Qualitätskriterien dem Standard ISO-25010/9126 entsprechen sollten. Dieser bietet eine Klassifikation qualitativer Merkmale, die als Orientierungshilfe dienen. Eine Auswahl im Zusammenhang mit neuartigen technologiegestützten Kommunikationsmitteln automatisierter Fahrzeuge zeigt Tabelle 5-1.

Internationale Standardisierung und Normen

Die in Tabelle 5-1 aufgelisteten Qualitätskriterien beziehen sich zunächst nur auf ein technisches System. Oftmals lassen sich für diese nicht alle Qualitätsanforderungen gleichermaßen erfüllen. Vielmehr konkurrieren sie miteinander, sodass Hersteller und Entwickler solcher Systeme in einen Abwägungsprozess treten müssen, um einzelne Qualitätsanforderungen gegeneinander zu priorisieren. Da es sich bei einem neuartigen Kommunikationsmittel um ein technisches System handeln kann, welches die Interaktion zwischen einem Menschen und einer Maschine ermöglichen soll, müssen weitere Kriterien berücksichtigt werden. Seitens der Experten besteht Konsens, dass neue Kommunikationsmittel einer internationalen Standardisierung unterliegen müssen, beispielweise dann, wenn ein automatisiertes Fahrzeug mit einem Dialog-Display als künftigen Kommunikationsmittel ausgestattet werden soll. Für eine solche Mensch-Maschine-Interaktion sind die Grundsätze der Dialoggestaltung nach DIN EN ISO 9241-110 zu berücksichtigen. Die

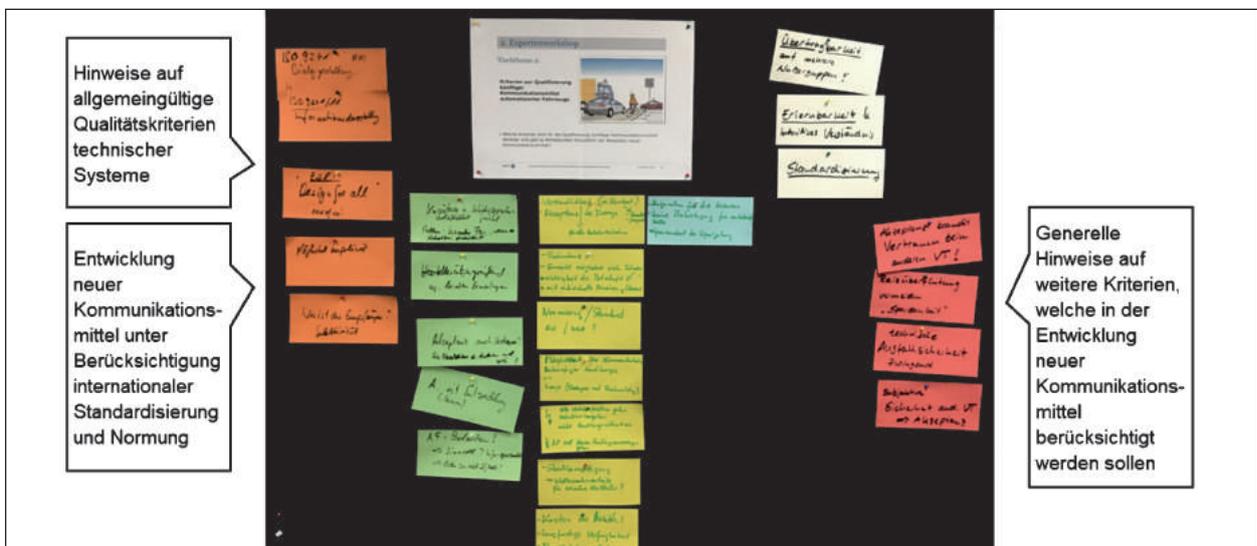


Bild 5-2: Tischthema 2 – Kriterien zur Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge

Kriterium	Beschreibung im Zusammenhang der Kommunikation im Mischverkehr
Usability	Bei der Usability handelt es sich um ein allgemeingültiges Qualitätskriterium technischer Systeme und umfasst u. a. weitere Unterkriterien wie die Bedienbarkeit, Erlernbarkeit, Verständlichkeit oder die Barrierefreiheit (Übertragbarkeit). Alle diese Kriterien sind relevant für ein künftiges Kommunikationsmittel, sofern es sich um ein technisches System handelt. Insbesondere die Erlernbarkeit im Umgang mit dem System sowie die Verständlichkeit der Signale müssen intuitiv und einfach erfolgen.
Sicherheit	Die Sicherheit ist ebenfalls ein allgemeingültiges Qualitätskriterium technischer Systeme und umfasst u. a. weitere Unterkriterien wie die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit. Diese sog. Schutzziele der Informationssicherheit sind im Hinblick auf ein künftiges technisches System als Kommunikationsmittel im Mischverkehr elementar, um Eingriffe von außen durch Manipulation zu verhindern.
Portierbarkeit	Ein weiteres allgemeingültiges Qualitätskriterium technischer Systeme ist die Portierbarkeit. Diese umfasst u. a. die Anpassbarkeit, Installierbarkeit, Konformität und Austauschbarkeit eines technischen Systems. Im Zusammenhang mit einem technischen System als künftiges Kommunikationsmittel, sind diese Kriterien maßgebend für die Übertragbarkeit auf alle Fahrzeughersteller und Unabhängigkeit vom Fahrzeugtyp.
Zuverlässigkeit	Eines der wichtigsten allgemeingültigen Qualitätskriterien technischer Systeme ist die Zuverlässigkeit. Diese beinhaltet u. a. die Ausgereiftheit, die Verfügbarkeit und die Wiederherstellbarkeit eines technischen Systems. Ein Passagier eines automatisierten Fahrzeuges muss sich darauf verlassen können, dass das technische System als künftiges Kommunikationsmittel seines Fahrzeuges einwandfrei funktioniert. Zudem muss es Robust gegen Ausfall sein.

Tab. 5-1: Auswahl von allgemeingültigen Qualitätskriterien technischer Systeme nach ISO-25010/9126

in dieser Norm formulierten sieben Grundsätze können neben den allgemeingültigen Qualitätskriterien für technische Systeme als weitere Grundlage zur Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge herangezogen werden.

Weitere Hinweise für Qualitätskriterien neuer fahrzeugseitiger Kommunikationsmittel

Weitere generelle Kriterien zur Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel und -formen automatisierter Fahrzeuge wurden zum Teil bereits im ersten Tischthema angesprochen. Hier sind insbesondere die Einheitlichkeit des Kommunikationsmittels über alle Fahrzeughersteller, die Unabhängigkeit vom Fahrzeugtyp sowie die Übertragbarkeit der Anwendung in verschiedenen Verkehrsszenarien zu nennen. Insbesondere im Hinblick auf die Akzeptanz neuer Kommunikationsmittel, wurden durch die Experten zu den bereits in Kapitel 2.4 genannten Bewertungskriterien ergänzende Hinweise gegeben.

- Ein neuartiges Kommunikationsmittel am Fahrzeug, welches auf optischen Systemen bzw. Leuchtzeichen basiert, sollte sich hinsichtlich der Farbgebung an bestehenden Farben im Verkehr orientieren. So zum Beispiel die Farbe Rot bei einer Warnung oder Gefährdung.
- Im Falle einer LED-Anzeige mit textueller Darstellung einer Information, sollte der entsprechende Informationsgehalt durch andere Verkehrsteilnehmer schnell erfasst und widerspruchsfrei verstanden werden können.
- Implizite Botschaften sind zu bevorzugen. Auf das Kommunizieren von (expliziten) Handlungsaufforderungen sollte verzichtet werden, da diese durch beteiligte Dritte missverstanden werden könnten.
- Generell muss bei der Entwicklung neuer Kommunikationsmittel berücksichtigt werden, dass jedwede Kommunikation eines Fahrzeuges, ob gerichtet oder ungerichtet, einen Einfluss auf andere, an der Verkehrssituation unbeteiligte Verkehrsteilnehmer haben kann. Die durch eine gerichtete Kommunikationsform (z. B. Dialog-Display) erwünschte Reduzierung der Unsicherheit des „angesprochenen“ Verkehrsteilnehmers, kann zu Widersprüchen und erhöhter Unsicherheit beteiligter Dritter führen.
- Zudem muss in Betracht gezogen werden, dass bei wachsenden Anteilen automatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr, neue Schall- und Leuchtzeichen zu einem Mehr an Reizen und Informationen für andere Verkehrsteilnehmer führen, welchen es wiederum schwerfallen wird, die entsprechend für sie relevanten Informationen zu selektieren, zu verarbeiten und entsprechend zu handeln.
- Neue technologiegestützte Kommunikationsmittel sollten als Ergänzung zu den bestehenden licht- und schalltechnischen Einrichtungen eines Fahrzeuges verstanden werden und keinesfalls im Widerspruch zu diesen stehen.

- Des Weiteren müssen neue Kommunikationsmittel bzw. Kommunikationsformen auch für mehrere Nutzergruppen leicht erlernbar, verständlich und einfach gestaltet sein. Hier sind vor allem Kindern und Ältere, aber auch Personengruppen mit körperlichen Einschränkungen zu berücksichtigen.
- Offen ist, ob in einem Zukunftsszenario ein automatisiertes Fahrzeug mit seinen Kommunikationseinrichtungen so lernfähig sein wird, dass es sich neuen Gegebenheiten anpassen kann und auf wiederkehrende Verkehrssituationen ähnlich einem menschlichen Fahrer reagieren wird.

Insgesamt bestand Konsens bei den Beteiligten hinsichtlich der in der Diskussion geführten Argumentationen zu den Vor- und Nachteilen einer generellen Kenntlichmachung. Zudem ist man sich weitestgehend darüber einig, dass eine generelle Kenntlichmachung bis Level 2 nicht erforderlich ist. Dissens bestand jedoch bei der Frage, ob diese bereits ab Level 3 notwendig ist, bei dem nur für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen die Quer- und die Längsführung durch das Fahrzeug übernommen wird.

5.3.3 Vor- und Nachteile einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge

Das dritte Tischthema widmete sich der Frage nach den Vor- und Nachteilen einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge sowie um Argumente dafür bzw. dagegen zu ermitteln. Zudem wurde thematisiert, ab welchem Grad der Automatisierung eine generelle Kenntlichmachung infrage kommen würde und wie diese gestaltet sein könnte.

Argumente für eine generelle Kenntlichmachung

Der wesentliche Vorteil einer generellen Kenntlichmachung liegt in der durch die Experten erwarteten höheren Akzeptanz automatisierter Fahrzeuge und dem gesteigerten Verständnis anderer Verkehrsteilnehmer. Es wird erwartet, dass eine generelle Kenntlichmachung insbesondere für andere Verkehrsteilnehmer von Vorteil ist. Mit dem Wissen, dass das Fahrzeug in einem automatisierten Zustand befindet, können andere Verkehrsteilnehmer sich besser darauf einstellen, ihre Handlungen entsprechend anpassen und durch die gemachten Erfahrungen vor allem den Umgang mit diesen Fahr-

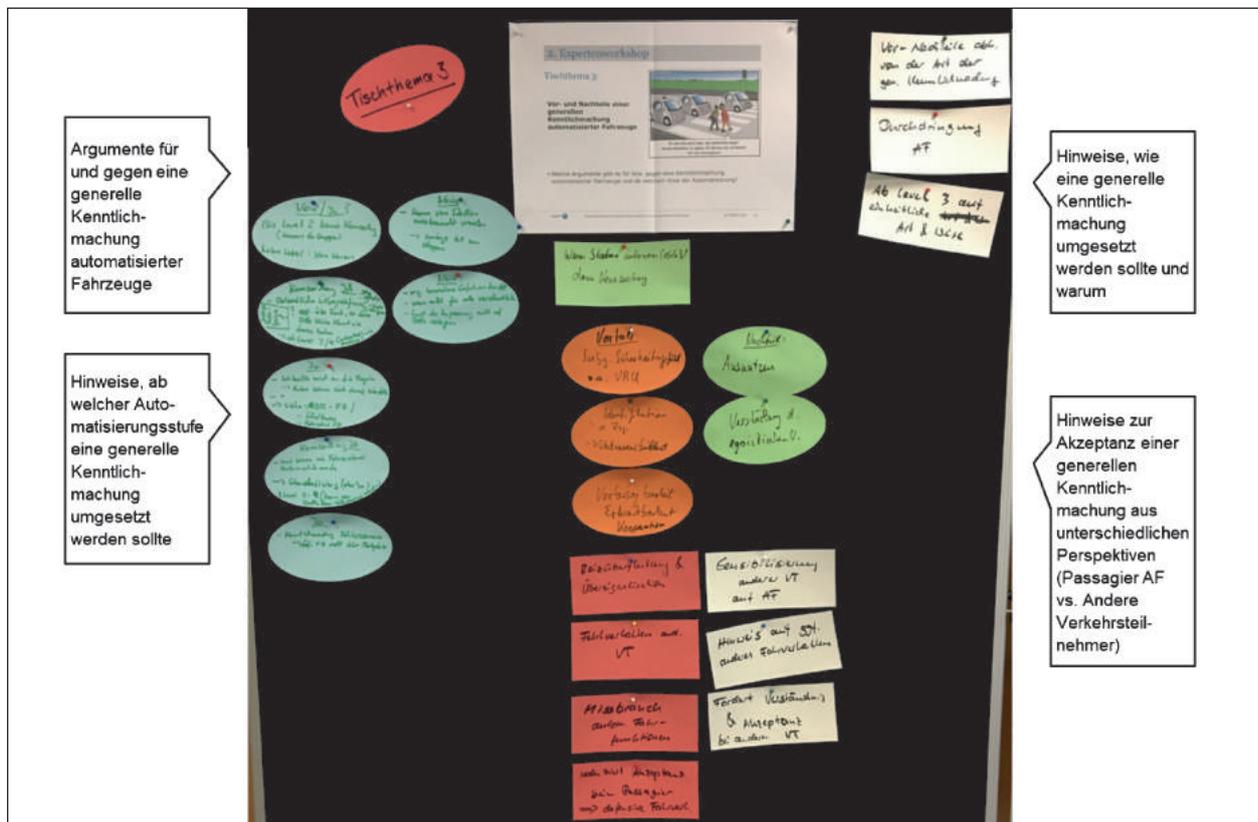


Bild 5-3: Tischthema 3 – Vor- und Nachteile einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge

zeugen schneller erlernen. Andere Verkehrsteilnehmer wissen somit, ob sich ein Fahrzeug automatisiert bewegt und sind insofern sensibilisiert, dass das Fahrverhalten gegenüber einem nichtautomatisiert fahrenden Fahrzeug abweichen könnte. Diese verbesserte Vorhersehbarkeit könnte sich ferner positiv auf das subjektive Sicherheitsempfinden aller Verkehrsteilnehmer auswirken.

Ein weiteres Argument wurde bereits im Zusammenhang mit der Einführung einer Kenntlichmachung genannt. Für den Fall einer automatisierten Fahrt (ab Level 3), bei der der Fahrzeugführer während dieser Fahrt fahrfremde Tätigkeiten ausübt, ist die vorherige Kenntnis aus Sicht der Verkehrsbehörden möglicherweise sogar erforderlich, sodass sich eine Fahrzeugkontrolle wegen der vom Passagier durchgeführten fahrfremden Tätigkeiten erübrigt (z. B. Benutzung des Mobiltelefons). Auch die Kenntnis, ob sich ein Fahrzeug im automatisierten Zustand befand oder nicht, kann beispielsweise eine Rolle bei der Aufnahme eines Unfalls helfen bzw. auch bei Schuld- und Haftungsfragen einbezogen werden, oder bei der Weiterentwicklung automatisierter Fahrfunktionen helfen.

Bereits im ersten Tischthema wurde darauf hingewiesen, dass neue Leuchtzeichen künftiger Fahrzeuge (z. B. Dialog-Displays), welche ebenfalls für eine generelle Kenntlichmachung infrage kommen können, nur dann in Betracht gezogen werden sollten, wenn diese für eine Vielzahl von Verkehrsszenarien anwendbar (Übertragbarkeit), herstellerübergreifend einheitlich und vom Fahrzeugtyp unabhängig gestaltet sind (Einheitlichkeit).

Die Vor- oder Nachteile der Kenntlichmachung hängen insofern auch mit der Art der Umsetzung dieser Kenntlichmachung zusammen. Vorteile werden gesehen, wenn eine allgemeine Kennzeichnung auf einfache Art und Weise erfolgt. Dies kann z. B. die Lackierung der Fahrzeuge, ergänzende Hinweisschilder oder auch eine Status-Leuchte am Fahrzeug sein. Diese einfachen Lösungen erfüllen die oben genannten Kriterien für neue Kommunikationsmittel und stellen gleichzeitig ein gewisses Maß an Informationen für andere Verkehrsteilnehmer bereit.

Argumente gegen eine generelle Kenntlichmachung

In diesem Abschnitt werden Argumente dargestellt, die beim Workshop von den Experten genannt wor-

den sind und die gegen die Kenntlichmachung sprechen. Eine zusammenfassende Diskussion der Argumente erfolgt in Kapitel 6. Aus Sicht der Experten besteht der Hauptnachteil einer generellen Kenntlichmachung in möglichen unerwünschten Verhaltensweisen anderer Verkehrsteilnehmer. Es wird davon ausgegangen, dass sich andere Verkehrsteilnehmer das Wissen um ein automatisiert fahrendes Fahrzeug zum Nutzen machen und sich bewusst über geltende Verkehrsregeln hinwegsetzen. Nach Auskunft der Teilnehmer und Teilnehmerinnen kann eine generelle Kennzeichnung automatisierter Fahrzeuge andere Verkehrsteilnehmer dazu verleiten, sich rücksichtsloser und egoistischer im Verkehr zu verhalten. Dies unter der Annahme, dass im Zweifel die technischen Systeme automatisierter Fahrzeuge schneller und besser eingreifen und eine Kollision vermeiden, als ein menschlicher Fahrer je könnte. Dies kann z. B. das Betreten der Fahrbahn durch einen Fußgänger sein, der sich auf die automatische (Not-)Bremsung des automatisierten Fahrzeuges verlässt, oder aber die durch einen Fahrzeugführer erzwungene Vorfahrt an einer gleichrangigen Kreuzung, um schneller voran zu kommen. Dieser von den Experten erwarteter Missbrauch stellt einen wesentlichen Nachteil dar, der durch eine generelle Kenntlichmachung begünstigt wird.

Ein weiterer Nachteil ergibt sich aus Sicht der Passagiere automatisierter Fahrzeuge. Unter den oben genannten Voraussetzungen und Annahmen zum automatisierten Fahren, muss davon ausgegangen werden, dass sich ein solches Fahrzeug defensiv und kooperativ im Verkehrsgeschehen bewegen wird. Dies lässt vergleichsweise geringe Fahrgeschwindigkeiten erwarten, längere Wartezeiten an Kreuzungen und Einmündungen, da nur ausreichend große Zeitlücken zur Einfahrt genutzt werden. Auch mit abrupten Bremsmanövern muss gerechnet werden, da sich ein anderer Verkehrsteilnehmer die Funktionen des automatisierten Fahrzeuges zu Nutze macht oder innerhalb eines minimalen Sicherheitsabstandes den Fahrstreifen wechselt. Ein harmonischer und komfortabler Fahrverlauf könnte in Verbindung mit einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge vor allem im innerstädtischen Verkehr problematisch sein und zu Nachteilen sowie Einschränkungen hinsichtlich der Akzeptanz (aus Sicht der Passagiere) führen.

Wie bereits erwähnt, sind die Vor- und Nachteile abhängig von der Umsetzung der allgemeinen Kenn-

zeichnung aber auch von der Durchdringung automatisierter Fahrzeuge im Mischverkehr. Aus Sicht der Experten könnten sich Nachteile ergeben, wenn die generelle Kenntlichmachung in Form von zusätzlichen lichttechnischen Einrichtungen am Fahrzeug umgesetzt wird. In diesem Fall kann es passieren, dass zusätzliche Leuchten unterschiedlicher Farbgebung am Fahrzeug (automatisierter Fahrzustand vs. nichtautomatisierter Fahrzustand) zu weiteren optischen Reizen für andere Verkehrsteilnehmer führen. Offen blieb jedoch, welchen Einfluss zusätzliche Fahrzeugleuchten auf die Wahrnehmung anderer Verkehrsteilnehmer ausüben würden.

Einführung einer generellen Kenntlichmachung

Bis zum Level 2 der Automatisierung besteht seitens der Teilnehmer und Teilnehmerinnen Konsens, dass Fahrzeuge nicht gekennzeichnet werden sollten.

Ab einer Automatisierungsstufe nach SAE Level 3 (Bedienungsautomatisierung) übernimmt das Fahrzeug für einen gewissen Zeitraum oder in spezifischen Situationen die Quer- und die Längsführung. Eine dauerhafte Überwachung durch den Fahrzeugführer ist nicht notwendig. Er muss jedoch in der Lage sein, auf Anforderung des Fahrzeugs nach einer ausreichenden Reaktionszeit die Kontrolle wieder zu übernehmen. Mit Erreichen dieser Automatisierungsstufe sollte eine Kenntlichmachung in Betracht gezogen werden, die zumindest den Status des Fahrmodus des Fahrzeuges signalisiert. Insbesondere wäre eine optische Kenntlichmachung von Vorteil, um Fahrzeugkontrollen (wegen Ausführung einer fahrfremden Tätigkeit wie bspw. der Nutzung des Mobiltelefons) zu vermeiden. Die oben genannte Information zum Fahrzustand für verkehrsbehördliche Zwecke muss nicht zwingend über eine optische Kennzeichnung erfolgen. Bereits heute bestehen verschiedene technische Möglichkeiten, um über Kurzstreckenkommunikation auf die Daten zum Fahrzustand eines automatisierten Fahrzeuges zu zugreifen. Auch im Fall eines Verkehrsunfalls wird erwartet, dass Daten zum letzten Fahrzustand im Fahrzeuggerät gespeichert sind und somit für die Analyse des Unfallhergangs nutzbar gemacht werden können.

Falls die Entwicklung dazu führt, dass eine generelle Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge erfolgen soll, so ist diese aus Sicht der Experten ab

Level 4 (Hochautomatisierung) umzusetzen. Ab der Stufe der Hochautomatisierung bewältigt das Fahrzeug in definierten Anwendungsfällen, wie beispielsweise dem Fahren auf Autobahnen, alle Situationen vollständig automatisch. D. h., die automatische Ausführung sämtlicher Aspekte der dynamischen Fahraufgabe werden durch das automatisierte Fahrsystem bewältigt, selbst wenn der menschliche Fahrer auf Anfrage des Systems nicht angemessen reagiert. Anders als in Level 3 wird mit der Hochautomatisierung nicht mehr die Erwartung verknüpft, dass ein menschlicher Fahrer auf Anfrage des Systems angemessen reagiert. Die Fahraufgabe wird somit deutlich umfangreicher und in definierten Anwendungsfällen nahezu vollständig durch das System übernommen. Insofern wäre ab Level 4 eine generelle Kenntlichmachung hilfreich, um andere Verkehrsteilnehmer auf ein ggf. geändertes Fahrverhalten zu sensibilisieren (z. B. das automatische Einnehmen eines risikominimalen Zustands, sofern der menschliche Fahrer auf Anforderung des Systems nicht mehr angemessen reagiert).

Mögliche Formen einer generellen Kenntlichmachung

Wie zuvor benannt, bieten einfache Lösungen einer generellen Kenntlichmachung Vorteile, da diese die genannten Kriterien der Kommunikationsmittel, wie Einheitlichkeit, Übertragbarkeit, Verständlichkeit und Erlernbarkeit erfüllen und gleichzeitig ein gewisses Maß an Informationen für andere Verkehrsteilnehmer bereitstellen. Neuartige Leuchtzeichen sind aus Sicht der Teilnehmer und Teilnehmerinnen nicht zwingend, um ein automatisiertes Fahrzeug als solches zu kennzeichnen. Somit können weitere optische Reize durch neuartige Leuchtzeichen am Fahrzeug vermieden werden.

Es besteht allgemeiner Konsens, dass die generelle Kennzeichnung bestimmter Fahrzeuge im Straßenverkehr keine Neuerung ist. Seit Jahren sind Taxis anhand ihrer Lackierung, Beschriftung und ihres Hinweisschildes als solche erkennbar. Zudem sind sie durch Lichtzeichen gekennzeichnet, ob sie frei oder bereits besetzt sind. Auch Fahrschulen verkehren mit entsprechenden Aufschriften und Hinweisen auf dem Fahrzeug, um andere Verkehrsteilnehmer auf ein defensiveres und unter Umständen fehlerbehaftetes Fahrverhalten zu sensibilisieren. Ein weiteres Beispiel sind Flottenfahrzeuge von Mobilitätsdienstleistern, die vor allem aus Gründen

des Corporate Designs und Marketings für Aufmerksamkeit sorgen. Diese und weitere Beispiele zeigen, dass die generelle Kenntlichmachung von Fahrzeugen bereits heute praktiziert wird und, sofern es sich um eine entsprechend einfache Lösung handelt, aus Sicht der Experten bei einer Einführung für automatisierte Fahrzeuge kaum zu negativen Auswirkungen führen sollte. Vielmehr wird erwartet, dass die Akzeptanz und das Erlernen des Umgangs und somit das Vertrauen in die automatisierten Fahrzeugfunktionen durch eine entsprechende Kennzeichnung der Fahrzeuge gesteigert werden kann.

6 Künftige Kommunikationskonzepte

Ausgehend von der Annahme, dass die bisher zwischen verschiedenen menschlichen Akteuren stattfindende Kommunikation vom automatisierten Fahrzeug so nicht geleistet werden kann, ergibt sich zwangsläufig die Frage nach alternativen Konzepten, um notwendige oder hilfreiche Informationen zu vermitteln. Dabei stellt sich allerdings nicht nur die Frage nach der Darstellung der Informationen. Vielmehr ist zunächst zu klären, welche Informationen überhaupt sinnvollerweise dargestellt werden sollen (und können), bevor ein geeignetes Darstellungsformat für die betreffende Information zu wählen ist. Letztlich sind auch an die Kommunikation durch automatisierte Fahrzeuge ähnliche Bewertungskriterien anzulegen, wie im vorliegenden Projekt für die momentan vorherrschende Kommunikation im nicht-automatisierten Fahrzeug, etwa inwieweit die Kommunikation erkennbar, eindeutig und verständlich ist, oder ob das (richtige) Verständnis der übermittelten Nachricht eine Relevanz für Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss oder Verkehrsklima hat. Da die Beantwortung dieser und weiterer Fragen von immenser Bedeutung sowohl für die Automobilindustrie als auch den Gesetzgeber ist, setzt sich seit einiger Zeit auch eine ISO-Arbeitsgruppe mit dieser Problematik auseinander. Die Gliederung des folgenden Abschnittes orientiert sich am technischen Report dieser Arbeitsgruppe (ISO/TR 23049, 2018).

6.1 Inhalte der Kommunikation

6.1.1 Informationen des Fahrzeugs über den eigenen „Zustand“

Das Fahrzeug kann prinzipiell eine Reihe von Informationen über sich selbst an die Umwelt übermitteln. Dazu gehören primär Fahrzeugzustände, wie etwa die Vermittlung der Geschwindigkeit, oder auch die Kommunikation der Tatsache, dass ein Fahrzeug verzögert. Diese Kommunikation ist in vielen Fällen bereits bei nicht-automatisierten Fahrzeugen möglich, da sie keine (sensorgestützte) Wahrnehmung der Verkehrsumgebung erfordert. Tatsächlich erfolgt eine derartige Kommunikation auch bereits, z. B. über das beobachtbare Fahrverhalten, aber auch eine Reihe von anderen Signalen, wie etwa aktivierten Bremsleuchten als Indikatoren für eine Verzögerung des Fahrzeuges, oder der Rückfahrscheinwerfer (bei größeren Fahrzeugen gepaart mit einem akustischen Signal) als Hinweis auf ein bevorstehendes (oder bereits stattfindendes) Rückwärtsfahren des Fahrzeuges. Mit Blick auf automatisierte Fahrzeuge wurde die Vermittlung derartiger Informationen über zusätzliche Anzeigen bereits verschiedentlich untersucht (z. B. CLAMANN, AUBERT & CUMMINGS, 2017; PETZOLDT, SCHLEINITZ & BANSE, 2017).

Auch der Fahrmodus (automatisiert/nicht-automatisiert) kann als Fahrzeugzustand betrachtet werden. Gleichzeitig aber ist diese Information in ihrer Bedeutung qualitativ verschieden von den zuvor beschriebenen, da ein Hinweis bzgl. der Tatsache, dass sich ein Fahrzeug im automatisierten Fahrmodus befindet hilft, andere Zustandsinformationen zu bewerten. So wird immer wieder unterstellt, dass sich das Verhalten automatisierter Fahrzeuge (für sich genommen bereits eine Form der Kommunikation von Fahrzeuginformationen) von dem nicht-automatisierter Fahrzeuge unterscheiden würde. Ein Hinweis auf den Fahrmodus unterstützt die Einordnung dieses Verhaltens, und damit die Bewertung der Kommunikation durch das Fahrzeug. Die Frage nach der prinzipiellen Sinnhaftigkeit bzw. Notwendigkeit eines solchen Hinweises wird, aufgrund aktueller Diskussionen diesbezüglich (Stichwort generelle Kenntlichmachung), hier in der Folge (siehe Kapitel 6.3) separiert behandelt.

6.1.2 Informationen über das „Verständnis“ des Fahrzeugs bzgl. der Verkehrsumgebung

Nicht zuletzt durch die für automatisiertes Fahren erforderliche Sensorik wird es dem Fahrzeug in zunehmendem Maße möglich sein, umliegenden Verkehrsteilnehmern auch Informationen über sein „Verständnis“ der aktuellen Umgebung zu liefern. Im einfachsten Fall betrifft das die einfache Übermittlung dessen, was das Fahrzeug „wahrgenommen“ hat. Beispielhaft sei hier eine Situation angeführt, in der ein Fahrzeug Fußgänger auf der Straße detektiert hat (z. B. an einem Zebra-Streifen), und diese Information, z. B. über ein externes Display, an den Folgeverkehr kommuniziert.

Denkbar ist auch, dass das Fahrzeug bestimmte Sachverhalte bzw. Verkehrsteilnehmer in der Umgebung erkennt, und dies den anderen Verkehrsteilnehmern auch explizit signalisiert (im Gegensatz zur einfachen, eher ungerichteten Darstellung von etwas, das „wahrgenommen“ wurde). Im einfachsten Fall würde kommuniziert werden, dass infrastrukturelle oder situative Merkmale erkannt wurden, die für das automatisierte Fahrzeug Verhaltensimplikationen haben, die wiederum andere Verkehrsteilnehmer von Relevanz sind, wie z. B. ein Zebra-Streifen (mit der entsprechenden Implikation, dass das Fahrzeug dort bei Bedarf wohl auch zu stehen kommen würde). Denkbar ist aber ebenso die Rückmeldung, dass ein Verkehrsteilnehmer, wie etwa ein Fußgänger, auch als solcher erkannt, bzw. seine Position identifiziert wurde. Als problematisch wird für derartige Ansätze allerdings immer benannt, dass sich die Kommunikation i. d. R. zwar an einen spezifischen Verkehrsteilnehmer (z. B. eben den potenziell querenden Fußgänger, bzw. den Fußgänger, der detektiert wurde) richtet, es aber unklar ist, wie sichergestellt werden kann, dass sich andere, in der Umgebung befindliche Verkehrsteilnehmer (z. B. ein Radfahrer, der sich aus der gleichen Richtung annähert wie der detektierte Fußgänger), nicht fälschlicherweise als Adressaten der betreffenden Information betrachten.

Eine weitere Form der potenziell vermittelbaren Informationen lässt sich als „Annahmen des Fahrzeuges über die Welt“ umschreiben. Darunter fallen im einfachsten Fall Aspekte wie etwa Informationen zu technischen Einschränkungen des Systems oder zu den dem Fahrzeug mitgegebenen Verhaltensregeln (z. B. immer Vorrang zu gewähren), ebenso wie Erwartungen an andere Verkehrsteilnehmer

bzgl. ihres Verhaltens in bestimmten Situationen. Beispielhaft seien hier, aus dem nicht-automatisierten Kontext, Aufkleber an Lkw benannt, die vor einem Ausschwenken des Hecks warnen (Kommunikation einer technischen Einschränkung), oder auch die Hinweise an Bussen, dass bei entsprechender Aktivierung des Fahrtrichtungsanzeigers an der Haltestelle vom Folgeverkehr ein (zurück) einfädeln in den fließenden Verkehr zu ermöglichen ist (Kommunikation einer Verhaltenserwartung).

Eine wichtige und immer wieder diskutierte Funktion externaler Kommunikation beim automatisierten Fahren ist die Führung/Handlungsanleitung anderer Verkehrsteilnehmer. Anstatt einfach „nur“ Informationen über Zustände oder allgemeine Verhaltenserwartungen zu vermitteln, soll hier expliziert an einen anderen Verkehrsteilnehmer kommuniziert werden, was in der konkreten Situation zu tun ist. Typischerweise wird als Beispiel der Hinweis an einen Fußgänger benannt, dass es sicher wäre (oder eben auch nicht), die Straße zu queren. In Teilen ist hier eine Analogie zum „Rüberwinken“ des Fußgängers durch einen Autofahrer zu sehen, oder auch die Lichthupe als Signal an einen anderen Fahrzeugführer, dass man auf Vorrang verzichtet. Anhand dieser Beispiele wird allerdings auch klar, dass eine derartige Umsetzung für automatisierte Fahrzeuge zum Teil aktuellen Regelungen oder Empfehlungen zum Thema Handlungsanleitung entgegensteht (wie etwa die Lichthupe in der beschriebenen Funktion lt. StVO nicht zulässig ist). Auch wird verschiedentlich das Potenzial für Missverständnisse und Sicherheitsrisiken beschrieben. Ähnlich wie beim zuvor beschriebenen Einsatz der Lichthupe, bei dem immer wieder von Unfällen berichtet wird, die sich daraus ergeben, dass der Empfänger der Nachricht sich auf die Zuverlässigkeit der Information verlässt, und eine weitere Kontrolle der Verkehrsumgebung vernachlässigt, steht bei Nachrichten automatisierter Fahrzeuge zu befürchten, dass vom Empfänger andere Informationen aus der Verkehrsumgebung vernachlässigt werden. Dies kann u. U. umso problematischer sein, wenn die Bedeutung der Nachricht aufgrund von fehlerhaftem Systemverständnis fehlinterpretiert wird. So bezieht sich (je nach technischer Ausstattung des automatisierten Fahrzeuges) ein Hinweis, dass die Querung durch den Fußgänger sicher sei, ggf. nur auf das automatisierte Fahrzeug, ohne dass aber dabei eine Aussage über andere potenziell relevante Verkehrsteilnehmer (z. B. Fahrzeuge auf der Gegenfahrbahn) intendiert ist. Entsprechend kritisch

ist (v. a. auch mit Blick auf den vermeintlichen Nutzen) die Umsetzung derartiger Handlungsempfehlungen zu sehen, wenngleich erste Untersuchungen zeigen, dass Verkehrsteilnehmer diese Empfehlungen offenbar einfachen Informationen über Status bzw. Situation vorziehen (ACKERMANN, BEGGIATO, SCHUBERT & KREMS, 2019).

Demgegenüber ist die Vermittlung von Handlungsabsichten eines Fahrzeuges etwas, was in Teilen explizit von der Straßenverkehrsordnung gefordert wird, wie etwa das Anzeigen eines Richtungswechsels durch die Aktivierung des Fahrtrichtungsanzeigers. Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass das Verhalten des automatisierten Fahrzeuges hochgradig prädestiniert ist, ergeben sich hier natürlich deutlich mehr Möglichkeiten, zukünftiges Verhalten des Fahrzeuges im Vorfeld anzuzeigen. So kann etwa bei der Annäherung an einen Zebrastreifen einem potenziell querenden Fußgänger explizit mitgeteilt werden, dass das Fahrzeug für diesen Fußgänger anhalten wird. Während eine solche Nachricht inhaltlich einen anderen Aufforderungscharakter als die zuvor beschriebenen Handlungsanleitungen hat („ich halte für Dich“ ist nicht das gleiche wie „es ist sicher zu queren“), muss natürlich auch hier genau geprüft werden, inwieweit die jeweilige Nachricht tatsächlich eindeutig und unmissverständlich ist (was letztlich primär von der konkreten Ausgestaltung der Informationsdarstellung abhängt).

6.2 Informationsdarstellung

Die Darstellung der jeweils gewünschten Information ist zwangsläufig abhängig von der Art der zu vermittelnden Information (siehe Kapitel 6.1). Gleichzeitig sind, sowohl von Seiten der Industrie als auch dem wissenschaftlichen Kontext, eine Reihe von Designkonzepten entwickelt und untersucht worden, die eine gewisse Bandbreite an Informationen zu vermitteln in der Lage wären. Entsprechend findet sich auch eine Vielzahl von Patenten in diesem Bereich, die hier aber nicht im Detail dargestellt werden können.

Die überwiegende Mehrheit der Konzepte ist visueller Natur. In ihrer einfachsten Form handelt es sich um reine Lichtkonzepte in Form von LED Leuchten oder Leuchtbändern, die allein über Variationen der Färbung sowie der Position und des zeitlichen Verlaufs der Aktivierung verschiedene Informationen vermitteln können (z. B. KEFERBÖCK & RIENER,

2015, LAGSTRÖM & LUNDGREN, 2015; HENSCH, NEUMANN, BEGGIATO, HALAMA & KREMS, 2020). Ein Vorteil dieser Ansätze ist sicherlich, dass sie technologisch verhältnismäßig einfach sind, und das, im Fall eines das Fahrzeug umschließenden Leuchtbandes, die komplette Verkehrsumgebung adressiert werden kann. Als problematisch ist jedoch die Tatsache zu bewerten, dass die in dieser Form vermittelbaren Signale eher wenig intuitiv sind (HENSCH et al.), und ein entsprechender Lernprozess zum Verständnis erforderlich ist (Gleichzeitig ist anzumerken, dass die geringe Intuitivität, zumindest mit Blick auf die Farben, u. a. der Tatsache geschuldet ist, dass ggf. leichter interpretierbare Farben wie Grün oder Rot aus formalen Gründen nicht eingesetzt werden können, und stattdessen auf Farbtöne wie Cyan oder Magenta zurückgegriffen werden muss).

Ein weiterer Ansatz sieht vor, Displays am Fahrzeug (z. B. auf dem Dach oder an der Fahrzeugfront) anzubringen, die komplexere Darstellungen ermöglichen. Einige dieser Ansätze versuchen, über eine vermeintlich menschenähnliche Kommunikation eine möglichst natürliche Interaktion zu erzeugen. So schlagen CHANG et al. (2017) ein Design vor, in dem das Fahrzeug zusätzliche „Auto-Augen“ erhält, die den Fußgänger gerichtet „anschauen“ und ihm so vermitteln, dass das Auto für ihn anhalten wird. Ein ähnlicher Vorschlag findet sich auch bei DEB, STRAWDERMAN & CARRUTH (2018), deren Display u. a. ein aufleuchtendes „Lächeln“ des Fahrzeuges anzeigt, um die Möglichkeit der Querung für den Fußgänger anzudeuten (siehe z. B. auch de CLERCQ, DIETRICH, NUNEZ VELASCO, de WINTER & HAPPEE, 2019). Typischer sind jedoch Designvorschläge, die entweder sprachbasiert (in Textform) oder in Form von mehr oder weniger bekannten Icons Information zu vermitteln suchen (de CLERCQ et al., 2019; DEB et al., 2018; FRIDMAN et al., 2017; RESCHKE et al., 2018), ggf. auch gepaart mit Variationen von Farbe und Aktivierungsmustern. Klarer Vorteil sprachbasierter Informationen ist zweifellos deren Eindeutigkeit. So lässt sich in Textform klar zwischen „ich halte für Dich“ und „es ist sicher zu queren“ differenzieren. Gleichzeitig werden damit aber alle Verkehrsteilnehmer, die der betreffenden Sprache nicht mächtig sind, bzw. die (noch) nicht lesen können, vor eine unlösbare Aufgabe gestellt (siehe Bild 6-1). In der (diesbezüglichen) Barrierefreiheit liegt der Vorteil von bildlichen Informationen. Hier ist Sprachkenntnis nicht erforderlich. Probleme ergeben sich hier jedoch bzgl.



Bild 6-1: Forschungsfahrzeug der japanischen Keio University (Foto privat)

der Eindeutigkeit der Informationen, was gerade mit Blick auf sicherheitsrelevante Entscheidungen (Querung sicher ja/nein) unerwünschte Konsequenzen haben kann. Auch ist nicht für jede Information ohne weiteres eine einfache, eingängige Visualisierung in Form eines Symbols verfügbar. Entsprechend ergaben Untersuchungen von RESCHKE et al. (2018) ein bestenfalls durchwachsendes Bild bzgl. der Intuitivität verschiedener Icons zur Informationsvermittlung. Prinzipiell gilt (wie auch für Verkehrszeichen im Allgemeinen), dass je mehr ein Zeichen universalen ergonomischen Prinzipien eines guten Designs entspricht, desto eher/einfacher wird es auch verstanden (BEN-BASSAT & SHINAR, 2006). Ansonsten ist auch hier zunächst ein Lernprozess erforderlich, um die Bedeutung des jeweiligen Signals zuverlässig ableiten zu können.

Von den darzustellenden Informationen her teilweise ähnlich gelagert, aber technologisch gesondert zu bewerten sind Projektionen auf die Straße (z. B. HILLIS et al., 2016). Hier sind prinzipiell ähnliche Inhalte denkbar wie sie auch mithilfe der am Fahrzeug angebrachten Displays vermittelbar sind (z. B. ACKERMANN et al., 2019). Gleichzeitig ermöglicht aber die Projektion auf die Fahrbahnoberfläche eine räumlich gerichtete Darstellung von Informationen. So kann etwa für die Signalisierung einer Quermöglichkeit ein Zebrastrifen an die entsprechende Position projiziert werden, und damit ggf. Probleme bei der Adressierung des richtigen Empfängers der Nachricht vermieden werden. Auch eine Projektion hinter das Fahrzeug ist denkbar, etwa, um Dank für ein kooperatives Verhalten eines anderen Verkehrsteilnehmers zu signalisieren (POWELLEIT, WINKLER & VOLLRATH, 2018). Gleichzeitig ist aber kritisch anzumerken, dass die Lichtleistung verfügbarer Projektionssysteme bei weitem nicht ausreichend ist, um bei Tageslichtbedingungen stabil hinreichend starke Kontraste zu erzeugen, so-

dass eine hinreichende Erkennbarkeit der übermittelten Informationen am Tage im Grunde nicht gegeben ist.

Einen komplett anderen Ansatz beschreiben RISTO et al. (2017), die das Verhalten des Fahrzeuges selbst (Zeitpunkt des Verzögerns, Positionierung beim Stoppen des Fahrzeuges, usw.) als „Bewegungsgesten“ auffassen, und argumentieren, dass ein automatisiertes Fahrzeug genau solche Gesten (ggf. auch überzeichnet) nutzen könne, um zu kommunizieren. ACKERMANN, BEGGIATO, BLUHM, LÖW & KREMS (2019) beschreiben einen ähnlichen Ansatz, indem sie für gleichmäßige und frühzeitige Verzögerungen bei Bremsvorgängen automatisierter Fahrzeuge zum Zwecke der Kommunikation argumentieren. Vorteil einer derartigen Kommunikation ist es, dass von Seiten des Empfängers auf bestehendes Wissen zurückgegriffen werden kann, ohne das zusätzliche Lernprozesse erforderlich wären. Tatsächlich argumentieren MOORE et al. (2019) auf Basis einer Wizard-of-Oz-Untersuchung, dass die Bewegung des Fahrzeuges (im Sinne eines „impliziten externen HMI“) in vielen Fällen völlig ausreichend sei, und eine explizite Darstellung etwa einer Quermöglichkeit nicht erforderlich wäre. Gleichzeitig wird dadurch die Informationsvermittlung beschränkt auf bereits im nicht-automatisierten Verkehr ablaufenden Informationsaustausch. Zusätzliche, durch die Automatisierung erst möglich gewordene Vermittlung von Informationen kann mit diesem Ansatz praktisch nicht abgedeckt werden.

6.3 Generelle Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge

Empirische Untersuchungen der potenziellen Auswirkungen einer Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge liegen bislang praktisch kaum vor. Vielmehr bewegt sich der Großteil der Veröffentlichungen, die sich bisher dieser Frage angenommen haben, auf der Ebene von Expertenmeinungen (ähnlich den Aussagen aus dem Expertenworkshop, siehe Kapitel 5.3), oder aber erfassen Bedürfnisse und Wünsche anderer Verkehrsteilnehmer. So beschreibt FÄRBER (2015), dass eine Kenntlichmachung auf die Besonderheit des automatisierten Fahrzeuges hinweisen würde, und damit potenziell Normabweichendes Verhalten erklärbar würde. Dies könne die Akzeptanz fördern. Als Beispiel wird die gängige Praxis bei Fahrschulfahrzeugen ange-

führt, die ebenfalls auf potenziell unerwartetes Verhalten hinweist. SCHIEBEN et al. (2018) argumentieren ebenfalls, dass derartige Informationen hilfreich seien, um entsprechende passende (Verhaltens-)Erwartungen an ein sich annäherndes Fahrzeug auszubilden. LAGSTRÖM & LUNDGREN (2015) berichten aus einer Befragung, dass Fußgänger tatsächlich das Bedürfnis hätten, einen Hinweis bzgl. des aktuellen Fahrmodus (automatisiert ja/nein) zu erhalten, da ansonsten Bedenken mit Blick auf die wahrgenommene Sicherheit des Fahrverhaltens bestünden. Gleichzeitig wird allerdings aus dem GATEway Projekt berichtet, dass die Kommunikation des Fahrmodus keinen Einfluss auf das tatsächliche Verhalten umgebender Fahrzeuge hatte (GATEway Project, 2017). Von ähnlich unauffälligen Befunden berichten JOISTEN et al. (2019) mit Bezug auf die Querungsentscheidungen und das Sicherheitsgefühl von Fußgängern. Auch wird verschiedentlich darauf hingewiesen, dass das Identifizieren eines automatisierten Fahrzeuges als solches womöglich zum „Ausnutzen“ dieses Fahrzeuges einlädt, da damit natürlich auch das Wissen um (vermeintliche) Verhaltensweisen des Fahrzeuges verbunden ist. So könnte die Annahme, dass ein automatisiertes Fahrzeug durch frühzeitiges Verzögern jegliche Kollision zu vermeiden sucht, dazu führen, dass andere Verkehrsteilnehmer dem automatisierten Fahrzeug die Vorfahrt nehmen (BROWN & LAURIER, 2017). Im besten Fall wirkt sich dies nur negativ auf den Verkehrsfluss aus, im schlimmsten Fall aber ergeben sich daraus auch verkehrssicherheitsrelevante Konsequenzen. Ein klares Bild in Richtung einer Empfehlung für oder gegen eine generelle Kenntlichmachung ist damit nicht gegeben.

Während sich die Erkennbarkeit von vollautomatisierten Fahrzeugen (Level 5) in der Regel bereits aus ihrem physikalischen Design heraus ergibt (siehe z. B. Navya, EasyMile, LocalMotors) ist die Erkennbarkeit von außen für Fahrzeuge der Level 3 und 4 normalerweise nicht gegeben, da sie sowohl manuell als auch automatisiert gesteuert werden können und auch im automatisierten Modus der Fahrersitz i. d. R. belegt sein wird. Eine explizite Anzeige des automatisierten Modus für nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmer setzt eine steuerbare Anzeige voraus, die sinnvollerweise standardisiert wird. Die dafür notwendigen Technologien sind vorhanden, aber nicht systematisch hinsichtlich ihrer Eignung (Erkennbarkeit und geringes Störpotenzial) sowie ihrer Kosten bewertet.

Im Rahmen der Anpassungen der fahrzeugtechnischen Vorschriften durch die UNECE wird u. a. auch die Einführung eines Datenspeichersystems für automatisiertes Fahren (DSSAD) geplant, das nicht nur erfasst und speichert ob der Fahrer oder das System aktuell die Kontrolle über das Fahrzeug hat, sondern auch ob das System den Fahrer aufgefordert hat, die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen. Aus technischer Sicht stehen damit erweiterte Informationen über den aktuellen Status zur Verfügung, die sowohl elektronisch als auch physisch kommuniziert werden könnten, sofern dies der Gesetzgeber erlaubt oder vorschreibt.

7 Handlungsempfehlungen für künftige Forschungsfragen

Technische Entwicklung automatisiert fahrender Fahrzeuge

Auf technischer Ebene lassen sich laufende Forschungen, Entwicklungen und Standardisierungsaktivitäten zur Kommunikation automatisierter Fahrzeuge einem der folgenden vier Möglichkeiten zuordnen:

1. Die elektronische (digitalisierte) Kommunikation von automatisierten Fahrzeugen untereinander oder mit digitalisierten Infrastruktureinrichtungen (i. d. R. auf kurze Entfernungen auch außerhalb des direkten Sicht-/Hörbereiches).
2. Die elektronische Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und dem Betreiber, dem Hersteller, den Kontrollbehörden und/oder den Verkehrsleitzentralen (auch über große Entfernungen).
3. Die (i. d. R.) physikalische (visuelle und akustische) Kommunikation vorwiegend mit nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern (im Sicht-/Hörbereich).
4. Die implizite Kommunikation über die Fahrdynamik, erkennbar im Sichtbereich durch automatisierte und nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmer.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass Fahrzeuge im automatisierten Modus von allen vier Möglichkeiten Gebrauch machen (müssen), um die angestrebte Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses zu erreichen. Dabei stellen

sich Fragen zur Priorisierung der Informationen, wenn über die verschiedenen Kanäle unterschiedliche Signale/Anweisungen übermittelt werden oder diese nicht von allen Teilnehmern empfangen werden können.

Für diese Studie wurde unterstellt, dass Fahrzeuge, die im automatisierten Modus im Mischverkehr betrieben werden, technisch immer in der Lage sind sich situationsbezogen adäquat zu verhalten, auch wenn dies beim derzeitigen Stand der Technik noch nicht gewährleistet ist. Voraussetzung dafür wäre, dass Fahrzeuge im automatisierten Modus ein komplexes Verkehrsumfeld in Millisekunden erkennen, dieses in seiner Dynamik richtig deuten und voraussehen, sowie ein angemessenes, regelkonformes Verhalten daraus ableiten und umsetzen können. Dabei handelt es sich nicht um einen einseitigen Prozess, sondern um ein kontinuierliches Regelsystem, in dem auch die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern nicht nur zur Information, sondern in einigen Verkehrssituationen auch bidirektional, zum gegenseitigen „Aushandeln“ abgestimmter Verhaltensweisen, essenziell ist.

Für die Steuerungscomputer der automatisiert fahrenden Fahrzeuge sind solche bidirektionalen Interaktionen vergleichsweise einfach zu realisieren, wenn sich die Probleme durch formale mathematische Regeln beschreiben lassen, eine auf technischen Standards basierte elektronische Kommunikation und Kryptographie eingesetzt wird, die anderen Verkehrsteilnehmer und Verkehrsinfrastruktur-einrichtungen ebenfalls mit kompatiblen elektronischen Kommunikationseinrichtungen ausgestattet sind und die drahtlose Datenübertragung flächendeckend gewährleistet ist.

Im realen Mischverkehr kann auf absehbare Zeit nicht von einer rein auf elektronischer Kommunikation basierenden Interaktion aller Verkehrsteilnehmer ausgegangen werden, da dafür häufig eine oder mehrere der genannten Grundlagen fehlen. Aufgrund der eindeutigen Vorteile elektronischer Kommunikation (z. B. Reichweite jenseits des optischen Sichtbereichs, Möglichkeit breiter Streuung und zielgerichteter Informationsübermittlung) stellt sich die Frage, ob und wie elektronische Kommunikationsmittel für die Nachrüstung in klassischen Fahrzeugen sowie für geschwächte Verkehrsteilnehmer (z. B. Blinde, Gehörlose), mit einer nutzerzentrierten Bedienoberfläche ausgestattet und eingesetzt werden können und wie eine weitreichende Verbreitung erzielt werden kann.

Viele konkrete Herausforderungen der Kommunikation mit Fahrzeugen, die im automatisierten Modus betrieben werden, lassen sich nur schwer oder gar nicht durch formale mathematische Regeln beschreiben. Dies betrifft vor allem die Erkennung der Absichten anderer Verkehrsteilnehmer sowie die Einschätzung ihrer aktuellen Leistungs- und Urteilsfähigkeit (z. B. Kinder, Senioren, Behinderte, Personen unter dem Einfluss von Rauschmitteln, Ablenkungen). Im Verkehrsgeschehen löst der Mensch solche Anforderungen intuitiv (z. B. durch die direkte Erkennung von Handzeichen, Sprache, Gesichtern, Objekten und ihren Trajektorien, vor allem aber durch Berücksichtigung ihrer Bedeutung im Kontext des aktuellen Umfeldes).

Da diese Fähigkeiten für die automatisierte Mobilität in einem Mischverkehrssystem essenziell sind, wird intensiv daran gearbeitet, die Sensorik und den Fahrcomputer automatisierter Fahrzeuge durch maschinelles Lernen unter Nutzung künstlicher neuronaler Netze (KI) der Leistungsfähigkeit des Menschen in diesen Bereichen anzunähern.

Offene technologische und politisch/gesellschaftliche Fragen der Kommunikation mit automatisierten Fahrzeugen stehen überwiegend in Zusammenhang mit der Erfassung und Interpretation des Verkehrsgeschehens durch die elektronischen Systeme automatisierter Fahrzeuge. Dabei stellt sich nicht nur die Frage nach der optimierten technologischen Ausgestaltung der Sensorik, ihrer Manipulationssicherheit über lange Produktlebenszyklen oder geeigneten Test- und Zulassungsverfahren, sondern auch nach den Folgen/Auswirkungen beim Einsatz hocheffizienter Erfassungssensoren, insbesondere im Umgang mit den erfassten und gespeicherten Daten des gesamten Geschehens auf und abseits der Verkehrsinfrastruktur.

Die im Kapitel 6 diskutierten Möglichkeiten zur Informationsdarstellung gegenüber nichtautomatisierten Verkehrsteilnehmern stellen unter rein technologischen Gesichtspunkten größtenteils keine besonderen Herausforderungen dar. Ausgehend von vertiefenden Studien zu ihrer Eignung in verschiedenen Kulturen und die unterschiedlichen Rezipienten der Nachricht sollten bei der Auswahl und notwendigen gesetzlichen Verankerung auch die Verfügbarkeit (z. B. Einschränkungen durch Patente) und Kosten berücksichtigt werden.

Offene Forschungsfragen zur Kommunikation im konventionellen Straßenverkehr

Durch die prognostizierte Zunahme an automatisierten Fahrzeugen im Verkehrsgeschehen werden die Interaktionen zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern zunehmen. Aufgrund des Wegfalls des aktiven Fahrers des automatisierten Fahrzeugs stellt sich die Frage, ob und wie sich die Kommunikation mit nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern verändert und gegebenenfalls technische Hilfsmittel zur Unterstützung der Kommunikation notwendig sind. Welche Forschungsfragen haben sich aus der vorliegenden Analyse der heute stattfindenden Kommunikation im Straßenverkehr und den Überlegungen, wie die Kommunikation in einem zukünftigen Mischverkehrssystem gestaltet sein sollte, ergeben?

Die Literaturanalyse zur bestehenden Kommunikation im konventionellen Straßenverkehr hat ergeben, dass Kommunikation zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern, so wie sie heute beobachtbar ist, bislang nur unsystematisch und bestenfalls lückenhaft untersucht ist. Diese Frage ist nicht nur rein akademischer Natur. Erst wenn wir wissen, welche Bedeutung die heutige Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern zur Lösung bestimmter Konfliktsituationen hat (z. B. in Bezug auf Verkehrsfluss, Sicherheit, Verkehrsklima), lässt sich genauer abschätzen, welche Konsequenzen sich durch die Veränderung der Kommunikationssituation durch automatisiert fahrende Fahrzeuge ergeben. Spezifische theoretische Modelle zur Beschreibung und Erklärung der Kommunikation bzw. Interaktion zwischen Verkehrsteilnehmern, die über allgemeine kommunikationstheoretische Modelle hinausgehen, lassen sich höchstens in Ansätzen finden (MAAG, KRÜGER, BENMIMOUN, NEUNZIG, 2004; PORTOULI et al., 2014). Aber auch empirische Studien, die beispielsweise untersuchen, in welchen Situationen, wie häufig erfolgreich mit welchen Kommunikationsmitteln kommuniziert wird, sind rar. Frühe Arbeiten u. a. aus den achtziger Jahren beruhen auf Befragungen von Verkehrsteilnehmern (z. B. BAUER et al., 1980) mit dem Ziel, die im Verkehr eingesetzten Kommunikationsmittel zu erfassen (vgl. RENGE, 2000). Darüber hinaus sind vergleichende Aussagen in Bezug auf die Auftretenswahrscheinlichkeit (Wie häufig wird beispielsweise durch eine Handgeste die Vorfahrtsgewährung angezeigt und wie häufig wird in der gleichen Situation die Lichthupe genutzt?) oder die Wirksamkeit (Entscheiden sich Fußgänger, denen der Vor-

rang per Handgeste gewährt wurde, häufiger oder schneller dazu, die Straße zu überqueren, als wenn die Lichthupe zum Einsatz kam?) inexistent.

Verkehrszählungen, Erhebungen zum Sicherheitsverhalten (z. B. Gurttragen, Helmtragen, Nutzung von Sicherheitseinrichtungen etc.) und Erhebungen zum Abstands- und Geschwindigkeitsverhalten sind typische Beispiele für Beobachtungen im Verkehrssystem (z. B. SIEGENER, RÖDELSTAB, KATHMANN, JANSEN, BÄUMER & PFEIFFER, 2016). Darüber hinaus gibt es weitere Studien, die auch komplexere Verhaltensweisen wie z. B. Fußgängerquerungen oder aggressive Regelverstöße im Verkehr erfasst haben (SCHÜLLER, PLESKER, ROSSMERKEL, SCHADE, RÖSSGER, REHBERG & MAIER (in Druck); SHINAR & COMPTON, 2004). Eine wichtige Grundlage zur Identifizierung möglicher Beobachtungsorte und deren Priorisierung könnte dabei die in diesem Projekt erstellte Szenariensammlung und deren Relevanzbewertung sein. Neben reinen Beobachtungsstudien zur Ermittlung von Häufigkeiten wären darüber hinaus (Feld-)Experimente denkbar, bei denen gezielt bestimmte Kommunikationsformen manipuliert werden, um sie auf deren kommunikative Wirksamkeit hin zu untersuchen (vgl. GUEGUEN, EYSSARTIER & MEINER, 2015).

Generell hängt die Bedeutung kommunikativer Signale stark von kulturellen Normen ab und kann sich deshalb zwischen verschiedenen (Sub-)Kulturen stark unterscheiden (vgl. FACTOR, MAHALEI & YAIR, 2007). Bisher gibt es nur sehr wenige Studien, die diesen Aspekt im Verkehrskontext genauer untersucht haben (z. B. RENGE et al., 2001).

Während in den meisten Studien explizite Signale (z. B. Gesten) untersucht werden, ist die kommunikationsunterstützende bzw. ersetzende Rolle der Fahrdynamik (z. B. Trajektorie, beschleunigen, verlangsamen, Geschwindigkeit, Zeitpunkt der Aktion etc.) bisher nur in Ansätzen berücksichtigt worden (vgl. ACKERMANN et al., 2018, 2019; FUEST, MICHALOWSKI, TRARIS, BELLEM & BENGLER, 2018). So reicht in bestimmten Situationen allein die Fahrdynamik, um vom Empfänger korrekt verstanden zu werden. Eine typische (kulturabhängige) Situation dafür ist das Verlangsamen vor einem Fußgängerüberweg, um dem Fußgänger zu signalisieren, dass er queren kann (SUCHA, 2014). Daraus lässt sich die Forschungsfrage ableiten, welche fahrdynamischen Parameter (möglicherweise in Kombination) in welchen Situationen die Intention

des Fahrers (Fahrzeugs) korrekt vorhersagen lassen und welche weiteren Kriterien dabei eine Rolle spielen könnten (z. B. Fahrzeuggröße, -typ, Entfernung etc.).

Forschungsfragen zu neuen Kommunikationsmitteln

Die bisherige Forschung geht in der Regel davon aus, dass der Rezipient der Nachricht eines automatisierten Fahrzeugs ein gesunder erwachsener Verkehrsteilnehmer ist. Dabei stellen insbesondere Fußgänger aber auch Radfahrer äußerst heterogene Gruppen dar, die sich in ihren Voraussetzungen und Leistungsvermögen für die Teilnahme am Straßenverkehr stark unterscheiden (vgl. HAGEN, SCHULZE & SCHLAG, 2012; SCHÜLLER et al., in Druck). Zu beachten und zu untersuchen sind die neuen Kommunikationsformen somit auch in der Hinsicht, ob sie für Menschen mit Einschränkungen geeignet sind, denen selbstverständlich weiterhin eine möglichst einfache Teilhabe am Verkehr ermöglicht werden soll. An dieser Stelle sollen kurz drei besondere Gruppen (Kinder, Ältere und eingeschränkte bzw. behinderte Personen) Beachtung finden, die an die verschiedenen Kommunikationsmittel möglicherweise besondere Ansprüche stellen.

Kinder befinden sich je nach Alter in einer besonderen Entwicklungssituation. Ihre motorischen, perceptuellen und kognitiven Fähigkeiten entwickeln sich in einem langfristigen Veränderungsprozess. Dazu kommen charakteristische, spielerische und egozentrische Denkweisen (z. B. „Das Auto hat Augen.“, „Ich sehe das Auto, also sieht es mich auch.“). Zudem verfügen Kinder nur über wenige Erfahrungen im Straßenverkehr, die sich vorrangig auf die Teilnahme als Fußgänger oder Radfahrer beziehen und häufig in Begleitung von Erwachsenen geschehen. RENGE (2000) führt dazu an, dass die informelle technologiebasierte Kommunikation für unerfahrene Verkehrsteilnehmer eine größere Herausforderung darstellt als die formell technologiebasierte und die informell gestenbasierte.

Ältere Personen stellen eine Gruppe dar, die einer besonderen Beachtung bedarf. SCHLAG (2013) gibt einen Überblick über die sensorischen und kognitiven Veränderungen, die im Alter gehäuft und auch unabhängig von Erkrankungen auftreten. Darunter sind vor allem ein nachlassendes Sehvermögen (insbesondere bei Dämmerung und Dunkelheit,

Adaptationsprobleme nach Blendung, dynamische Sehschwäche), eine defizitäre Aufmerksamkeitssteuerung, eine schneller eintretende Überforderung (v. a. unter Zeitdruck und in komplexen Situationen) und ein erhöhter Zeitbedarf für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern relevant. Bezogen auf neue Kommunikationsformen muss daher ebenfalls untersucht werden, in wie fern ältere Personen mit einer steigenden Komplexität sowie neuen Situationen und Kommunikationsmitteln umgehen können.

Personen mit geistigen und/oder körperlichen Einschränkungen oder Behinderung stellen eine weitere sehr heterogene Gruppe dar. Geistige Behinderungen gehen auf eine unterdurchschnittliche, intellektuelle Leistungsfähigkeit zurück und führen zu starken Anpassungsschwierigkeiten in lebenspraktischen, individuellen und gesellschaftlichen Bereichen (vgl. STÖPPLER, 2002). Sie umfassen zerebrale Störungen, welche sich bspw. hirnorganisch (neurologische Ausfälle, Hirnleistungsschwäche) oder in Störungen der geistigen Entwicklung (Lernbehinderung) äußern. Körperliche Behinderungen umfassen zum einen Wahrnehmungseinschränkungen (v. a. visuell/auditiv) und zum anderen Schäden an Stütz- und Bewegungsapparat oder an Organen. Auch Folgen chronischer Krankheiten zählen zu körperlichen Behinderungen. Für die Verkehrsteilnahme besonders relevant sind Sehbehinderungen/Blindheit und Hörschädigung/Gehörlosigkeit. Studien zeigen, dass sehbeeinträchtigte Personen im Straßenverkehr mehr Probleme haben und folglich einem größeren Risiko ausgesetzt sind (vgl. SCHÜLLER et al., in Druck). Für Menschen mit Sehbehinderung besteht bei der Orientierung im Straßenverkehr ein großer Unterschied zwischen bekannten und unbekanntem Wegen. In gewohnter Umgebung können sie die aktuelle Situation mit der Erinnerung aus ihrem Gedächtnis abgleichen und haben somit mehr Kapazität, um sich bspw. auf plötzlich auftauchende Hindernisse zu konzentrieren. Auf unbekanntem Strecken muss sich zunächst neu zurechtgefunden werden, was sowohl den weiteren Wegeverlauf, Verkehrsanlagen, Hindernisse und die derzeitige Verkehrssituation umfasst. Hier ist also eine weitaus komplexere und anspruchsvollere Leistung gefordert (HAGEN et al., 2012). Dabei wird die fehlende, visuelle Informationsaufnahme weitestgehend über die auditive Wahrnehmung kompensiert. Bei hörgeschädigten Menschen wird hingegen davon ausgegangen, dass die fehlenden, akustischen Informationen über die visuelle Wahr-

nehmung kompensiert werden. Dies ist bspw. anhand von ausschwenkenden Kopf- und Blickbewegungen und auch in einem vermehrten Blickkontakt zu anderen Verkehrsteilnehmern (Pkw-Fahrern) zu beobachten (HAGEN et al., 2012). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Gruppe der Menschen mit Einschränkungen extrem heterogen ist. Aus den jeweiligen Problemen und Leistungseinschränkungen erwachsen sehr unterschiedliche Anforderungen an die zukünftigen Kommunikationsmittel, die sich möglicherweise sogar widersprechen (z. B. Priorität für akustische oder visuelle Signale).

Wie in Kapitel 6.3 dargestellt, liegen bislang empirische Untersuchungen der potenziellen Auswirkungen einer Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge praktisch kaum vor. Dem positiven Nutzen einer korrekten Erwartungsbildung anderer Verkehrsteilnehmer hinsichtlich des Verhaltens des automatisierten Fahrzeugs stehen als Kosten das mögliche Ausnutzen durch anderer Verkehrsteilnehmer gegenüber, was sich z. B. negativ auf Verkehrsfluss und -sicherheit auswirken könnte.

Es stellt sich darüber hinaus die Frage, ob die in den (experimentellen) Studien ermittelten Akzeptanzwerte neuer Kommunikationsmittel in die reale Welt übertragbar sind (Problem der externen Validität). Erstens, nehmen an solchen Untersuchungen i. d. R. am Verkehr interessierte Personen teil, die nicht die Gesamtbevölkerung repräsentieren. Dies führt häufig zu einer Überschätzung der Akzeptanz. Zweitens, wurden bisher v. a. Einzellösungen isoliert untersucht. Der kumulative Effekt von mehreren automatisiert fahrenden Fahrzeugen, die zeitgleich mit mehreren Verkehrsteilnehmern kommunizieren, kann möglicherweise schnell zu Überstimulation, Überforderung und Reaktanz führen.

Dieses Projekt hat v. a. die Kommunikation aus Sicht des (automatisierten) Fahrzeugs an andere Verkehrsteilnehmer betrachtet (als Sender). Jedoch kommunizieren auch andere Verkehrsteilnehmer, sodass das automatisierte Fahrzeug auch aus Empfängerperspektive zu betrachten ist. Während dies zuvorderst als ein technisches Problem z. B. der Sensorik und Signalerkennung verstanden wird, stellen sich darüber hinaus Fragen der Signalinterpretation und -verständlichkeit in Abhängigkeit von Kontext und kulturellen Normen (vgl. STANCIU, 2017). Schließlich stellt sich die Frage, wenn andere Verkehrsteilnehmer wissen, dass sie es mit einem autonom fahrenden Fahrzeug zu tun haben

(Maschine), wie wird sich ihr Interaktionsverhalten mit diesem Fahrzeug verändern? Werden sie die Kommunikation verändern oder sogar einstellen? Werden sie eher offensives oder defensives Verhalten zeigen? Welche Lerneffekte werden sich über die Zeit ergeben?

8 Zusammenfassung

Der vorliegende Forschungsbericht widmet sich der Frage, wie sich die heutige Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern unter Berücksichtigung einer zunehmenden Fahrzeugautomatisierung verändern wird und welche möglichen Folgen daraus auf die Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz erwartet werden müssen.

Auf Basis einer grundlegenden Auseinandersetzung mit der Kommunikation und Interaktion im Straßenverkehr, welche Kommunikationsmittel in welcher Verkehrssituation, zwischen welchen Interaktionspartnern und bezogen auf die vorliegenden Absichten als am geeignetsten zu bewerten sind, zeigte sich das klassische Sender-Empfänger-Modell von SHANNON & WEAVER (1949) als geeignet, weil es den im Straßenverkehr üblicherweise kurzzeitigen und gerichteten Kommunikationsprozess durch seine klaren Elemente einfach beschreibbar macht. Zudem war zielführend, für die Betrachtung die Perspektive und Kommunikationsmöglichkeit des Pkw-Fahrers bzw. die eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs einzunehmen. Dem aktiven Fahrer eines Pkw steht zur Informationsübermittlung an seine Umwelt eine Vielzahl von Kommunikationsmitteln zur Verfügung, da er sowohl auf die technischen Möglichkeiten seines Fahrzeugs als auch auf seine menschliche Zeichengebung zurückgreifen kann. Um im vorliegenden Projekt eine übersichtliche Anzahl von Kommunikationsmitteln vergleichen zu können, wurden nach BAUER et al. (1980: 42–49) und MERTEN (1981: 20–21) verschiedene, getrennte Zeichen (-gruppen) aus theoretischen und praktischen Gründen zusammengefasst. Dies betrifft u. a. die verschiedenen, körperlichen Gesten und Bewegungen.

Im Rahmen einer systematischen Analyse der im heutigen Verkehr zur Verfügung stehenden Kommunikationsmittel eines Pkw mit aktivem Fahrer, wurde zunächst eine Klassifizierung der Kommunikationsmittel eingeführt nach der:

- Modalität – (technologiegestützte vs. gesten-gestützte Kommunikation),
- Formalität – (formeller vs. informeller Kommunikation),
- Intentionalität – (expliziter vs. impliziter Kommunikation),
- Selektivität – (gerichtete vs. ungerichtete Kommunikation).

Daran anschließend erfolgte eine Bewertung der einzelnen Kommunikationsmittel, um Aussagen zu treffen, welche Kommunikationsmittel in welchen heutigen Verkehrssituationen dazu geeignet sind, eine Botschaft aus der Perspektive eines Fahrzeugs schnell und unmissverständlich zu übermitteln. Für diese Bewertung wurden die Kriterien Erkennbarkeit (sowohl bezogen auf die Umweltbedingungen als auch auf die Positionierung der Verkehrsteilnehmer zueinander), Eindeutigkeit und Verständlichkeit ausgewählt und definiert.

Um eine umfassende Einbeziehung der im Straßenverkehr verwendeten Kommunikationsmittel zu gewährleisten, wurde im analytischen Teil dieser Forschungsarbeit eine umfangreiche Liste von Szenarien erstellt, in denen nicht-automatisierte Verkehrsteilnehmer miteinander interagieren. Grundlage bildeten verschiedene Vor- und Überblickearbeiten und insbesondere die Straßenverkehrsordnung (StVO). Insgesamt wurden 154 mögliche Interaktionsszenarien für Verkehrskonstellationen im städtischen Verkehr, auf Außerortsstraßen und auf Autobahnen zusammengetragen. Naturgemäß lag hier der Großteil der Szenarien im innerörtlichen Bereich, da hier einerseits der Bedarf an Kommunikation sehr groß und andererseits die Unsicherheit, insbesondere auf Seiten der schwachen Verkehrsteilnehmer (Rad- und Fußverkehr) sehr hoch eingeschätzt wurde. Auf Basis der Fragestellung des Projekts wurden die zusammengetragenen Szenarien einer qualitativen Bewertung nach ihrer Relevanz unterzogen. Dies erfolgte anhand der Kriterien:

- Verkehrssicherheit: Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf die Vermeidung von schweren Konfliktsituationen ist.
- Verkehrsfluss: Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf den Verkehrsfluss in der Trajektorie des Senders ist.
- Verkehrsklima: Einschätzung, wie relevant das Szenario in Bezug auf die Bereitschaft zur Kooperation im Straßenverkehr ist.

Insgesamt 127 relevante Szenarien fanden durch diese Bewertung Eingang in die Erstellung eines Szenarienkatalogs, der eine übersichtliche Darstellung der Verkehrssituation sowie der getätigten Analysen enthält. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse widmete sich die weitere Betrachtung der Frage, wie die Kommunikation in einem künftigen Mischverkehrssystem gestaltet werden sollte, insbesondere für die Interaktionsszenarien, in denen die bislang genutzten Kommunikationsmittel nicht mehr oder nur noch unzureichend angewandt werden können. Aus theoretischen Überlegungen und empirischen Studien wurde eine qualitative Bewertung zur Übertragbarkeit für den Mischverkehrszustand formuliert.

Neben den grundlegenden Annahmen zu einem automatisiert fahrenden Fahrzeug (u. a. regelkonformes und kooperatives Verhalten), wird davon ausgegangen, dass die technologiegestützten Kommunikationsmittel eines heutigen Pkw auch zukünftig angewendet werden. Die Auswahl der relevanten Szenarien richtete sich vor allem danach, ob eine Veränderung der bisherigen Kommunikation notwendig ist, weil zukünftig nicht mehr ein menschlicher Fahrer auftritt, sondern dieser von einer Maschine ersetzt wird. Für einen Großteil der Verkehrsszenarien hat sich gezeigt, dass die bestehenden Kommunikationsmittel eines Pkw auch auf den Mischverkehr übertragbar sind. Insbesondere die lichttechnischen Einrichtungen und die Fahrzeugtrajektorie sind i. d. R. ausreichend, um die situationsspezifischen Botschaften aus Sicht des Pkw bzw. künftig aus Sicht des automatisierten Fahrzeugs zu übermitteln. Nur zu einem geringen Teil gibt es Szenarien, in denen ein zusätzliches fahrzeugseitiges Kommunikationsmittel hilfreich wäre, um die Übermittlung der korrekten Botschaft zu unterstützen bzw. diese zu konkretisieren (Gruppe II). Nur in Einzelfällen liegen Szenarien vor, die aus heutiger Sicht in einem Mischverkehrssystem ohne weitere (zusätzliche) Kommunikationsmöglichkeiten eines (automatisierten) Fahrzeugs den Bedarf an Kommunikation nicht abdecken können (Gruppe III). Im Rahmen dieses Projekts wurden folgende Interaktionsszenarien dieser Gruppe zugeordnet:

- Interaktionsszenarien zwischen Fahrzeugen in Engstellen,
- Interaktionsszenarien zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern auf Parkflächen,

- Interaktionsszenarien zwischen Fahrzeugen in Verflechtungsbereichen auf BAB.

Weitere Szenarien die u. U. Handlungsbedarf hinsichtlich neuer Kommunikationskonzepte erfordern, sind insbesondere jene, die aufgrund des nur ein Teilen absehbaren Fahrverhaltens eines automatisiert fahrenden Fahrzeuges Fehlinterpretationen erlauben und so z. B. auf gleichrangigen Straßen im städtischen Verkehrsnetz zu sogenannten Dead-lock-Situationen führen können.

Durch die umfangreiche Szenarienanalyse konnte auf systematische Weise dargestellt werden, dass unter bestimmten Voraussetzungen für den künftigen Mischverkehr nur in vereinzelt Verkehrsszenarien eine eingeschränkte Kommunikation zwischen automatisierten und nicht-automatisierten Verkehrsteilnehmern erwartet werden kann. Die gewählte Herangehensweise bietet Anhaltspunkte und Vorschläge, welchen grundlegenden Kriterien künftige Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge unterliegen sollten (Erkennbarkeit, sowohl hinsichtlich der Umweltbedingungen und der Position der Verkehrsteilnehmer zueinander, Eindeutigkeit und Verständlichkeit) und ob das (richtige) Verständnis der übermittelten Nachricht eine Relevanz für Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss oder Verkehrsklima hat. Zudem zeigten sich noch verschiedene offene Forschungsfragen in den Bereichen der technischen Entwicklung automatisiert fahrender Fahrzeuge (z. B. im Zusammenhang mit der Erfassung und Interpretation des Verkehrsgeschehens durch die elektronischen Systeme automatisierter Fahrzeuge), in der Kommunikation im konventionellen Straßenverkehr (z. B. welche Bedeutung die heutige Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern zur Lösung bestimmter Konfliktsituationen hat) sowie der Entwicklung neuer Kommunikationsmittel und -konzepte, die die gestengestützten Kommunikationsmöglichkeiten eines aktiven Fahrers in einem herkömmlichen Pkw durch technologiegestützte Kommunikationsmittel ersetzen sollen. Eine wichtige Grundlage zur Identifizierung möglicher Beobachtungsorte, in welchen Situationen, wie häufig erfolgreich mit welchen Kommunikationsmitteln kommuniziert wird sowie für deren Priorisierung könnte dabei die in diesem Projekt erstellte Szenariensammlung und deren Relevanzbewertung sein. Neben reinen Beobachtungsstudien zur Ermittlung von Häufigkeiten wären darüber hinaus (Feld-)Experimente denkbar, bei denen gezielt bestimmte Kommunikationsformen manipuliert

werden, um sie auf deren kommunikative Wirksamkeit hin zu untersuchen.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde durch einen Experten-Workshop eine Diskussion aus wissenschaftlicher Sicht darüber angestoßen, ob neue Kommunikationskonzepte (z. B. Lichtkonzepte in Form von LED Leuchten, Leuchtbändern oder Displays) als Folge einer zunehmenden Fahrzeugautomatisierung möglich bzw. nötig sind, wenn aufgrund des Mischverkehrs heutige Kommunikationsmittel nicht mehr funktionieren. Zusammenfassend hat sich ergeben, dass für die als kritisch eingeschätzten Szenarien bereits Lösungsansätze für neue Kommunikationsmittel vorliegen. Dass in bestimmten Verkehrssituationen der Bedarf für weitere Kommunikationsmittel besteht, zeigt die heute in vielen Verkehrssituationen verwendete „Lichtlupe“, die nach § 16 StVO nur in bestimmten Anwendungsfällen eingesetzt werden darf. Auch hat sich gezeigt, dass zur Art und Weise der Informationsweitergabe sowie zum Informationsgehalt künftiger technologiegestützter Kommunikationskonzepte offene Fragen bestehen.

Das Fortschreiten der technischen Entwicklungen und die Vielzahl an unterschiedlichen neuen Konzepten zeigt das große Interesse der Industrie, eine Alternative zu den gestengestützten Kommunikationsmöglichkeiten eines menschlichen Fahrers abzubilden. Die Resultate der vorliegenden Untersuchung zeigen jedoch nur in vereinzelt Verkehrsszenarien einen möglichen Bedarf zusätzlicher Kommunikationsmittel. Die eigens getroffenen Erkenntnisse sowie die Hinweise aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Studien und Forschungsinitiativen in diesem Kontext, und nicht zuletzt die wissenschaftlichen Beiträge aus dem Expertenworkshop zeigen die Aktualität der betrachteten Thematik, jedoch auch die noch offenen Forschungsfragen, von denen zwei Themenkomplexe prioritär angegangen werden sollten. Zum einen sollte die bisher experimentell geprägte Forschung auf reale Bedingungen im Feld erweitert werden, um die Wirksamkeit neuer Kommunikationsmittel unter Berücksichtigung von Verhaltenskonsequenzen zu untersuchen und die externe Validität der vorliegenden Befunde zu erhöhen. Zum anderen sollten die Anforderungen und Bedürfnisse der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen wie z. B. Kinder, Ältere und mobilitätseingeschränkte Personen an die neuen Kommunikationsmittel zukünftig stärker berücksichtigt werden.

Literatur

- ACKERMANN, C.; BEGGIATO, M.; BLUHM, L.-F. & KREMS, J. F. (2018): Vehicle Movement and its Potenzial as Implicit Communication Signal for Pedestrians and Automated Vehicle. In: van NES, NICOLE & VOEGELÉ, C. (Eds.), Proceedings of The 6th HUMANIST Conference). Lyon: HUMANIST Publications
- ACKERMANN, C.; BEGGIATO, M.; SCHUBERT, S. & KREMS, J. F. (2019): An experimental study to investigate design and assessment criteria: What is important for communication between pedestrians and automated vehicles? *Applied Ergonomics*, 75, pp. 272–282
- ACKERMANN, C.; BEGGIATO, M.; BLUHM, L.-F.; LÖW, A.; KREMS, J. F. (2019): Deceleration parameters and their applicability as informal communication signal between pedestrians and automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, pp. 757–768
- ALTINSOY, E. et al. (2015): Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen. Köln
- BAUER, T.; RISSER, R.; TESKE, W. & VAUGHAN, C. (1980): Kommunikation im Straßenverkehr – Untersuchung über die Kommunikationsgewohnheiten und Kommunikationsbedürfnisse der Verkehrsteilnehmer: Endbericht für das Teilprojekt I. Wien
- BEGGIATO, M.; WITZLACK, C.; SPRINGER, S. & KREMS, J. (2018): The Right Moment for Braking as Informal Communication Signal Between Automated Vehicles and Pedestrians in Crossing Situations. In: STANTON, N. A. (Ed.), *Advances in Human Aspects of Transportation*, pp. 1072–1081, Cham: Springer International Publishing
- BEN-BASSAT, T. & SHINAR, D. (2006): Ergonomic Guidelines for Traffic Sign Design Increase Sign Comprehension. *Human Factors*, 48(1), pp. 182–195
- BJÖRKLUND, G. M. & ÅBERG, L. (2005): Driver behaviour in intersections: Formal and informal traffic rules. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(3), pp. 239–253
- BÖCKLE, M.-P.; BRENDEN, A. P.; KLINGEGÅRD, M.; HABIBOVIC, A. & BOUT, M. (2017): SAV2P – Exploring the impact of an interface for shared automated vehicles on pedestrians experience. In: LÖCKEN, A.; BOLL, S. & POLITIS, I. et al. (Eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct – AutomotiveUI*, 17 (pp. 136–140). New York, New York, USA: ACM Press
- BROWN, B. & LAURIER, E. (2017): The trouble with autopilots: assisted and autonomous driving on the social road. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 416–429). ACM
- BUCK, R. & VANLEAR, Arthur (2002): Verbal and Nonverbal Communication: Distinguishing Symbolic, Spontaneous, and Pseudo-Spontaneous Nonverbal Behavior. *Journal of Communication*, 52(3), pp. 522–541
- BULLIS, K. (2012): How Do You Know An Autonomous Vehicle Has Seen You? <https://www.technologyreview.com/s/427743/how-do-you-know-an-autonomous-vehicle-has-seen-you/>. Accessed 8/8/2019
- CEUNYNCK, T. de; POLDERS, E.; DANIELS, S.; HERMANS, E.; BRIJS, T. & WETS, G. (2013): Road Safety Differences between Priority-Controlled Intersections and Right-Hand Priority Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2365(1), pp. 39–48
- CHANG, C.-M.; TODA, K.; SAKAMOTO, D. & IGARASHI, T. (2017): Eyes on a Car: an Interface Design for Communication between an Autonomous Car and a Pedestrian. In: BOLL, S.; PFLEGING, B.; POLITIS, I.; LARGE, D. & DOMNEZ, B. (Eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications – AutomotiveUI*, 17 (pp. 65–73). New York, New York, USA: ACM Press
- CHARISI, V.; HABIBOVIC, A.; ANDERSSON, J.; LI, J. & EVERS, V. (2017): Children's Views on Identification and Intention Communication of Self-driving Vehicles. In: BLIKSTEIN, P. &

- ABRAHAMSON, D. (Eds.), Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children – IDC ,17 (pp. 399–404). New York, New York, USA: ACM Press
- CLAMANN, M.; AUBERT, M. & CUMMINGS, M. L. (2017): Evaluation of vehicle-to-pedestrian communication displays for autonomous vehicles. In: Proceedings of Transportation Research Board, 96th Annual Meeting, Washington DC, USA. Retrieved from: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1437891> (18.04.2018)
- CLOUTIER, M.-S.; LACHAPPELLE, U.; D'AMOURS-OUELLET, A.-A.; BERGERON, J.; LORD, S. & TORRES, J. (2017): „Outta my way!“ Individual and environmental correlates of interactions between pedestrians and vehicles during street crossings. *Accident; analysis and prevention*, 104, pp. 36–45
- DEB, S.; STRAWDERMAN, L. J. & CARRUTH, D. W. (2018): Investigating pedestrian suggestions for external features on fully autonomous vehicles: A virtual reality experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 59, pp. 135–149
- DEY, D. & TERKEN, J. (2017): Pedestrian Interaction with Vehicles: Roles of Explicit and Implicit Communication. In: BOLL, S.; PFLEGING, B.; POLITIS, I.; LARGE, D. & DOMNEZ, B. (Eds.), Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications – AutomotiveUI ,17, pp. 109–113, New York, New York, USA: ACM Press
- de CLERCQ, K.; DIETRICH, A.; NÚÑEZ VELASCO, J. P.; de WINTER, J. & HAPPEE, R. (2019): External human-machine interfaces on automated vehicles: effects on pedestrian crossing decisions. *Human factors*, 0018720819836343
- EKMAN, P. & FRIESEN, W. V. (1969): The Repertoire of Nonverbal Behavior: Categories, Origins, Usage, and Coding. *Semiotica*, 1(1), pp. 49–98
- FACTOR, R.; MAHALEL, D.; YAIR, G. (2007): The social accident: a theoretical model and a research agenda for studying the influence of social and cultural characteristics on motor vehicle accidents. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 39, pp. 914-921
- FÄRBER, B. (2015): Kommunikationsprobleme zwischen autonomen Fahrzeugen und menschlichen Fahrern. In: MAURER, M.; GERDES, J. C.; LENZ, B. & WINNER, H. (Hrsg.), *Autonomes Fahren* (S. 127–146). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2015): Richtlinien für Lichtsignalanlagen RiLSA
- FRIDMAN, L.; MEHLER, B.; XIA, L.; YANG, Y.; FACUSSE, L. Y. & REIMER, B. (2017): To walk or not to walk: Crowdsourced assessment of external vehicle-to-pedestrian displays. *arXiv preprint arXiv:1707.02698*
- FUEST, T.; SOROKIN, L.; BELLEM, H. & BENGLER, K. (2018): Taxonomy of Traffic Situations for the Interaction between Automated Vehicles and Human Road Users. In: Stanton, N. A. (Ed.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (pp. 708–719). Cham: Springer International Publishing
- FUEST, T.; MICHALOWSKI, L.; TRARIS, L.; BELLEM, H.; BENGLER, K. (2018): Using the driving behavior of an automated vehicle to communicate intentions – a wizard of oz study. In: 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 3596–3601. IEEE
- GATEway Project (2017): Driver responses to encountering automated vehicles in an urban environment. Project report PPR807. <https://gateway-project.org.uk/wp-content/uploads/2017/02/Driver-responses-to-encountering-automated-vehicles-in-an-urban-environment-1.pdf>. Accessed 29 Aug 2017
- GASSER, FREY, SEECK, AUERSWALD, (2017): Comprehensive Definitions for automated driving and ADAS, 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit, USA, 2017
- GUÉGUEN, N.; MEINER, S. & EYSSARTIER, C. (2015): A pedestrian's stare and drivers' stopping behavior: A field experiment at the pedestrian crossing. *Safety Science*, 75, pp. 87–89
- GUÉGUEN, N.; EYSSARTIER, C. & MEINER, S. (2016): A pedestrian's smile and drivers' behavior: When a smile increases careful

- driving. *Journal of Safety Research*, 56, pp. 83–88
- HAGEN, K.; SCHULZE, C. & SCHLAG, B. (2012): Verkehrssicherheit von schwächeren Verkehrsteilnehmern im Zusammenhang mit dem geringen Geräuschniveau von alternativen Antrieben. *FAT-Schriftenreihe* 245
- HENSCH, A.; NEUMANN, I.; BEGGIATO, M.; HALAMA, J. & KREMS J. F. (2020): How Should Automated Vehicles Communicate? – Effects of a Light-Based Communication Approach in a Wizard-of-Oz Study. In: N. Stanton (Ed.): *Advances in Human Factors of Transportation. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 964, pp. 79-91. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-20503-4_8
- HERZBERG, P. Y. & SCHLAG, B. (2006): Aggression und Aggressivität im Straßenverkehr. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 37(2), S. 73–86
- HILLIS, W. D.; WILLIAMS, K. I.; TOMBRELLO, T. A.; SARRETT, J. W.; KHANLIAN, L. W.; KAEHLER, A. L. & HOWE, R. (2016): U.S. Patent No. 9,475,422. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
- HÖLZEL, A. (2008): Unterscheidung von formeller und informeller Kommunikation im Straßenverkehr. Diplomarbeit. Universität Wien. Wien
- IMBSWEILER, J.; RUESCH, M. & HEINE, T. et al. (2018): Die Rolle der expliziten Kommunikation im Straßenverkehr. In: *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Arbeit(s), Wissen.Schaf(f)t – Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung* (S. 1–5). Dortmund: GFA Press
- JOISTEN, P.; ALEXANDI, E.; DREWS, R.; KLASSEN, L.; PETERSOHN, P.; PICK, A. & ABENDROTH, B. (2019): Displaying vehicle driving mode—Effects on pedestrian behavior and perceived safety. In *International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications*, pp. 250-256. Springer, Cham
- KAUFFMANN, N.; WINKLER, F.; NAUJOKS, F. & VOLLRATH, M. (2018): “What Makes a Cooperative Driver?” Identifying parameters of implicit and explicit forms of communication in a lane change scenario. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, pp. 1031–1042
- KEFERBÖCK, F. & RIENER, A. (2015): Strategies for Negotiation between Autonomous Vehicles and Pedestrians. In: WEISBECKER, A.; BURMESTER, M. & SCHMIDT, A. (Hrsg.), *Mensch und Computer 2015, Workshopband*, S. 525–532. Stuttgart, Deutschland: Oldenbourg Wissenschaftsverlag
- KITAZAKI, S. & MYHRE, N. J. (2015): Effects of Non-Verbal Communication Cues on Decisions and Confidence of Drivers at an Uncontrolled Intersection. In: *Proceedings of the 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design: driving assessment 2015*, pp. 113–119. Iowa City, Iowa: University of Iowa
- KLÄDTKE, R.; HAUPTMANN, S. & BÖHM, G. (2018): Lichttechnik zur Kommunikation beim autonomen Fahren. *ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift*, 120(2), S. 30–35
- KLIENTKE, C. L. (1977): Compliance to Requests Made by Gaze and Touching Experimenters in Field Settings. *Journal of Experimental Social Psychology*, 13, pp. 218–223
- LAGSTRÖM, T. & LUNDGREN, V. M. (2015): AVIP – Autonomous vehicles interaction with pedestrians. Masterarbeit. Chalmers University of Technology. Gothenborg, Sweden
- LIU, Y.-C. & TUNG, Y.-C. (2014): Risk analysis of pedestrians’ road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed. *Safety Science*, 63, pp. 77–82
- MAAG, C.; KRÜGER, H.-P.; BENMIMOUN, A.; NEUNZIG, D. (2004): Aggressionen im Straßenverkehr. Modellierung von Individual- und Systemverhalten. *Z. f. Verkehrssicherheit* 50, 2, S. 132–140
- MAHADEVAN, K.; SOMANATH, S. & SHARLIN, E. (2018a): Can Interfaces Facilitate Communication in Autonomous Vehicle-Pedestrian Interaction? In: KANDA, T.; ŠABANOVIĆ, S.; HOFFMAN, G. & TAPUS, A. (Eds.), *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction – HRI*, 18, pp. 309–310. New York, New York, USA: ACM Press

- MAHADEVAN, K.; SOMANATH, S. & SHARLIN, E. (2018b): Communicating Awareness and Intent in Autonomous Vehicle-Pedestrian Interaction. In: MANDRYK, R.; HANCOCK, M.; PERRY, M. & COX, A. (Eds.), *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI*, 18, pp. 1–12. New York, New York, USA: ACM Press
- MAIER, R.; BERGER, R. & KOLLMUS, B. (2017): *Weiterentwicklung der Verfahren zur Ableitung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen*. Bremen: Fachverlag NW
- MAZZEGA, J. (2019): *Forschungsprojekt Pegasus – Automatisiertes Fahren effektiv absichern*. <https://www.pegasusprojekt.de/de/home>. Accessed 7/31/2019
- 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, pp. 244–252
- MERTEN, K. (1981): *Informelle Zeichengebung im Straßenverkehr: Bericht zum Forschungsprojekt 7521 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung*. Köln
- MONZEL, M.; KEIDEL, K.; SCHUBERT, W. & BANSE, R. (2018): Feldstudie zur Erprobung einer Vorderen Bremsleuchte am Flughafen Berlin-Tegel. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 64(1), S. 210–218
- MOORE, D.; CURRANO, R.; STRACK, G. E. & SIRKIN, D. (2019, SEPTEMBER): The Case for Implicit External Human-Machine Interfaces for Autonomous Vehicles. In *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, pp. 295–307. ACM
- NATHANAEL, D.; PORTOULI, E.; PAPA-KOSTOPOULOS, V.; GKIKAS, K.; AMDITIS, A. (2019): Naturalistic observation of interactions between car drivers and pedestrians in high density urban settings. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 823, pp. 389–397
- ORTLEPP, J. & BUTTERWEGGE, P. (2016): *Unfalltypen-Katalog – Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps*. Berlin
- PETZOLDT, T.; SCHLEINITZ, K. & BANSE, R. (2017): Laboruntersuchung zur potenziellen Sicherheitswirkung einer vorderen Bremsleuchte in Pkw. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 63(1), S. 19–24
- PORTOULI, E.; NATHANAEL, D. & MARMARAS, N. (2014): Drivers' communicative interactions: on-road observations and modelling for integration in future automation systems. *Ergonomics*, 57(12), pp. 1795–1805
- POWELLEIT, M.; WINKLER, S. & VOLLRATH, M. (2018): Cooperation through communication—Using headlight technologies to improve traffic climate. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe*, pp. 149–160
- RASOULI, A.; KOTSERUBA, I. & TSOTSOS, J. K. (2017): Agreeing to cross: How drivers and pedestrians communicate. In: *2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 264–269
- RASOULI, A. & TSOTSOS, J. K. (2018a): *Autonomous Vehicles that Interact with Pedestrians: A Survey of Theory and Practice*
- RASOULI, A. & TSOTSOS, J. K. (2018b): *Joint Attention in Driver-Pedestrian Interaction: from Theory to Practice*
- RENGE, K. (2000): Effect of driving experience on drivers' decoding process of roadway interpersonal communication. *Ergonomics*, 43(1), pp. 27–39
- RENGE, K.; SCHLAG, B.; WELLER, G.; PERÄÄHO, M. & KESKINEN, E. (2001): Comprehension and evaluation of road users' signaling. *Polizei & Wissenschaft*(1), S. 59–63
- RESCHKE, J.; RABENAU, P.; HAMM, M. & NEUMANN, C. (2018): *Symbolische Fahrzeug-Fußgänger-Kommunikation*. In: *VDI-Berichte Nr. 2323*, S. 95–106
- RISSER, R. (1988): *Kommunikation und Kultur des Straßenverkehrs*. Wien: Literas-Verlag
- RISTO, M.; EMMENEGGER, C.; VINKHUYZEN, E.; CEFKIN, M. & HOLLAN, J. (2017): Human-Vehicle Interfaces: The Power of Vehicle Movement Gestures in Human Road User Coordination. In: *Proceedings of the 9th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*

- driving assessment 2017, pp. 186–192, Iowa City, Iowa: University of Iowa
- RÖHNER, J. & SCHÜTZ, A. (2016): *Psychologie der Kommunikation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden
- SCHIEBEN, A.; WILBRINK, M.; KETTWICH, C.; MADIGAN, R.; LOUW, T.; & MERAT, N. (2019): Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants: design considerations based on human needs and expectations. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), pp. 69-85
- SCHLAG, B. (2013): Persönliche Veränderungen der Mobilität und der Leistungsfähigkeit im Alter. In: SCHLAG, B. & BECKMANN, K. J. (Hrsg.). *Mobilität und demografische Entwicklung*, S. 120–143. Köln: TÜV Media
- SCHLEINITZ, K.; PETZOLDT, T.; FRANKE-BARTHOLDT, L.; KREMS, J. & GEHLERT, T. (2017): The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles. *Safety Science*, 92, pp. 290–297
- SCHMIDT, S. & FÄRBER, B. (2009): Pedestrians at the kerb – Recognising the action intentions of humans. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(4), pp. 300–310
- SCHULZ von THUN, F. (1981): *Miteinander reden 1: Störungen und Klärungen*. Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag
- SCHÜLLER, H.; PLESKER, M.; ROSSMERKEL, M.; SCHADE, J.; RÖSSGER, L.; REHBERG, K.; MAI-ER, R. (in Druck): Systematische Untersuchung sicherheitsrelevanten Fußgänger-verhaltens. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*. Projekt FE 82.602/2013
- SHANNON, C. E. & WEAVER, W. (1949): *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana Champaign: University of Illinois Press
- SHINAR D.; VOGELZANG M. (2013): Comprehension of traffic signs with symbolic versus text Displays. *Transportation Research Part F* 18, pp. 72–82
- Society of Automotive Engineers (2018): *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles J3016_201806*
- STANCIU, S. C.; EBY, D. W.; MOLNAR, L. J.; ST. LOUIS, R. M. & ZANIER, N. (2017): *Interpersonal Communication and Issues for Autonomous Vehicles*
- STÖPPLER, R. (2002): *Mobilitäts- und Verkehrserziehung bei Menschen mit geistiger Behinderung*. Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt
- SUCHA, M. (2014): *Road Users' Strategies and Communication: Driver-Pedestrian Interaction*. In: *Proceedings of Transport Research Arena (TRA) 2014*
- VÁRHELYI, A. (1998): Drivers' Speed Behaviour at a Zebra Crossing: A Case Study. *Accident; analysis and prevention*, 30(6), pp. 731–743
- WATZLAWICK, P.; BEAVIN, J. H. & JACKSON, D. D. (1969): *Menschliche Kommunikation*. Wien: Huber
- WILBRINK, M.; SCHIEBEN, A.; KAUP, M.; WILLRODT, J.-H.; WEBER, F. & LEE, Y. M. (2018): *InterACT D.4.1. Preliminary interaction strategies for the interACT Automated Vehicles*
- WILDE, G. J. S. (1976): *Social Interaction Patterns in Driver Behavior: An Introductory Review*. *Human Factors*, 18(5), pp. 477–492
- ZIMMERMANN, R. & WETTACH, R. (2017): *First Step into Visceral Interaction with Autonomous Vehicles*. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications – AutomotiveUI '17*, pp. 58–64. New York, New York, USA: ACM Press
- ZWICKER, L.; PETZOLDT, T.; SCHADE, J. & SCHAARSCHMIDT, E. (2019): *Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern – Was brauchen wir überhaupt?* In: BRUDER, R. & WINNER, H. (Hrsg.), *Hands off, Human Factors off? Welche Rolle spielen Human Factors in der Fahrzeug-automation?* 9. Darmstädter Kolloquium, S. 47–57

Bilder

- Bild 1-1: Übersicht zum methodischen Vorgehen
- Bild 2-1: Sender-Empfänger-Modell nach SHANNON & WEAVER (1949)
- Bild 3-1: Botschaften des Senders (blauer Pkw) an einer Kreuzung mit Vorfahrtssignalisation
- Bild 3-2: Beispielabbildung der Inhalte je Szenarienblatt (1)
- Bild 3-3: Beispielabbildung der Inhalte je Szenarienblatt (2)
- Bild 4-1: Auswahl relevanter Szenarien für den Mischverkehr
- Bild 4-2: Beispielabbildung Szenarienkatalog
- Bild 4-3: Interaktion zwischen Fahrzeugen in Engstellen (exemplarisch)
- Bild 4-4: Interaktion zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern auf Parkflächen (exemplarisch)
- Bild 4-5: Interaktion zwischen Fahrzeugen in Verflechtungsbereichen auf BAB (exemplarisch)
- Bild 5-1: Tischthema 1 – Lösungsansätze für künftige Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge
- Bild 5-2: Tischthema 2 – Kriterien zur Qualifizierung künftiger Kommunikationsmittel automatisierter Fahrzeuge
- Bild 5-3: Tischthema 3 – Vor- und Nachteile einer generellen Kenntlichmachung automatisierter Fahrzeuge
- Bild 6-1: Forschungsfahrzeug der japanischen Keio University (Foto privat)

Tabellen

- Tab. 2-1: Ebenen einer Nachricht nach SCHULZ von THUN (1981) mit Beispielen
- Tab. 2-2: Kommunikationsmittel nach BAUER et al. (1980: 42–49) und MERTEN (1981: 20–21)
- Tab. 3-1: Vier-Felder-Tafel der möglichen Botschaften bezogen auf die Vorfahrtsregelung
- Tab. 3-2: Beurteilung der Relevanz eines Szenarios
- Tab. 4-1: Automatisierungsgrade der Fahrzeugfunktionen (nach SAE, 2018)
- Tab.5-1: Auswahl von allgemeingültigen Qualitätskriterien technischer Systeme nach ISO-25010/9126

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren

Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen

Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung

Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw

Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic

Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung

Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires

Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit

Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen

Süßmann, Lienkamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eines Testverfahrens

Schreck, Seiniger € 14,50

F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung

Schmidt, Georges € 14,50

F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity

Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalysatoren

Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters

Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl € 16,50

F 108: Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten – Maßnahmen zur Gewährleistung

von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

F 109: Ermittlung des Umfangs von Abweichungen bei Durchführung der Abgasuntersuchung zwischen Messung am Auspuff und Abfrage des On-Board-Diagnosesystems

Schröder, Steickert, Walther, Ranftl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 110: Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen

Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 111: Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübelt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

F 112: Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens € 17,50

F 112b: Final Report Camera-Monitor-Systems as a Replacement for Exterior Mirrors in Cars and Trucks

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 113: Erweiterung der Software TREMOD um zukünftige Fahrzeugkonzepte, Antriebe und Kraftstoffe

Bergk, Heidt, Knörr, Keller € 15,50

F 114: Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen

Oehme, Berberich, Maier, Böhm € 17,50

F 115: Statischer und dynamischer Fahr Simulator im Vergleich – Wahrnehmung von Abstand und Geschwindigkeit

Frey
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

F 116: Lang-Lkw – Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt

Süßmann, Förg, Wenzelis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 117: 7th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference 2016 at Hannover Medical School

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 118: Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen

Voß, Schwalm

€ 16,50

F 119: Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw

Förg, Süßmann, Wenzelis, Schmeiler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 120: Emissionen von über 30 Jahre alten Fahrzeugen

Steven, Schulte, Hammer, Lessmann, Pomsel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 121: Laufleistungsabhängige Veränderungen der CO₂-Emissionen von neuen Pkw

Pellmann, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

F 122: Revision der Emissionsmodellierung für leichte Nutzfahrzeuge – Bedarfsanalyse auf Basis einer Vorstudie

Auf der Maur, Strassburg, Knörr, Heidt, Wuethrich

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 123: Motorradschutzhelme – Identifizierung ihres Verbesserungspotenzials unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens

Pollak, Schueler, Bourdet, Deck, Willinger

€ 19,50

F 124: Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste

Heinrich, Pollesch, Schober, Stamatakis, Grzebellus, Radike, Schneider, Stapelfeld, Huber

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Bierbach, Adolph, Frey, Kollmus, Bartels,

Hoffmann, Halbach

€ 19,50

2019

F 126: Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb

Weißgerber, Grattenthaler, Hoffmann

€ 15,50

F 127: Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer durch Verbesserung ihrer visuellen Aufmerksamkeit mittels „Sehfeldassistent“

Kupschick, Bürglen, Jürgensohn

€ 16,50

F 128: Potenzieller gesellschaftlicher Nutzen durch zunehmende Fahrzeugautomatisierung

Rösener, Sauerbier, Zlocki, Eckstein, Hennecke, Kemper, Oeser

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 129: Anforderungen an die dynamische Leuchtweitenregelung zur Vermeidung der Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer

Kosmas, Kobbert, Khanh

€ 15,50

F 130: Infrastrukturbedarf automatisierten Fahrens – Grundlagenprojekt

Dierkes, Friedrich, Heinrich, Hoffmann, Maurer, Reschka, Schendzielorz, Ungureanu, Vogt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 131: Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme (FAS/FIS) – Personale Voraussetzungen ihres Erwerbs und Nutzung durch ältere Kraftfahrerinnen und -fahrer

Hargutt, Kenntner-Mabiala, Kaussner, Neukum

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

F 132: Handbuch Barrierefreiheit im Fernbuslinienverkehr

Boenke, Grossmann, Nass, Schäfer

€ 17,50

F 133: Lkw-Notbremsassistentensysteme

Seiniger, Heini, Bühne, Gail

€ 15,50

F 134: Stationär-Geräusch von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen

Altinsoy, Lachmann, Rosenkranz, Steinbach

€ 19,00

F 135: Abweichungen von der akzeptierten Fahrleistungsschwelle in automatisierten Fahrsituationen

Voß, Schwalm

€ 18,00

2021

F 136: Kamera-Monitor-Systeme als Fahrerinformationsquelle

Leitner, Oehme, de Silva, Blum, Berberich, Böhm

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 137: Konzept für die Erzeugung eines ISO-konformen UML-Modells und Generierung eines GML-Applikationsschemas für DATEX II zur Verbesserung der Interoperabilität

Lauber, Steiger, Kopka, Lapolla, Freudenstein, Kaltwasser

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 138: Grundlagen zur Kommunikation zwischen automatisierten Kraftfahrzeugen und Verkehrsteilnehmern

Schaarschmidt, Yen, Bosch, Zwickel, Schade, Petzold

€ 16,50

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.