

Chancen in der Verkehrs- beeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur- Kommunikation

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 347

bast

Chancen in der Verkehrs- beeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur- Kommunikation

von

Christoph Schwietering
Denis Löbbeling
Ingenieurbüro Schwietering
Aachen

Matthias Spangler
Sebastian Gabloner
Fritz Busch
Institut für Verkehrstechnik
TU München

Christian Roszak
Theis Consult GmbH
Aachen

Stefan Dobmeier
Thorsten Neumann
Institut für Verkehrssystemtechnik, DLR
Braunschweig/Berlin

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 347

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 03.0522
Steuerungsstrategien für VBA im Kontext von C2I-Kommunikation

Fachbetreuung
Jessica Hegewald

Referat
Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb

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 0943-9331
ISBN 978-3-95606-602-3

Bergisch Gladbach, August 2021

Kurzfassung – Abstract

Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation

Zur Steigerung der Verkehrssicherheit und der Leistungsfähigkeit des Verkehrsablaufs auf Autobahnen wird kollektives Verkehrsmanagement mit Hilfe von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) betrieben. Für VBA sind die Möglichkeiten der Beeinflussung heute in der Regel an örtliche Infrastruktur gebunden, d. h. es müssen Erfassungs- und Anzeigeeinrichtungen längs des Straßenverlaufs installiert sein. In Zukunft kann dieser Informationsverbund in einer Verkehrsrechnerzentrale (VRZ) mit Hilfe der C2I-Technologie optimiert werden.

Bislang wurden erste Applikationen zur Demonstration des Potenzials von kooperativen Systemen in Forschungsprojekten implementiert. Diese evaluieren aber vorrangig die eingesetzte Technik. Eine strukturierte Analyse des Potenzials aus verkehrstechnischer Sicht und die Entwicklung von Anwendungsszenarien sowie die Integration von C2I in die Verkehrsbeeinflussung fehlen derzeit.

Dieses Projekt hat daher die Erarbeitung der notwendigen Arbeitsschritte für die Integration von C2I Technologie in die VBA und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Überführung in die Praxis zum Ziel. Im Rahmen des Projekts werden ausschließlich kollektive Szenarien betrachtet.

Nach einer umfassenden Darlegung der Grundlagen sowohl auf Seiten der VBA-Technologien als auch der aktuellen technischen und funktionalen Standardisierung der C2I-Technologie werden zunächst die Potenziale der Integration der C2I Technologie in die Verkehrsbeeinflussung analysiert. Parallel zu der Erhebung der Potenziale werden mögliche Anwendungsfälle für die Integration der C2I Technologie in die VBA definiert. Die Erweiterungen der Anwendungsfälle und Funktionen der VBA durch die Integration fahrzeugseitiger Informationen aus C2I können zu einer weiteren Automatisierung und verkehrstechnischen Funktionserweiterung durchgeführter Prozesse in die VBA führen. Aus den Anwendungsfällen wird ein gemeinsamer Situations- und Maßnahmenkatalog aufgestellt, der die funktionale Kommunikationsba-

sis zwischen der C2I-Technologie und der VBA darstellt.

Aufbauend auf den Potenzialen und Anwendungsszenarien werden Anforderungen an die Systeme VBA und C2I, die zur Umsetzbarkeit dieser Anwendungsszenarien aus funktionaler Sicht erfüllt werden müssen, definiert. Diese werden abschließend in Handlungsempfehlungen strukturiert und zeitlich geordnet, sodass eine schrittweise Einführung der Integration von C2I Technologie in die VBA möglich wird.

Durch die Integration der C2I Technologie in die kollektive Verkehrsbeeinflussung kann ein wertvoller Beitrag zur Steigerung der Präzision der Situationserkennung geleistet werden. Die strategische Koordinationsfunktion der VRZ bei der Auswahl kollektiver verkehrstechnischer Maßnahmen wird damit umso bedeutender und verkehrssicherheitstechnische Potenziale kollektiver Verkehrsbeeinflussung werden besser ausgeschöpft.

Opportunities in traffic management systems through vehicle-infrastructure communication

In order to increase traffic safety and the efficiency of the traffic flow on motorways, collective traffic management is operated with the aid of traffic management systems (VBA). For VBA, the possibilities of influencing traffic today are usually tied to local infrastructures, meaning that detection and display devices must be installed along the road. In the future, this information network can be optimized with the help of C2I technology.

To date, first applications have been implemented to demonstrate the potential of cooperative systems in research projects. However, these primarily evaluate the technology used. A structured analysis of the potential from a traffic engineering point of view and the development of application scenarios as well as the integration of C2I into the traffic control are currently not available.

This project therefore aims to develop the necessary work steps for the integration of C2I technology in the VBA and the development of recommendations for the practical implementation. The project will

only consider collective traffic management scenarios.

After a comprehensive presentation of the fundamentals both on the side of traditional VBA technologies and the current technical and functional standardization of C2I technology, the potentials of integrating C2I technology into traffic influencing will be analyzed. Parallel to the survey of potentials, possible applications for the integration of C2I technology into the VBA are defined. The expansions of the application cases and functions of the VBA by the integration of vehicle-side information from C2I can lead to a further automation and functional expansion of performed processes in the VBA. From the application cases, a common situation and measures catalog is drawn up, which represents the functional communication basis between the C2I technology and the VBA.

Based on the potentials and application scenarios, requirements for the systems VBA and C2I, which must be met to implement these application scenarios from a functional point of view, are defined. These are finally structured into action recommendations and arranged in chronological order, so that a gradual introduction of the integration of C2I technology into the VBA becomes possible.

The integration of C2I technology into collective traffic control can make a valuable contribution to increasing the precision of situational recognition, the range of situations and measures of collective traffic control, and thus better exploiting existing traffic engineering and traffic safety potentials.

Summary

Opportunities in traffic management systems through vehicle-infrastructure communication

1 Problem definition and objectives

To increase traffic safety and the efficiency of the traffic flow on highways in Germany traffic engineering measures for data collection and control of traffic flow by telematic hardware and central software in a traffic management system (VBA) are carried out. For VBA, the opportunities for influencing today are usually tied to local infrastructure, meaning that detection and display devices must be installed along the road. In the future, this information network can be optimized using C2I technology.

In addition to position data, enhanced vehicle-generated information about traffic, road and environment conditions can be transmitted via cooperative systems (C2I). As a result, areas of the road network that have not yet been adequately detected can be included in the switching strategies of VBA and generate spatially and temporally high-resolution images. The potential measures in VBA could thus become just as high-resolution, versatile and effective.

In numerous research projects, e.g. simTD, EcoMove, URBAN or C-Roads, aspects of C2I-based traffic control have been investigated. It has been shown that the existing algorithms around the C2I data pool can be meaningfully extended.

So far, the first applications for demonstrating the potential of cooperative systems have been implemented in the mentioned projects. However, these primarily evaluate the technology used. A structured analysis of the potential from a traffic engineering perspective and the development of application scenarios as well as the integration of C2I in the traffic control are currently missing/not available.

This gap should be closed by this project. The project therefore aims to develop the necessary work steps for the integration of C2I technology in the VBA and the development of recommendations

for action for the transfer into practice. The project will only consider collective scenarios. The functionality for the realization of individual influencing strategies can / will come from the vehicle industry.

2 Research methodology

As part of a basic survey, the state of the art was initially raised with regard to C2I technology and traffic control. The aim was to present the measures currently being implemented as well as the detection and display options in order to examine the extent to which they can be expanded or improved through the integration of C2I.

Based on this, the potentials of integrating C2I technology into traffic control were analyzed.

Parallel to the assessment of the potential, possible applications for the integration of C2I technology into the VBA were defined. The extensions of the application cases and functions of the VBA by the integration of vehicle-side information from C2I, can lead to a further automation and functional enhancement of the processes performed in the VBA. From the application cases, a common catalogue of situations and actions was set up, which represents the functional communication basis between the C2I technology and the VBA.

Based on the potentials and application scenarios, requirements for the VBA and C2I systems were defined.

The resulting requirements have been structured into action recommendations and arranged in chronological order, so that a gradual introduction of the integration of C2I technology into the VBA is possible. First of all, the steps that can be implemented with a manageable effort were identified in order to gain initial experience and further implement the integration of C2I into VBA in a targeted manner. The drafting of the recommendations for action was coordinated with practice partners and experts.

3 Research results

3.1 Potentials

To determine the potentials, the usability of all C2I data of vehicles on motorways was investigated

and analyzed. In doing so, idealistic framework conditions (for example, full equipment of all vehicles with C2I technology) were deliberately adopted, as they are not yet implemented or are available at the present time in order to capture as many potentials as possible and to subject them to an analysis.

For the potential analysis, all already defined and standardized, as well as possibly future available, traffic-related data were considered, which vehicles collect during the drive.

According to experts, the greatest potential is seen in the area-wide provision of information on the vehicle side and comprehensive data acquisition on the vehicle. A comprehensive equipment with C2I technology and the associated availability of information is characterized in particular by the fact that vehicles will in future be able to complement and possibly partially replace the operator-side telematic infrastructure.

In addition, the vehicle-side HMI (Human Machine Interface) provides vehicle-side actuators that can pass on traffic-relevant information to the road user across the board. This also applies in the areas in which no conventional telematic infrastructure exists because, for example, there are no VBAs available there.

Even though the vehicle collective is not yet completely made up of vehicles equipped with C2I technology, it can be assumed that this information, starting at a certain equipment level, will have a strong influence on the vehicle population and thus the benefits of the C2I technology begin early to open up.

3.2 Application scenarios

44 application scenarios have been defined in which added value can be generated from the interaction between the VBA and C2I systems. The application scenarios cover the entire journey of a road user from the entrance to the freeway until the exit.

Essential components of these application scenarios in the sense of traffic control are the detection of the situations described therein and the measures subsequently to be implemented for coping with the situation.

When evaluating the feasibility of the data acquisition or influencing strategies in the C2I system, it was

assumed that the system would be available everywhere and for the entire vehicle collective (full equipment). It should be noted that over a long period of time following the market introduction of C2I, mixed traffic from equipped and un-equipped vehicles or vehicles with different equipment features (which covers only part of the possible functionality) is to be expected. This circumstance will limit the implementability and usefulness of the described application scenarios and lead to the situation that certain application scenarios cannot be meaningfully used. Some of the described application scenarios can only be implemented with full equipment. Thus, the C2I system is only able to reliably collect all parameters relevant to traffic control, such as traffic volume and traffic density, if the entire vehicle population is fully equipped.

When evaluating the feasibility of the data acquisition or the influencing strategies in the VBA system, it was assumed that there was a classical configuration in accordance with MARZ 1999 or the state of the art (including, for example, clearance from the sidelines, inflow regulation). Some useful enhancements could also be realized via an extended VBA ("VBA +") equipment. However, these expansions are subject to limitations. For example, a spatial extension in the same range of functions is economically justifiable if a corresponding benefit can be demonstrated. However, a reorganization of existing systems, for example with additional signs and plaque content, does not appear to be economically appropriate. A compression of the sensors and actuators must also be evaluated economically. A software-side functional enhancement seems to be economically appropriate and therefore feasible.

An economic feasibility assessment is not feasible under this project. Prerequisites for such an evaluation are the establishment of requirements for the participants as well as an assessment of the priorities of the described extensions in the sense of recommended actions.

3.3 Requirements concerning the C2I- and VBA-Technology

Based on the potentials and the application scenarios, requirements for C2I and VBA technology were specified. The requirements were documented as a high level specification. In a practical implementation, these must be specified in detail and project-specifically.

For the C2I technology to be meaningfully used in collective traffic control, it has to meet certain requirements for the sensors and the parameters determined from them as well as the actuators (HMI). These were documented in a total of 59 requirements on sensors and 32 requirements on actuators. The requirements on sensors include the definition of required parameters and the formation of situations or traffic information that are of importance for collective traffic management. In addition, requirements for data preparation, plausibility and location information are defined.

The C2I-side actuators must be able to pass on standardized measures and information relevant to collective traffic management to the road users in a suitable manner. It should be noted that information overlapping in time and space is prioritized and consistently communicated to the information and instructions transmitted via the collective VBA.

In order to integrate the C2I technology into the VBA system, the VBA system must also be expanded and adapted. For this purpose, a total of 65 requirements for the system architecture, the data acquisition and processing, the situation recognition, the range of measures as well as system-wide requirements were defined.

The integration of the data / information from the on-board sensors and the possibility of publishing traffic-related information directly into the vehicle results in additional benefits in the interaction of the VBA and C2I systems.

For this, the system architecture of the VBA system must be adapted accordingly. The MARZ 2018 already contains an architectural proposal for this purpose.

In the future, the level of data aggregation should be based more on object formation and "object tracking" through time and space, rather than on cyclical time and equidistant space intervals. Nevertheless, a meaningful basic cycle and distance to the VBA configuration (in particular to the distances between actuators) should fit. In addition, an appropriate spatial discretization must be defined. One approach would be to choose large sample rates for homogeneous densities, and for many density waves small sample rates. The spatial discretization also depends on the influencing measures. There is a need for research on object formation and tracking.

The additional traffic engineering potential from the point of view of the VBA system can only be called

up when the situational recognition algorithms are extended. Here further research is needed to design new algorithms that can operate on vehicle-generated data, and to extend and improve existing algorithms, if necessary.

For some proposed measures or extensions of measures, it is recommended to first examine scientifically whether the expected benefit can actually be achieved.

Likewise, the catalogue of measures should be expanded. This may also contain measures that cannot be implemented via the actuators of the VBA. Here, too, there is a need for research in order to design additional, technically meaningful and effective measures and design suitable publication options.

3.4 Recommended actions

Based on the requirements of the C2I and VBA systems, recommendations for action were developed on how to successfully implement the integration of C2I technology into collective traffic control. The recommendations for action are divided into recommendations for the implementation of the requirements for the two systems, recommendations for the technical implementation of a co-operation, organizational recommendations and a proposal for the grouping of application scenarios to be implemented in a reasonable time frame.

The requirements for the C2I and VBA systems were structured in the recommendations for action and arranged in chronological order, so that a gradual introduction of the integration of C2I technology in the traffic control is possible. This is considered to be reasonable in order to be able to gain experience with a manageable amount of effort at first and then continue to implement the integration purposefully. The developed action recommendations describe the necessary steps for a successful integration of the C2I technology in the collective traffic control. It is of great importance that representatives of both technologies enter into dialogue at the initiative of the representatives of VBA technology and work out the added value that arises for both sides through cooperation.

For a successful integration of the C2I technology in the collective traffic control open research questions were identified, which must be clarified before. In addition to an internationally uniform presentation of

information and influencing strategies, it is necessary to clarify the quality of the data collected by C2I so that they can be incorporated into collective traffic management. In addition, new situational awareness algorithms have to be developed that can process on-board data. In addition, the benefit of proposed measures and influencing strategies will be assessed and measures implemented will be developed.

4 Conclusions and preview

The aim of the research project was to develop recommendations for the integration of C2I technology into traffic control and transfer to practice. Based on an overview of the C2I and VBA technologies, the potential of C2I technology with regard to its use in collective traffic control was first of all recorded and documented. Together with practice partners, application scenarios were collected and described that exploit the potential of integrating C2I technology into traffic management.

As essential applications with transport relevance and high added value for the VBA operators (collective benefits) is considered:

- Faster and more reliable detection and end of the event → Measures to safeguard the event and inform the road user can be implemented more quickly, and any changes made are canceled after the end of the event on time.
- New, independent data source is being developed → Data from C2I technology can be used for quality assurance of VBA data as well as for data completion and data fusion (temporal / spatial).
- Rapid dissemination of information → Collective information can be transmitted directly to the vehicle.
- Direct communication with the customer (road user) is made possible → this creates transparency and trust by allowing actions to be founded and motivated.
- Vehicle-side system creates greater credibility → thus higher acceptance and compliance with collective measures, thus also higher efficiency in use.
- Precise queue end warning (temporal / spatial) → Increased traffic safety.

The integration of C2I technology into collective traffic control can make a valuable contribution to increasing the precision of situational awareness, the range of situations and measures of collective traffic influencing, and thus better exploiting existing traffic engineering and traffic safety potential. For successful integration, VBA technology representatives must enter into dialogue with the automotive industry as key drivers of C2I technology and actively contribute to the standardization process of C2I technology in order to represent the needs of collective traffic control.

The C2I technology cannot replace the VBA technology in the long term, as key traffic parameters such as traffic intensity and traffic density can only be detected reliably with full equipment of almost all vehicles with C2I technology. In addition, competence to assess traffic conditions and other conditions influencing traffic will, from a collective point of view, remain with the road operators, in particular when collective management measures are implemented which must be ordered by the public transport authority. However, the data collected in the C2I system, as well as the information channels available through the C2I system, can significantly increase the efficiency of collective interventions to promote the integration of both technologies.

Inhalt

Abkürzungen	12	2.4	Gesamtfazit.....	38
1 Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise	14	3 Potenziale		39
2 Grundlagen	15	3.1	Einführung.....	39
2.1 Informationsfluss Verkehr und Steuerung, Regelkreis	16	3.2	Übersicht der Potenziale.....	40
2.1.1 Sensorik, Detektion.....	16	3.2.1	Strukturierung der Potenziale	42
2.1.2 Aktorik, Systembeeinflussung.....	16	3.2.2	Liste der Basispotenziale	43
2.2 Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen.....	17	3.2.3	Liste der Funktionspotenziale	45
2.2.1 Organisatorisches, Hardware- und Steuerungsarchitektur, VBA-Technologien	17	3.2.4	Liste der abstrakten Aufgabenpotenziale	47
2.2.2 TLS	18	3.2.5	Liste der Zusatzpotenziale	50
2.2.3 VBA-Maßnahmen	18	3.3	Übersicht der Hemmnisse.....	51
2.2.4 Betriebsarten.....	20	4 Anwendungsszenarien		53
2.2.5 Prozessschritte im Rahmen von VBA-Maßnahmen	21	4.1	Einführung.....	53
2.2.6 Steuerungskonzeption nach MARZ99	21	4.2	Übersicht über die Anwendungsszenarien.....	54
2.2.7 Konzeptionelle Erweiterungen nach „Hinweise zum Einsatz von Steuerungsverfahren in der Verkehrsbeeinflussung“	25	4.2.1	Anwendungsszenarien an Einfahrten	54
2.3 C2X-Technologie.....	29	4.2.2	Anwendungsszenarien auf Hauptfahrbahnen	55
2.3.1 Standardisierung.....	30	4.2.3	Anwendungsszenarien an Autobahnknotenpunkten	55
2.3.2 Applikationen zur Detektion auf Basis von Fahrzeugdaten via C2I.....	33	4.2.4	Anwendungsszenarien an Ausfahrten	55
2.3.3 Applikation zur Darstellung von VBA-Inhalten im Fahrzeug (virtuelle VBA) - Rechtliche Aspekte	34	4.2.5	Anwendungsszenarien für die Netzbeeinflussung	56
2.3.4 Applikationen zur Zentralenseitigen Verarbeitung von Daten via C2X - Erfahrungen im Projekt simTD	35	4.2.6	Weitere Szenarien.....	56
2.3.5 Architekturen zur Realisierung der C2X-Kommunikation - Beispiele	35	4.3	Bereits spezifizierte Use Cases	56
2.3.6 SCOOP@F Frankreich	37	4.3.1	Überblick über die Day 1 Use Cases	56
2.3.7 NordicWay – Norwegen	38	4.3.2	RWW – Road Works Warning.....	58
2.3.8 Fazit	38	4.3.3	SSVW – Slow or Stationary Vehicle Ahead Warning	59
		4.3.4	TJW – Traffic Jam Ahead Warning.....	59
		4.3.5	SWD – Shockwave Damping	59
		4.3.6	Projekt Spookfiles	59
		4.3.7	IVS – In-Vehicle Signage	59
		4.3.8	PVD – Probe Vehicle Data.....	60
		4.3.9	Collision Risk Warning	60

4.3.10	OtherDENM – Other DENM based applications	60	7.1	Einleitung	83
4.4	Datenerfassung	60	7.2	Handlungsempfehlungen aus Anforderungen	84
4.5	Beeinflussungsstrategien	62	7.2.1	Einhaltung des ETSI-ITS Standards	84
4.6	Situations- und Maßnahmenkatalog	65	7.2.2	Aktive Mitarbeit an Standards zur Ergänzung von C2I-Anforderungen	84
4.7	Fazit	65	7.2.3	Umsetzung der MARZ 2018 Spezifikation für das System VBA.....	85
5	Anforderungen an die C2I-Technologie	65	7.2.4	Integration von Programmen zur Verkehrsanalyse in die VRZ.....	85
5.1	Einleitung	65	7.2.5	Herstellung eines Regelungs- und Rechtsrahmens für die Übermittlung kollektiver Informationen in Fahrzeuge	85
5.2	Sensorik	66	7.3	Weitere Handlungsempfehlungen	86
5.2.1	Datenelemente.....	66	7.3.1	Ausrüstung mit ITS-G5 beginnen und Kombinationsmöglichkeiten mit Mobilfunk 5G planen	86
5.2.2	Abgleich mit verfügbaren Standards	67	7.3.2	Integration bereits vorhandener Systeme in die VRZ	87
5.2.3	Datenqualität.....	68	7.3.3	Effiziente Updatefähigkeit von Systemen im Betrieb sicherstellen	87
5.2.4	Datenverarbeitung	70	7.3.4	Mehrwert für die Fahrzeugwelt durch den C2I-Informationsaustausch erarbeiten	88
5.2.5	Funktionale Anforderungen	70	7.3.5	Erfahrungsgewinn in Testfeldern nutzen	88
5.3	Aktorik	71	7.4	Handlungsempfehlungen für geplante Anwendungsszenarien und mögliche nächste Schritte	88
5.3.1	Datenelemente.....	71	7.4.1	Timeline C2I-Einführung berücksichtigen	89
5.3.2	Abgleich mit verfügbaren Standards.....	72	7.4.2	Anfangsphase mit geringer Ausstattungsrate	89
5.3.3	Funktionale Anforderungen.....	73	7.4.3	Wachstumsphase mit zunehmender Ausstattungsrate	90
5.3.4	Anforderungen an das HMI.....	74	7.4.4	Fernziel Vollausstattung	90
5.4	Anforderungen an Forschungsbedarf	75	7.5	Zeitliche Einsetzbarkeit der Anwendungsfälle.....	91
6	Anforderungen an die Verkehrsbeeinflussung	75	7.5.1	Anwendungsfälle der Anfangsphase.....	91
6.1	Einführung.....	75	7.5.2	Anwendungsfälle der Wachstumsphase	92
6.2	Voraussetzungen für eine sinnvolle Integration von C2I in das System VBA....	76	7.5.3	Anwendungsfälle der Vollausstattung	92
6.3	Anforderung an die Systemarchitektur von VBA-Systemen.....	76	7.5.4	Mehrwert durch C2I in der kollektiven Verkehrsbeeinflussung.....	92
6.4	Anforderungen an die Datenerfassung und -aufbereitung.....	77			
6.5	Anforderungen an die Situationserkennung	79			
6.6	Anforderungen an den Maßnahmenkatalog	80			
6.7	Systemübergreifende Anforderungen an die Systeme VBA und C2I.....	80			
6.8	Fazit	82			
7	Handlungsempfehlungen	83			

7.6	Minimalanforderungen der Anfangsphase	93
7.7	Ausbau in Phasen als Roadmap.....	93
7.7.1	Aufgaben der Anfangsphase.....	94
7.7.2	Aufgaben der Wachstumsphase	94
7.7.3	Aufgaben der Vollausstattungsphase	95
7.8	Offene Forschungsfragen	95
7.8.1	Offene Forschungsfragen der Anfangsphase	95
7.8.2	Offene Forschungsfragen der Wachstumsphase.....	95
7.8.3	Offene Forschungsfragen der Vollausstattung.....	96
8	Fazit und Ausblick.....	96
	Literatur.....	97
	Bilder	99
	Tabellen.....	100

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen
BAST-Archiv ELBA unter:

<https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

Abkürzungen

ACC	Adaptive cruise control, Automatic	FG	Funktionsgruppe
ANPR	number plate recognition (automatische Kennzeichenerfassung)	GPS	Global Positioning System
ADAS	Advanced Driver Assistance System (fahrzeugseitiges Fahrerassistenzsystem)	HFB	Hauptfahrbahn
AQ	Anzeigequerschnitt	HMI	Human Machine Interface (Benutzerschnittstelle)
C2C	Car to Car	I2C	Infrastructure to Car (vgl. C2C, C2I, C2X)
C2CCC	Car to Car Communication Consortium	ISO	Internationale Organisation für Normung
C2I	Car to Infrastructure (vgl. C2C, C2X, I2C)	ISO-OSI	Open Systems Interconnection Model des ISO
C2X	Car to anything (vgl. C2C, C2I, I2C)	IRS	ITS Roadside Station
CA Basic Service	Cooperative Awareness Basic Service, Dienst auf einer ITS-S, der CAM-Nachrichten erzeugt und verarbeitet	ITS	Intelligent Transportation System
CACC	Cooperative Adaptive Cruise Control	ITS-G5	Fahrzeug-WLAN-Standard 802.11p
CAM	Cooperative Awareness Message, hochfrequente Statusnachricht einer ITS-S	ITS-S	ITS-Station
CAN Bus	Controller Area Network Bus, fahrzeugseitiges System zur Sensordatenerfassung	IVIM	In-Vehicle Information Message, Nachricht einer ITS-S mit Informationen über statische oder dynamische Verkehrszeichen
CEN	Europäisches Komitee für Normung	IVI Service	Infrastructure to Vehicle Information Service, Dienst auf einer ITS-S, der IVIM-Nachrichten erzeugt und verarbeitet
C-ITS-S	Central-ITS-Station, zentralenseitige ITS-S	KBA	Knotenpunktbeeinflussungsanlage
DATEX II	Datenaustauschstandard für den Austausch von Verkehrsinformationen	LDC	Long Distance Corridor
Day 1	Erste Phase des C-ITS Deployments	LSA	Lichtsignalanlage
DENM	Decentralized Environmental Notification Message, ereignisbasierte Nachricht einer ITS-S	MAP	Map, Nachricht einer ITS-S mit Informationen über Fahrspurtopologien und -beziehungen
dWiSta	Dynamischer Wechselwegweiser mit integrierter Stauanzeige	MAPEM	Map Extended Message, Nachricht einer ITS-S mit Informationen über Fahrspurtopologien und -beziehungen
EN Basic Service	Environmental Notification Basic Service, Dienst auf einer ITS-S, der DENM-Nachrichten erzeugt und verarbeitet	MARZ	Merkblatt für die Ausstattung von Rechnerzentralen
ETSI	Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen	MQ	Messquerschnitt
FCD	Floating car data	NBA	Netzbeeinflussungsanlage
		NERZ	Nutzer der einheitlichen Rechnerzentralensoftware für Verkehrsleitsysteme

OEM	Original Equipment Manufacturer
P-ITS-S	Personal-ITS-Station
PVD	Probe Vehicle Data
RDS	Radio Data System
R-ITS-S	Roadside-ITS-Station
RLT Service	Road and Lane Topology Service, Dienst auf einer ITS-S, der MAPEM- Nachrichten erzeugt und verarbeitet
RWW	Road Works Warning
SBA	Streckenbeeinflussungsanlage
SPAT	Signal Phase and Timing, Nachricht einer ITS-S mit Informationen über Phasenzustände und -übergänge einer LSA
SPATEM	Signal Phase and Timing Extended Message, Nachricht einer ITS-S mit Informationen über Phasenzustände und -übergänge einer LSA
SREM	Signal Request Extended Message, Nachricht einer ITS-S zum Anfordern eines Phasenübergangs einer LSA (Einsatzfahrzeuge, ÖPNV)
TLC Service	Traffic Light Control Service, Dienst auf einer ITS-S, der SREM-Nachrichten erzeugt und verarbeitet
TLM Service	Traffic Light Maneuver Service, Dienst auf einer ITS-S, der SPATEM- Nachrichten erzeugt und verarbeitet
TLS	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen
TMC	Traffic Message Channel
TPEG	Transport Protocol Experts Group
UZ	Unterzentrale
V-ITS-S	Vehicle-ITS-Station
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
VRZ	Verkehrsrechnerzentrale
WZG	Wechselzeichengeber

1 Ausgangslage, Zielsetzung und Vorgehensweise

Zur Steigerung der Verkehrssicherheit und der Leistungsfähigkeit des Verkehrsablaufs auf Autobahnen werden in Deutschland verkehrstechnische Maßnahmen zur Datenerhebung und Steuerung des Verkehrsablaufs durch telematische Hardware und zentralenseitige Software in einer Verkehrsbeeinflussungsanlage (VBA) durchgeführt. Für VBA sind die Möglichkeiten der Beeinflussung heute in der Regel an örtliche Infrastruktur gebunden, d. h. es müssen Erfassungs- und Anzeigeeinrichtungen längs des Straßenverlaufs installiert sein. In Zukunft kann dieser Informationsverbund in einer Verkehrsrechnerzentrale (VRZ) mit Hilfe der C2I-Technologie optimiert werden.

Neben Positionsdaten können kooperative Systeme (C2I) erweiterte fahrzeuggenerierte Informationen übertragen werden, aus denen sich Aussagen über Verkehrs-, Fahrbahn- und Umfeldzustände ableiten lassen. Damit lassen sich bisher nicht ausreichend detektierte Bereiche des Straßennetzes in die Schaltstrategien von VBA einbeziehen und ein räumlich sowie zeitlich höher auflösendes Zustandsbild generieren. Die möglichen Maßnahmen in VBA könnten damit ebenso hochauflösender, vielfältiger und wirksamer werden.

In zahlreichen Forschungsprojekten, z. B. simTD, EcoMove, URBAN oder C-Roads, sind Aspekte der C2I-basierten Verkehrsbeeinflussung untersucht worden. Es hat sich gezeigt, dass die bestehende zentralenseitigen Algorithmik um den C2I-Datenpool sinnvoll erweitert werden kann.

Bislang wurden erste Applikationen zur Demonstration des Potenzials von kooperativen Systemen in den genannten Projekten implementiert. Diese evaluieren aber vorrangig die eingesetzte Technik. Eine strukturierte Analyse des Potenzials aus verkehrstechnischer Sicht und die Entwicklung von Anwendungsszenarien sowie die Integration von C2I in die Verkehrsbeeinflussung fehlen derzeit.

Diese Lücke soll durch das beschriebene Projekt geschlossen werden. Das Projekt hat daher die Erarbeitung der notwendigen Arbeitsschritte für die Integration von C2I-Technologie in die VBA und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Überführung in die Praxis zum Ziel. Im Rahmen des Projekts werden ausschließlich kollektive Szenarien betrachtet. Die Funktionalität zur Realisierung von

individuellen Beeinflussungsstrategien kann/wird von der Fahrzeugindustrie kommen.

Im Rahmen der Grundlagenerhebung wird zunächst der Stand der Technik bzgl. der Themenbereiche C2I-Technologie und Verkehrsbeeinflussung erhoben. Ziel ist die Darstellung der derzeit umgesetzten Maßnahmen sowie der Detektions- und Anzeigemöglichkeiten, um zu prüfen, inwieweit diese durch die Integration von C2I erweitert bzw. verbessert werden können.

Darauf aufbauend werden die Potenziale der Integration der C2I-Technologie in die Verkehrsbeeinflussung analysiert.

Parallel zu der Erhebung des Potenzials werden mögliche Anwendungsfälle für die Integration der C2I-Technologie in die VBA definiert. Die Erweiterungen der Anwendungsfälle und Funktionen der VBA durch die Integration fahrzeugseitiger Informationen aus C2I können zu einer weiteren Automatisierung durchgeführter Prozesse in die VBA führen. Aus den Anwendungsfällen wird ein gemeinsamer Situationskatalog aufgestellt, der die funktionale Kommunikationsbasis zwischen der C2I-Technologie und der VBA darstellt.

Aufbauend auf den Potenzialen und Anwendungsszenarien werden Anforderungen an die Systeme VBA und C2I definiert.

Die daraus abzuleitenden Forderungen werden in den Handlungsempfehlungen strukturiert und zeitlich geordnet, sodass eine schrittweise Einführung der Integration von C2I-Technologie in das System VBA möglich wird. Dabei werden zunächst die Schritte identifiziert, die mit einem überschaubaren Aufwand umgesetzt werden können, um erste Erfahrungen mit der Integration von C2I in VBA zu sammeln und diese zielgerichtet weiter umzusetzen. Die Erarbeitung der Handlungsempfehlungen wurden mit Praxispartnern und Experten abgestimmt.

Nach Abschluss des Forschungsprojekts stehen damit der Praxis konkrete und praxisnahe Ergebnisse zur Verfügung, um C2I in die VBA-Prozesse zu integrieren und einen Mehrwert aus C2I in der Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen zu erzielen.

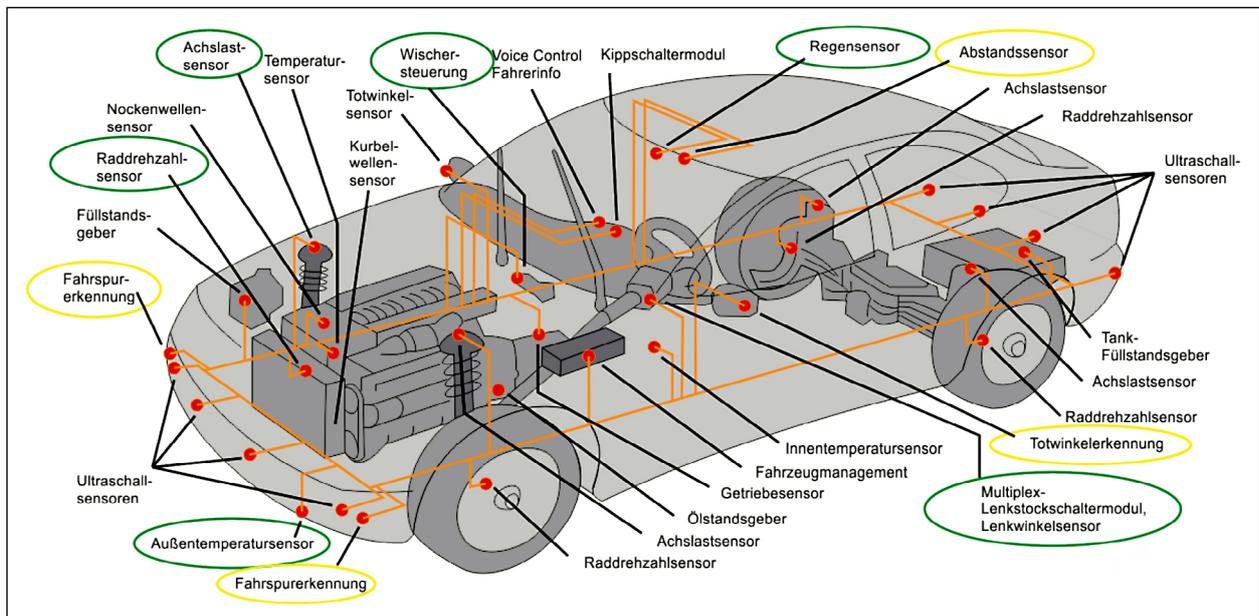


Bild 1: CAN-Bus, fahrzeuginterne Sensorik

2 Grundlagen

Die Grundlagenerhebung soll die Basis für die folgenden Arbeitspakete legen. Ziel ist es, die wesentlichen Kernbestandteile der Verkehrsbeeinflussung in aktuellen VBA-Architekturen zu identifizieren, sowie die implementierten Steuerungsansätze darzustellen, die unter den aktuell technischen Rahmenbedingungen der Datenerfassung und Anzeigetechnik realisiert werden. Darüber hinaus soll ein umfassendes Bild des Stands der Technik in der Entwicklung von C2I-Systemen erstellt werden. Der Fokus liegt hierbei auf der potenziellen Erweiterung der verfügbaren Datengrundlage, da durch diese der Bestand an situationsermittelnden Verfahren erweitert bzw. algorithmisch verfeinert werden kann. Ebenso werden die systemarchitektonischen und funktionalen Konzepte des C-ITS Korridors (NL-DE-AT) dargestellt.

Für die Potenzialerhebung werden idealtypische Annahmen getroffen:

- Keine technischen, rechtlichen oder organisatorischen Beschränkungen
- Vollausstattung aller Fahrzeuge und der Infrastruktur

Diese Annahmen spiegeln nicht die aktuelle und zeitnah zu erwartende Realität wider. Vor dem Hintergrund einer Strategieentwicklung, die nicht durch technische und organisatorische Hürden eingeschränkt werden soll, werden, daher für das C2I-Szenario nachfolgende Annahmen getroffen:

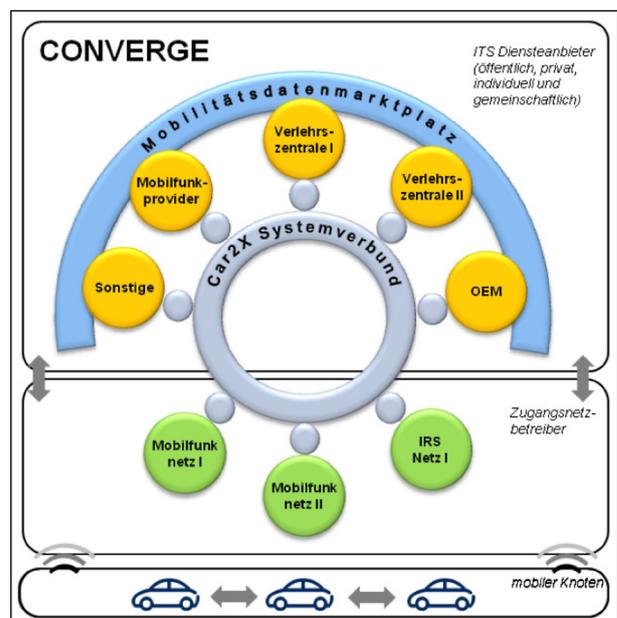


Bild 2: Systemverbund aus CONVERGE

- Uneingeschränkte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Infrastruktur und Fahrzeug
- Bereitschaft der Fahrzeugindustrie zur Adaption der zur Verfügung gestellten Daten

Der in Bild 2 dargestellte technologische und organisatorische Systemverbund befindet sich noch nicht in Umsetzung. Ebenso werden die in Bild 1 dargestellten Daten der Fahrzeugsensorik entsprechend der aktuellen Standardisierung nicht verfügbar sein, möglicherweise jedoch in Zukunft.

2.1 Informationsfluss Verkehr und Steuerung, Regelkreis

Das System Verkehr stellt einen Regelkreis dar, wobei der aktuelle Verkehrszustand als Regelstrecke aufgefasst wird, der durch innere und äußere Einflussgrößen (Störgrößen) in gestörte Zustände geraten kann, die sicherheitskritisch sind und wirtschaftliche Nachteile zur Folge haben. Der Zustand des Systems wird dabei z. B. durch die Dichteverteilung der Fahrzeuge im Netz (und von ihr abhängenden Größen) beschrieben, welche bei Erreichen von lokal kritischen Werten einen Zusammenbruch des Gesamtflusses und der Geschwindigkeit und damit erhöhte Reisezeiten bewirken kann. Das Ziel von VBA-Maßnahmen ist es, diesen Zusammenbruch zu verhindern bzw. den Verkehrsablauf länger stabil zu halten und somit die Verkehrseffizienz und -sicherheit zu gewährleisten. Zur gezielten Beeinflussung des Gesamtsystems sind Messungen des Systemzustands (Sensorik) zur Ermittlung der Regelgröße(n) und Maßnahmen (Stellgrößen, vermittelt durch Aktorik) zur Beeinflussung der einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Einheiten in ihrem Verhalten notwendig. Es gilt zu beachten, dass die derzeit angewendeten VBA-Maßnahmen mit dem Begriff Steuerung passender beschrieben werden, da im Kern der Algorithmik (Regler) kein Abgleich der charakteristischen Systemzustandsgrößen in beeinflusstem Zustand mit den Sollwerten (Führungsgrößen) erfolgt, was der Regelung entsprechen würde. Die eingesetzten Steuerungsverfahren schließen von Messwerten der lokalen Geschwindigkeit, der Verkehrsstärke und der daraus näherungsweise abgeleiteten Dichte auf den Zustand des Systems, wobei diese Messwerte weitestgehend in direkter Weise mit vordefinierten Maßnahmen (beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkung, Verkehrs-umleitung) verknüpft sind. Zur Vermeidung eines schnellen Wechsels der geschalteten Anzeigen werden Hysteresen in die Steuerungslogik eingebaut.

2.1.1 Sensorik, Detektion

Traditionell werden die systembeschreibenden Größen, die im weiteren Verlauf zur Steuerung verwendet werden, lokal über den Straßenquerschnitt erhoben. Hierzu kommen verschiedene Technologien zum Einsatz, beispielsweise Induktionsschleifen oder Radarsensoren. Die lokalen Messungen liefern in der Regel folgende Größen:

- Lokale Geschwindigkeit,

- Lokale Verkehrsstärke,
- Belegung des Detektors

Mit Hilfe der Geschwindigkeit und der Verkehrsstärke lässt sich näherungsweise die lokale Verkehrsdichte abschätzen, sodass man den Betriebspunkt des Systems im Fundamentaldiagramm bestimmen kann. Obwohl einige einfache Steuerungsverfahren (vgl. Kapitel 2.2.6) zur Streckenbeeinflussung direkt an lokale Messungen gekoppelt sind, ist es wichtig, den streckenbezogenen Systemzustand und die räumliche Ausdehnung von Störungen beschreiben zu können. Hierzu werden Bilanzierungen der gemessenen Fahrzeugmengen (kumulierter Verkehrsfluss) an aufeinanderfolgenden Messquerschnitten durchgeführt oder Modelle herangezogen, welche die charakteristischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Dichteschwankungen im freien und gestörten Verkehr nachbilden. Es ist jedoch festzustellen, dass – vor allem bei unvorhergesehenen Ereignissen wie Unfällen – die Situationserkennung unter Verwendung lokaler Detektion nur deutlich zeitverzögert eine Störung feststellen kann und der genaue Ort der Ursache nicht festzustellen ist. Abhilfe können hier Videoüberwachungssysteme schaffen, die jedoch flächendeckend nur auf Strecken mit temporärer Seitenstreifenfreigabe installiert sind. Alternativ ist es mittels intelligenter Induktionsschleifentechnologie und spezieller Ausführung der Streckenstation möglich, durch Fahrzeugwiedererkennung streckenbezogene Kenngrößen wie Fahrgeschwindigkeit, Fahrtzeit und streckenbezogener Dichte zu ermitteln.

Eine weitere wichtige Kenngröße für die Zustandsbeschreibung auf Strecken und in Netzen ist die Reisezeit. Sie kann durch Fahrzeugwiedererkennung (ANPR, Bluetooth) gemessen werden. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Messungen quasi immer nur einen Zustand in der jüngeren Vergangenheit beschreiben. Aus diesem Grund werden zur Netzsteuerung die Reisezeiten auch aus prognostizierten lokalen Dichtewerten und sich daraus ergebenden Geschwindigkeiten abgeleitet, die auf Streckenabschnitte hochgerechnet werden.

2.1.2 Aktorik, Systembeeinflussung

Die Beeinflussung der einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Einheiten und damit des gesamten Verkehrskollektivs geschieht an ortsfesten Anzeigequerschnitten, an denen informative oder restriktive Anzeigen geschaltet werden. Daneben besteht die Möglichkeit,

den Verkehrsteilnehmer über gesprochenen Text im Radio, über RDS-TMC oder TPEG mit Informationen zu versorgen. Vor allem für sicherheitsrelevante Warnungen (verlorene Ladung, Falschfahrer etc.) ist dies ein adäquates Mittel, da die Meldung die genauen Gegebenheiten der Gefahrenstelle beinhaltet und den Fahrer unter Umständen schneller erreicht als über Anzeigequerschnitte. Restriktive Geschwindigkeitsbeschränkungen zur Harmonisierung des Verkehrs und zur Vermeidung von Verkehrszusammenbrüchen können nur punktuell an festen Anzeigequerschnitten erfolgen.

2.2 Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen

Im Rahmen des Stands der Technik bzgl. VBA-Maßnahmen stützt sich diese Ausarbeitung hauptsächlich auf die Dokumente „Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen“ [1], das „Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ99)“ [2] und „Hinweise zum Einsatz von Steuerungsverfahren in der Verkehrsbeeinflussung“ [3]. Es werden dabei die wesentlichen Strategien und Ziele bestehender VBA-Systeme, sowie die zur Zielerreichung implementierten Schritte der Prozesskette – von der Datenaufbereitung zur Schaltbildermittlung – dargestellt. Die wesentlichen Kernbestandteile sind hierbei die verwendete Datengrundlage, die situationsermittelnden Verfahren und die darauf aufbauenden Maßnahmen. Es werden hauptsächlich die funktionalen Aspekte der Verkehrssteuerung betrachtet.

2.2.1 Organisatorisches, Hardware- und Steuerungsarchitektur, VBA-Technologien

Den organisatorischen Zusammenhang in der Verkehrsbeeinflussung zeigt Bild 3.

Der Informationsfluss bei der technischen Ansteuerung der Wechselverkehrszeichen und der Datenerfassung ist in Bild 4 dargestellt. Das Bild illustriert die im MARZ [2] definierten Funktionsebenen:

- Verkehrsrechnerzentrale (VRZ): Zentrale Systemkomponente
- Unterzentrale (UZ): erfassende und steuernde Systemkomponente
- Streckenstation (SST): Datenerfassungs- und -ausgabekomponente

Vorrangig vor ergänzenden Informationsdiensten via Radio, RDS-TMC oder TPEG, deren Inhalte ebenfalls von Seiten der öffentlichen Hand in den Verkehrsrechenzentren generiert werden und quasi netzbeeinflussender Natur sind, erfolgt die Informationsverbreitung in der Verkehrsbeeinflussung vor allem punktuell an Anzeigequerschnitten mit variablem Inhalt (beispielsweise Zeichen A, B, C, sowie Prismenwender und dWiSta). Das bedeutet, dass die Information von Verkehrsteilnehmern nur an fixen Orten wahrgenommen werden kann. Die Regelabstände für SBA liegen laut RWVA [1] bei 1500 m-2500 m, in Sonderfällen 800 m-1500 m.

Bild 5 zeigt die Anordnung der Wechselzeichengeber (WZG) des Typs A, B und C an einer Verkehrszeichenbrücke über einer dreistreifigen Richtungs-fahrbahn. Die WZG des Typs A (Geschwindigkeits-

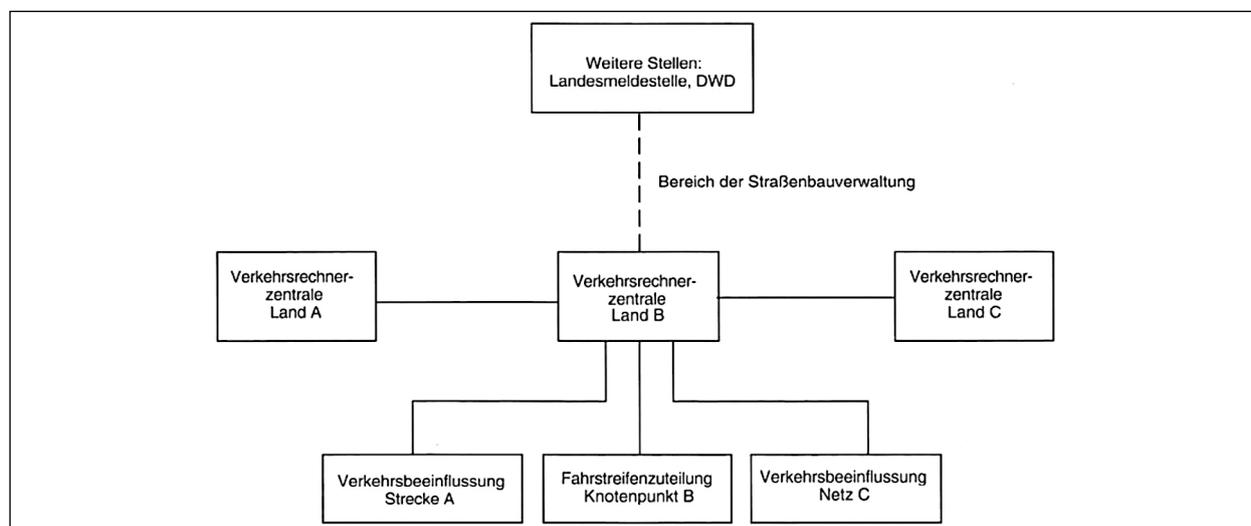


Bild 3: Vernetzung von VBA-Anlagen (aus [1])

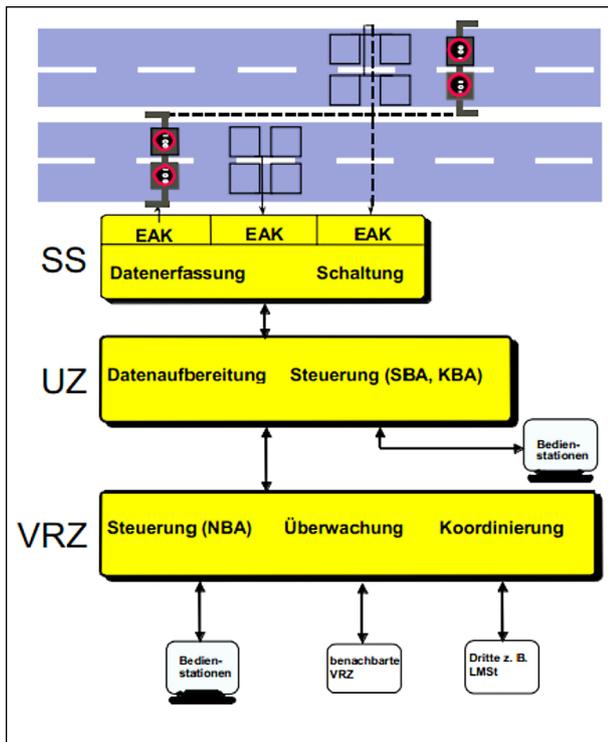


Bild 4: Funktionsebenen des VBA-Systems (aus [2])

beschränkung, Streckenverbote) befinden sich mitig über den Fahrstreifen.

Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) sollen die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrsflusses erhöhen. Grundsätzlich kommen vier Arten von VBA zum Einsatz: Netz-, Strecken-, Knoten- und punktuelle Beeinflussungsanlagen. Allen VBA gemein ist, dass sie aus Kostengründen nur an Strecken mit hoher Verkehrsbelastung bzw. deutlich erhöhten Unfallzahlen installiert werden sollen. Die Anzeigen werden nur geschaltet, wenn es die aktuelle Situation (Verkehr bzw. Umfeld) erfordert.

2.2.2 TLS

Die Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS [4]) formulieren detailliert Funktionen und Schnittstellen, die von Streckenstationen funktional und technisch eingehalten werden müssen. Es soll sichergestellt werden, dass Geräte verschiedener Hersteller alle Anforderungen erfüllen und leistungstechnisch vergleichbar sind. Die TLS umfassen unter anderem Anforderungen an:

- Datenerfassungsgeräte (Sensorik)
- Datenausgabegeräte (AQs)
- Technische Anforderungen von Streckenstationen

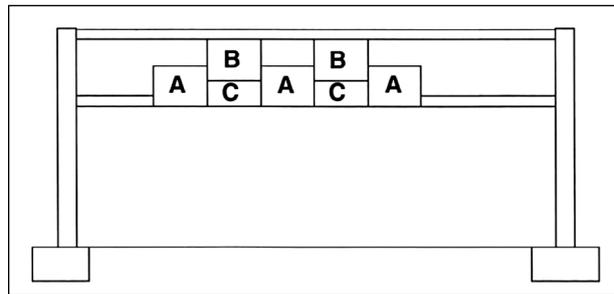


Bild 5: WZG an Verkehrszeichenbrücken über dreistreifigen Richtungsfahrbahnen (aus [1])

- Netzwerkschnittstellen
- Prüfvorschriften

Im hier betrachteten Kontext sind vor allem die Definitionen zu den erfassten Daten der Funktionsgruppe 1 (FG1 – lokale Verkehrsdaten), Funktionsgruppe 3 (FG3 – Umfelddaten) und den für die Steuerung generierten Daten der Funktionsgruppe 4 (FG4 – Anzeigequerschnitte) relevant.

2.2.3 VBA-Maßnahmen

Netzbeeinflussung (NBA):

NBA werden zur optimalen Verteilung der Verkehrsnachfrage in Netzmaschen eingesetzt, bspw. zur Umfahrung gestauter Streckenabschnitte. Die Wechselwegweiser können substitutiv (die Zielführung im Grundzustand ersetzend) oder additiv (Hinzuschalten optisch abgesetzter Alternativroutenempfehlung, evtl. mit Begründung) erfolgen.

Streckenbeeinflussung (SBA):

SBA sollen das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer durch Gefahrenzeichen und restriktive Anordnungen derart beeinflussen, dass durch weniger streuende Geschwindigkeiten (auch unter den Fahrstreifen) und reduzierte Geschwindigkeit des Gesamtflusses die Sicherheit erhöht und ein Verkehrszusammenbruch vermieden wird. In der Regel werden eingesetzt:

- Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverbote
- Stauwarnung
- Warnung vor besonderen Gefahren (Unfall, Baustelle usw.)
- Warnung vor witterungsbedingten Gefahren (Nebel, Nässe, Glätte)
- Fahrstreifenzuteilung/Fahrstreifensperrung

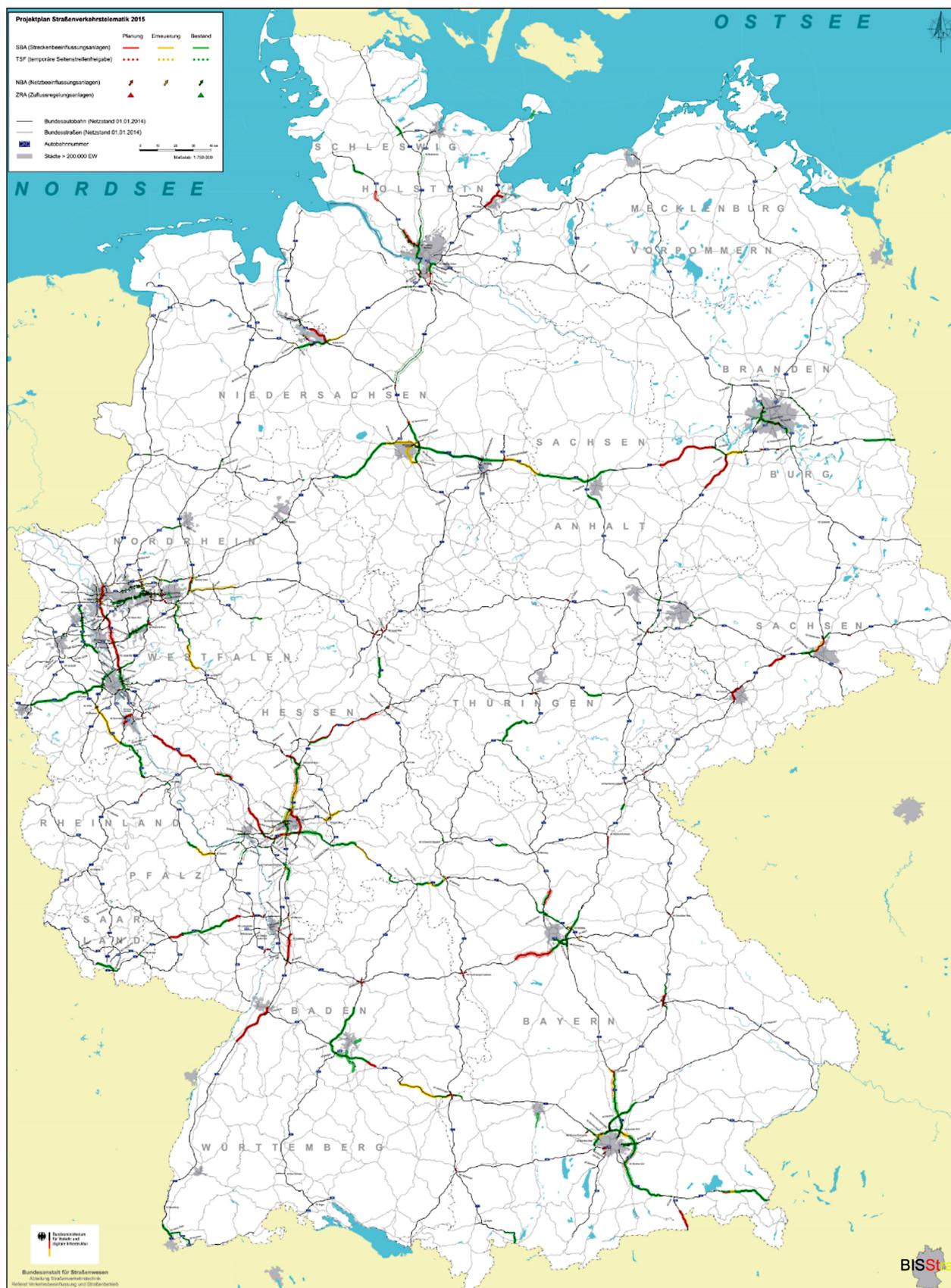


Bild 6: VBA Bestand in Deutschland, Stand 2015 (Quelle: BAST)

Auslösende Situationen für die aufgeführten Maßnahmen sind verkehrs- oder umfeldbedingter Natur. Die Verfahren zur Situationsermittlung werden in den Kapiteln 2.2.6 und 2.2.7 genannt.

Knotenbeeinflussungsanlagen (KBA):

KBA gliedern sich in:

- Fahrstreifenzuteilung an Knotenpunkten: Um die Sicherheit und Kapazität im Verflechtungsbereich (potenzielles Bottleneck) zu erhöhen kann zu Spitzenzeiten im Zufluss bei gegebenen baulichen Randbedingungen ein Streifen der durchgehenden Fahrbahn variabel dem zufließenden Strom zugeordnet werden.
- Zuflussregelungsanlage: Durch eine Lichtsignalanlage vor der Zufahrt werden Pulks im zufließenden Strom entzerrt und damit der Verflechtungsbereich zur Hauptfahrbahn entlastet.

Temporäre Seitenstreifenfreigabe (TSF):

Der Standstreifen wird bei hohem Verkehrsaufkommen zur Befahrung freigegeben. Durchgehende Videoüberwachung ist rechtlich erforderlich.

Punktuelle Anlagen:

Diese werden punktuell zur lokalen Gefahrenwarnung (Unfallschwerpunkte, enge Kurven etc.) eingesetzt und meist als Inselanlage ohne Anbindung an das Gesamtsystem betrieben.

Die angesprochenen VBA-Typen können laut [3] in geeigneter Weise kombiniert werden, beispielsweise:

- SBA mit TSF
- SBA mit Zuflussregelung
- SBA innerhalb NBA-Maschen
- NBA und TSF
- Etc.

Laut [3] existieren noch keine verbindlichen Vorgaben für derartige Kombinationen. Durch eine integrierte Situationserkennung und Maßnahmenauswahl kann das technische Zusammenwirken der unterschiedlichen VBA-Typen unterstützt werden (s. [3]).

Bild 6 gibt einen Überblick der bestehenden, in Erneuerung befindlichen und geplanten VBA in Deutschland (Stand 2015).

2.2.4 Betriebsarten

Steuerungsempfehlungen werden vom Steuerungsmodell anhand verschiedener Eingangsdaten (FG1-Kurzzeitdaten, FG3-Daten, Parametrierung, Grenzwerte etc.) abgeleitet. Die Umsetzung der Empfehlungen ist abhängig von der eingesetzten Betriebsart. [1] definiert folgende Betriebsarten:

- BA 1: Steuerungsmodell mit Schaltanweisungen (vollautomatisch auf Basis der Messwerte/Eingangsdaten)
- BA 2: Steuerungsmodell mit Schaltvorschlägen (automatische Generierung der Vorschläge, erst nach Bestätigung durch Bedienpersonal wirksam)
- BA 3: zentrale Handschaltung (vor Ort, UZ, VRZ) ohne Eingriffsmöglichkeit für das Steuerungsmodell (höchste Priorität)
- BA 4: zentrale Handschaltung mit Eingriffsmöglichkeit für das Steuerungsmodell zur Schaltung höherrangiger Anzeigen

Grundsätzlich soll in BA1 gesteuert werden. Optimierung von Parametern wird in einer Blindbetriebsphase in BA2 durchgeführt. BA3 und BA4 sind laut [1] vorzusehen. Durch verkehrs- oder umfeldabhängige Funktionen des Steuermodells sowie Sonderfunktionen (Gefahrenstelle, Baustelle etc.) können konkurrierende Anforderungen an die einzelnen WZG entstehen, was eine Priorisierung erforderlich macht. Tabelle 1 gibt die in [1] empfohlenen Prioritäten in absteigender Reihenfolge wieder.

Priorität hoch		
WZG A	WZG B	WZG C
Rotes Kreuz		Unfall
Gelbpfeil links/rechts		Nebel
40	Stau	
60	Glätte	
80	Baustelle	
100	Schleudergefahr	Nach X km
120	Gefahrenstelle	Nach Y km (Y > X)
	Lkw-Überholverbot	
	Ende Streckenverbot	7,5t
	Ende Überholverbot Lkw	
Priorität niedrig		

Tab. 1: Priorisierung von WZG im Konfliktfall laut [1]

In BA3 hat die manuelle Schaltung gegenüber der automatischen Anforderung Vorrang. Die Inhalte der einzelnen WZG an einem Anzeigequerschnitt (AQ) sind zum Zwecke der Plausibilisierung aus Fahrersicht aufeinander abzustimmen (Querabgleich), insbesondere müssen unzulässige, widersprüchliche oder verkehrsgefährdende Kombinationen auf Softwareebene gesperrt werden (Verriegelungsmatrix in UZ bzw. VRZ). Die Längsplausibilität aufeinanderfolgender AQ ist sicherzustellen.

2.2.5 Prozessschritte im Rahmen von VBA-Maßnahmen

Bild 7 aus [2] zeigt die Prozessschritte in Form des logischen Datenflusses innerhalb der VRZ.

In Bild 7 ist zu erkennen, dass der wesentliche Input für die Steuerungsverfahren in den aufbereiteten Daten besteht, neben der Parametrierung für die schaltungsermittelnden Verfahren, die auf den aufbereiteten Messdaten arbeiten. Der Fokus in dieser Grundlagenauswertung liegt somit auf den Komponenten:

- Datenaufbereitung
- Steuerung

Die Daten der Datenübernahme gliedern sich in die in den TLS [4] definierten Funktionsgruppen (FG):

- FG1: Verkehrsdaten (Kurz- und Langzeit)
- FG2: Achslastdaten
- FG3: Wetter- und Umfelddaten
- FG4: WVZ- und WWW-Daten
- FG6: Betriebsmeldungen der Streckenstationen
- FG254: Systemdaten

Für Steuerungszwecke werden vorrangig die Kurzzeitverkehrsdaten der FG 1 und die Daten der FG 3 verwendet. Diese bilden die Grundlage für die im MARZ [2] beschriebenen Verfahren zur Steuerungsentscheidung. Die konkreten Steuerungsmaßnahmen (NBA, SBA, KBA) in Form von inhaltlich abgestimmten Anzeigebildern (WZG A, B und C) werden aufgrund von erkannten verkehrlichen oder umfeldbedingten Situationen festgelegt, welche aus den aufbereiteten Daten unter Verwendung bestimmter Verfahren und Algorithmen detektiert werden.

2.2.6 Steuerungskonzeption nach MARZ99

2.2.6.1 Datenaufbereitung

Die Schaltbilder der WVZ werden durch Steuermodelle ermittelt, welche auf den gemessenen Kurzzeitdaten der FG 1, und der FG 3 basieren.

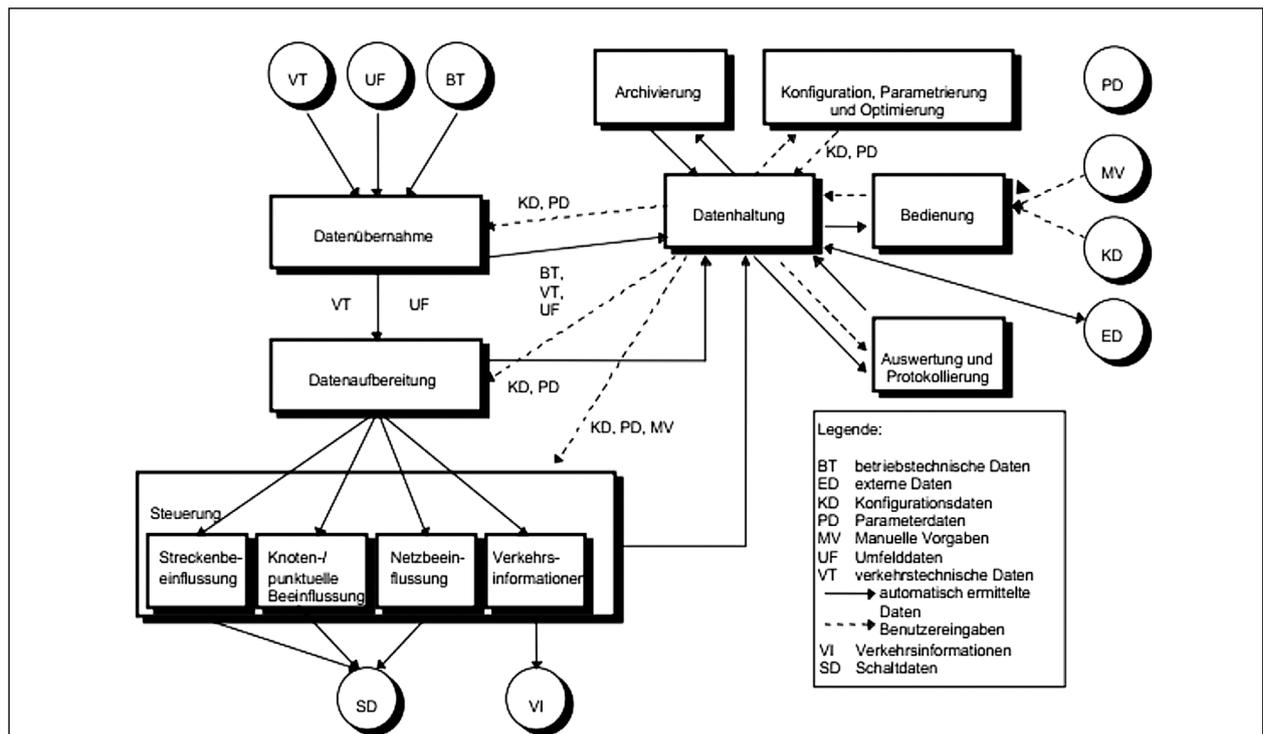


Bild 7: Fachlicher Ablauf und logischer Datenfluss Verkehrsbeeinflussung (aus [2])

FG 1

Als Rohdaten der FG 1 werden in 1 Minuten-Intervallen – pro Messquerschnitt i und Fahrstreifen j – von den Streckenstationen übermittelt:

- Verkehrsstärke Kfz $q_{kfz}(i,j)$
- Verkehrsstärke Lkw $q_{Lkw}(i,j)$
- Mittlere Geschwindigkeit Pkw $v_{Pkw}(i,j)$
- Mittlere Geschwindigkeit Lkw $v_{Lkw}(i,j)$
- Geglättete mittlere Geschwindigkeit Kfz $\bar{v}_{kfz}(i,j)$
- Belegung $b(i,j)$
- Standardabweichung Kfz-Geschwindigkeit $S_{kfz}(i,j)$
- Mittlere Nettozeitlücke $t(i,j)$

Die eingehenden Rohdaten werden auf Plausibilität geprüft und ggfs. durch Ersatzwerte ersetzt. Die einzusetzenden Verfahren sind im MARZ [2] beschrieben. Aus den plausibilisierten Daten der FG 1 werden anschließend weitere fahstreifenbezogene Kenngrößen ermittelt (z. B. die lokale Verkehrsdichte), ebenso über die Fahrstreifen aggregierte richtungsbezogene Kenngrößen:

- Verkehrsstärken [Fz/h]:
 $Q_{kfz}(i), Q_{Lkw}(i), Q_{Pkw}(i)$
- Mittlere Geschwindigkeiten [km/h]:
 $V_{kfz}(i), V_{Lkw}(i), V_{Pkw}(i)$
- Bemessungsverkehrsstärke [Pkw-Einheiten/h]:
 $Q_B(i)$ (an Anschlussstellen jeweils vor und nach der Zufahrt)
- Lokale Verkehrsdichte [Pkw-Einheiten/km]:
 $D(i)(t)$ (an Anschlussstellen jeweils vor und nach der Zufahrt)
- Standardabweichung der Geschwindigkeiten [km/h]: $S_{kfz}(i)$
- Belegungsgrad [%]: $B(i)$
- Lkw-Anteil [%]: $A_{Lkw}(i)$

Parameter und Formeln für die Umrechnungen sind im MARZ [2] aufgeführt. Für die aufgelisteten Kenngrößen (außer Belegungsgrad und Lkw-Anteil) werden Kurzzeitprognosewerte durch das Verfahren „Gleitender Mittelwert mit überlagertem gleitendem Trend“ gemäß den Formeln im MARZ [2] Kapitel 2.3.2.1.3 ermittelt. Die Trägheit des Glättungsverfahrens kann derart parametrisiert werden, dass die

Glättung bei kritischen Verkehrszuständen empfindlicher reagiert.

Der nächste Schritt der Datenaufbereitung besteht in der Ermittlung der verkehrlichen Situationsübersicht unter Zuhilfenahme der geglätteten Werte von $V_{kfz}(i)$ und $D(i)$. Vier Verkehrsstufen sind hierfür im MARZ [2] definiert:

- Z1: freier Verkehr,
- Z2: dichter Verkehr,
- Z3: zähfließender Verkehr,
- Z4: Stau,

welche anschließend visualisiert werden. Des Weiteren erfolgt in der Datenaufbereitung eine Störungsfrüherkennung des Verkehrsflusses. Der Zustand „Unruhe im Verkehrsfluss“ wird durch Grenzwertvergleiche der Standardabweichung der Geschwindigkeiten und der Verkehrsstärke des linken Fahrstreifens, sowie der Verkehrsstärke der Richtungsfahrbahn ermittelt. Die Grenzwerte zum Ein- und Aussetzen des Zustands müssen parametrisierbar sein.

FG 3

Als Rohdaten der FG 3 werden in 1 Minuten-Intervallen von den Streckenstationen übermittelt:

- Sichtweite
- Helligkeit
- Nässe

Die Daten werden auf Plausibilität und Widerspruchsfreiheit geprüft, aber i. d. R. nicht ersetzt.

- FG3-Daten werden ebenfalls abgestuft kategorisiert. Für Nässe sind die Stufen:
- Trocken,
- Nass 1,
- Nass 2,
- Nass 3

Mit überlappenden Grenzwerten (für die nächsthöhere/-niedrigere Stufe) vorgesehen. Sichtweiten werden in mindestens sechs Stufen mit scharfen Klassengrenzen eingeteilt, für die gemessene Helligkeit werden vier Klassen vorgeschlagen.

2.2.6.2 Schaltbildermittlung

SBA

Die SBA-Steuerung gliedert sich im MARZ [2] in Automatikprogramme, Sonderprogramme und Handschaltungen.

Automatikprogramme

Für die automatische Ermittlung von Schaltempfehlungen werden jedem Anzeigequerschnitt ein oder mehrere Messquerschnitte zugeordnet. Anhand der aufbereiteten Daten der Messquerschnitte (FG1-Kurzzeitdaten, FG3: Sichtweite, Nässe) werden durch Verwendung bestimmter Algorithmen (im Wesentlichen Grenzwertvergleiche) Schaltbilder ermittelt. Der Messquerschnitt mit den kritischsten Werten wird für das Schaltbild am Anzeigequerschnitt priorisiert, sofern einem AQ mehrere MQ zugeordnet sind. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Automatikprogramme.

Sonderprogramme

Sofern ein Automatikprogramm keine restriktiveren Schaltbilder erzeugt, können Sonderprogramme von Bedienstationen aus geschaltet werden. Bei Konflikten in den Anforderungen an WZG aus Automatik- und Sonderprogramm ist nach [1] bzw. Tabelle 1 zu verfahren.

Handschaltung

Mit der Handschaltung können beliebige Inhalte der WZG angefordert werden. Bestimmte Kombinationen sind durch Verriegelungsmatrizen (in Streckenstation, UZ, VRZ) systemseitig gesperrt. Handschaltungen haben höchste Priorität. Glättewarnungen dürfen nur manuell geschaltet werden.

Querabgleich

Der Querabgleich dient der Vermeidung von widersprüchlichen oder verkehrsgefährdenden WZG-Kombinationen an einem AQ. MARZ [2] definiert folgende Punkte:

- Alle WZG B müssen identisch sein (Ausnahme: Baden-Württemberg), ebenso alle WZG C
- Alle WZG A (Geschwindigkeit) müssen i. d. R. identisch sein
- DLZ (gelber Pfeil) darf nicht auf gesperrten oder zu räumenden Fahrstreifen weisen (durch Verriegelungsmatrix garantiert)

Längsabgleich

Der Längsabgleich soll eine schlüssige Anzeigenfolge aufeinanderfolgender AQZ unter Berücksichtigung des Abstands der AQZ sicherstellen.

Name	Verfahren	Eingangsgrößen	Schaltbild
Harmonisierung der Geschwindigkeit	Grenzwertvergleich für Ein- und Ausschaltbedingung	$Q_{B,P}(i), V_{Pkw,P}(i), D_P(i)$	WVZ A: 120, 100, 80, 60
Stauwarnung	Grenzwertvergleich mit Hysterese (Kriterium 1: Belegung)	$b(i), \text{fahrstreifenfein}$	WZG B: Stau. Stauwarnung mit Vorwarnung stromaufwärts
	Grenzwertvergleich mit Hysterese (Kriterium 2: Prognosegeschwindigkeit)	$V_{Kfz}(i), Q_{Kfz}(i)$	
	Grenzwertvergleich mit Hysterese (Kriterium 3: V_{kdiff} , siehe 2.2.7.2)	$V_{kdiff}(i), Q_{Kfz}$	
	Verkehrsstufe (Kriterium 4: Verkehrsstufe Z4)	Verkehrsstufe Z4	
Nässewarnung	Niederschlagsstufe und Grenzwertvergleich mit Hysterese	Niederschlagsstufe, $V_{Pkw,P}(i), Q_{B,P}(i), Q_{Lkw,P}(i)$	WZG A: 100, 80, 60; WZG B: Schleudergefahr oder Lkw-Überholverbot, WZG C: 7.5t
Nebelwarnung	Sichtweitenstufe	Sichtweitenstufe	WZG A: 120,100,80,60,40 WZG B: Gefahrenstelle, Überholverbot Lkw WZG C: Nebel, 7.5t; Vorwarnung stromaufwärts
Lkw-Überholverbot	Grenzwertvergleich mit Hysterese	$Q_{B,P}(i), A_{Lkw}(i), \text{Fahrstreifenanzahl}$	WZG B: Lkw-Überholverbot WZG C: 7.5t

Tab. 2: Automatikprogramme nach [2]

Name	Verfahren	Eingangsgrößen	Schalbild
Baustelle	Manuelle Eingabe der Rahmendaten	Fahrtrichtung, von, bis, zu sperrende Fahrstreifen	WZG B: Baustelle; System schlägt Schalbild aufgrund der Eingangsdaten vor, Bediener kann es manuell verändern
Unfall	Manuelle Eingabe der Rahmendaten	Fahrtrichtung, Streckenkilometer, blockierte Fahrstreifen	WZG B: UNFALL; System schlägt Schalbild aufgrund der Eingangsdaten vor, Bediener kann es manuell verändern
Grundprogramm	Feste Vorgabe für WZG an AQ einer Teilstrecke, in Längsrichtung differenziert. Konflikte mit Automatikprogramm siehe [1] bzw. Tab. 1		

Tab. 3 - Sonderprogramme nach [2]

NBA

Schaltungen von NBA können automatisch oder manuell erfolgen.

Als Grundlage für die Steuerung werden Prognosen der Reisezeiten auf definierten Streckenabschnitten verwendet. Ziel ist die Vorhersage störungsbedingter Verzögerungen. Bei der Prognose werden nicht nur die aufbereiteten Rohdaten der FG1 (und teilweise FG3) einbezogen, sondern auch Netzdaten, Baustellendaten oder Fundamentaldiagramme. MARZ [2] unterscheidet zwischen Querschnitts- und Streckenprognose zur Ermittlung der Reisezeiten im Netz.

Situationsermittlung bei NBA

- **Querschnittsprognose:**
Hierbei werden Prognosewerte der Kenngrößen Verkehrsdichte D , Verkehrsstärke Q und Geschwindigkeit V für jeden Querschnitt unabhängig voneinander errechnet. Als Verfahren kommt das im MARZ [2] Kapitel 2.3.2.1.3 beschriebene Verfahren „gleitender Mittelwert mit überlagertem gleitendem Trend“ zum Einsatz. Da der Prognosehorizont dieses Verfahrens i. d. R. fünf Minuten beträgt, können gute Ergebnisse für 30 Minuten nur bei konstant bleibendem Trend erzielt werden. Aus den ermittelten Prognosegrößen können über hinterlegte Fundamentaldiagramme Reisezeiten für Netzabschnitte ermittelt werden. Sie dienen als Grundlage für die NBA Steuerung.
- **Streckenprognose:**
Hierbei werden die prognostizierten Querschnittsdaten miteinander verknüpft. Die Verknüpfung erfolgt durch Bilanzgleichungen des Zu- und Abflusses der betrachteten Streckenabschnitte, charakterisiert durch die jeweils aufeinander

ander folgenden Messquerschnitte. Die Reisezeitprognose basiert also auf der Streckendichte und nicht auf den lokal geschätzten Dichten. Als Ausfahrzeitpunkt eines Verkehrskollektivs auf einem Streckenabschnitt wird der Einfahrzeitpunkt plus der Reisezeit des Kollektivs auf der Strecke angenommen. Die Reisezeit leitet sich dabei aus empirischen Streckendichte-Reisezeit-Beziehungen durch Einsetzen der Streckendichte aus dem vorangegangenen Zeitschritt ab.

Steuerung von NBA

Vor der Schaltung einer Umleitung werden die Kapazitäten der Haupt- und Nebenrouten (Umleitungsrouten) geprüft. Ein wichtiger Parameter ist hierbei die Ableitungsrate im Falle einer Alternativroutenempfehlung bzw. Umleitung. Dieser Parameter wird fortlaufend im Betrieb überprüft und angepasst.

Bei der Querschnittsprognose werden die ermittelten prognostizierten Dichten auf Basis der im System hinterlegten Ableitungsraten angepasst, wobei die Alternativroute nicht überlastet werden darf. Es kann auch die Restkapazität der Alternativroute mit der bei einer Umleitung hinzukommenden Verkehrsstärke verglichen werden.

Im Falle der Streckenprognose kommt eine Umleitungsempfehlung in Betracht, wenn die prognostizierte Einfahrverkehrsstärke eines Streckenabschnitts über der Kapazität des Abschnitts liegt. Der Algorithmus zur Berechnung der Streckendichten wird dann auf Grundlage der hinterlegten Ableitungsraten durchgeführt.

Die ermittelten Reisezeiten sind das wesentliche Entscheidungskriterium für Umleitungsschaltungen. Ein ebenfalls gängiges Verfahren ist die Umrechnung in Kosten anhand von Zeitkostensätze, wobei auch die Parameter Kraftstoffverbrauch und

Unfallrisiko über entsprechende Kostensätze mit in Betracht gezogen werden können.

Im Steuerungskern werden Zielpläne – definiert über Entscheidungspunkte und Ziele im Netz, sowie die möglichen Haupt- und Alternativrouten und Ableitungsraten – für Steuerungsentscheidungen herangezogen. Bei Überlastung der Normalrouten werden für jeden Zielplan und die damit verbundene Schaltung anhand der oben skizzierte Algorithmik die entstehenden Kosten (basierend auf den angesetzten Kostensätzen) aufsummiert. Die Auswahl eines Zielplans erfolgt bei der nutzeroptimierten Steuerung anhand der minimalen Kosten der Alternativroute, im Falle von netzoptimierter Steuerung anhand des Minimums der Summen aller Routenkosten.

KBA

Das MARZ [2] macht keine verbindlichen Vorgaben bzgl. der Knotenpunktbeeinflussung.

2.2.7 Konzeptionelle Erweiterungen nach „Hinweise zum Einsatz von Steuerungsverfahren in der Verkehrsbeeinflussung“

In [3] werden die Grundlagen für einen neuen Ablauf der Steuerungsentscheidungen gelegt. Im Wesentlichen wird die Entkopplung von situationsermittelnden Verfahren von Steuerungsmaßnahmen und eine Möglichkeit des Maßnahmenabgleichs erarbeitet. Eine Situation wird in [3] als „diskreter, räumlich zugeordneter (verkehrlicher bzw. witterungsbedingter) Zustand mit einem zeitlichen Bezug eines bestimmten Ereignistyps“ definiert.

2.2.7.1 Datengrundlage

[3] beschreibt eine gegenüber MARZ [2] erweiterte Konzeption der Datenhandhabung unter Einbeziehung streckenbezogener Messungen und FCD in drei Fusionsstufen:

- Stufe 1: Fehlerkorrektur, Ersatzwerte, Mapmatching etc.
- Stufe 2: Schließen von Lücken der initialen Situationserkennung. Rekonstruktion des räumlich-zeitlichen Verkehrsgeschehens unter Einbeziehung der erweiterten Datengrundlage
- Stufe 3: Netzweite Verkehrslage

Den Fusionsstufen sind verschiedene situationsermittelnde Verfahren aus folgendem Kapitel 2.2.7.2 zugeordnet.

Die zu verwendende umfeldbezogene Datengrundlage wird auf folgende Inhalte erweitert:

- Windrichtung
- Windgeschwindigkeit (Mittel)
- Windgeschwindigkeit (Spitze)
- Niederschlagsintensität
- Wasserfilmdicke
- Sichtweite

2.2.7.2 Situationserkennung

Es wird zwischen querschnitts- und streckenbezogenen Verfahren unterschieden. Bei Letzteren werden entweder die Messdaten mehrerer Messquerschnitte miteinander verknüpft oder es werden streckenbezogene Direktmessungen (z. B. Reisezeit) verwendet. Verfahren, die zur SBA/KBA-Steuerung eingesetzt werden, arbeiten auf kurzzeitprognostizierten Daten (bis zu 5 min), Verfahren der NBA auf mittelfristig prognostizierten Daten (5 min bis zu 12 Stunden). Eine spezielle Aufgabe der Verkehrsflussanalyse ist die Störfallerkennung, die Störungen möglichst schnell erkennen und genau lokalisieren sollte.

Die Qualität der Situationserkennung aller Verfahren ist von der Qualität der verwendeten Eingangsdaten abhängig. [3] beschreibt Verfahren, die

- in ihrer Beschreibung offengelegt sind,
- auf UZ-Ebene implementierbar sind,
- auf den in Kapitel 2.2.6.1 beschriebenen Daten der FG1 arbeiten und
- zum Einsatz in UZ/VRZ bestimmt sind.

Erkennung verkehrlicher Situationen

[3] beschreibt Verfahren, die teilweise weit über die Standardverfahren gemäß MARZ hinausgehen. In der Verkehrszustandserkennung sind dies vor allem streckenbezogene Verfahren, die neben Fahrzeugbilanzierung auch Verkehrsflussmodelle (Kalman-Filterverfahren, ASDA/FOTO) einsetzen. Des Weiteren werden statistische und KI-basierte Verfahren beschrieben, beispielsweise Fuzzy Logic-Ansätze (linguistische Zustandsschätzung aus Verknüpfung lokaler Daten) und musterbasierte Verfahren (Ganglinienprognose). Darüber hinaus werden Verfahren beschrieben, die quasi als Decision Support System (Szenariensimulation) eingesetzt werden können (Monet, Polydrom). Letzte wurden bislang nur im Probetrieb eingesetzt.

2.2.7.3 Situationsbewertung

Situationen haben gemäß [3] einen bestimmten Typ, der durch diskrete Zustände charakterisiert ist und eine räumliche Zuordnung besitzt. Zusätzlich müssen die Güte des situationsermittelnden Verfahrens sowie die durch das Verfahren geschätzte Güte des Ergebniswerts () bei der Bewertung berücksichtigt werden. Die in [3] verwendeten Termini werden im Folgenden kurz beschrieben.

Typ:

Beispielsweise Fahrtzeit, Unruhe im Verkehr, Nässe, Sichtweite etc. Der Typ dient der Situationsbewertung (formaler Abgleich bei mehreren gleichzeitig anliegenden Situationen).

Diskreter Zustand:

Abbildung des Ergebniswerts aus dem eingesetzten Verfahren auf diskreten Zustand. Beispielsweise Fahrtzeit → normal, verlängert, stark verlängert, Nässe → trocken, nass 1, nass 2 etc. Den Diskretisierungsstufen werden Prioritäten bei der Situationsbewertung gemäß ihrer Kritikalität zugeordnet.

Räumliche Zuordnung:

Zuordnung des Zustands auf Ortsobjekte des Datenmodells des Basissystems Verkehrsrechnerzentralen: Punkt, Strecke, Netz, Gebiet.

Ergebniswertgüte:

Wird durch Verfahren selbst, auf Basis der Eingangsdaten (Vollständigkeit, Ersatzwerte etc.), ermittelt. Der Wert liegt im Intervall [0,1].

Verfahrensgüte:

Der Wert liegt im Intervall [0,1].

Im Bewertungsverfahren werden Situationen gleichen Typs und gleicher räumlicher Zuordnung in eine resultierende Situation überführt. [3] beschreibt zwei mögliche Verfahren der Überlagerung unter Zuhilfenahme von Grenzwerten für Ergebnis- und Verfahrensgüte sowie Zustandspriorität (Kritikalität).

Daneben wird das Bewertungsverfahren Fuzzy Aid genannt. Hierbei werden die Ausgangswerte mehrerer Verfahren zur Störfalldetektion durch Fuzzy Logic (Fuzzyifizierung, Inferenz (Regelbasis), Defuzzyifizierung) zu einer resultierenden Situationsbeschreibung verarbeitet. Anwendung findet dieses Verfahren laut [3] vor allem im Ausland (Schweiz, Hongkong, Dubai).

2.2.7.4 Maßnahmenauswahl

Maßnahmen sind Handlungsanweisungen infolge anliegender Situationen (mindestens eine Situa-

VRZ Maßnahme	Regionen																			
	Schleswig-Holstein	Hamburg	Bremen	Mecklenburg-Vorpommern	Brandenburg	Berlin	Niedersachsen	Sachsen-Anhalt	Thüringen	Sachsen	Hessen	NRW-Westphalen	NRW-Rheinland	Rheinland-Pfalz	Saarland	Baden-Württemberg	Nordbayern	Südbayern	ASFINAG (Österreich)	
Geschwindigkeitsbeschränkung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gefahrenwarnung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lkw-Überholverbot wegen Verkehrsbehinderung	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Warnung vor langsamen Fahrzeugen			x						x											
Fahstreifensperrung	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Konfigurierter Maßnahmentyp		x	x													x			x	x
Richtungswechselbetrieb		x		x		x	x													
Temporäre Seitenstreifenfreigabe	x		x				x				x	x	x			x**	x	x		
Vereinfachtes Netzsteuerungsmodell		x						x		x		x*	x*		x		x			
Steuerungsmaßnahme für großräumige Netzmaschen	x						x				x	x*	x*	x		x	x			x
Reisezeitinformation			x								x									x
Zielinformation	x	x			x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Variable Fahstreifenzuteilung						x	x					x	x							x
Zufussregelung				x ²		x ¹						x	x	x		x**				x

x* Maßnahme noch nicht im Regelbetrieb
 x** geplant für 2012
 x¹ durch Sperrung von Anschlussstellen
 x² temporär an Baustellen

Bild 9: Eingesetzte Maßnahmen in der Verkehrssteuerung (aus [3])

on). Einer Situation können mehreren Maßnahmen zugeordnet sein. [3] ordnet beispielhaft SBA, NBA und KBA verschiedene Maßnahmenkategorien (beispielsweise Harmonisierung, Stauabsicherung etc.) und Maßnahmentypen (beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkung, Stauwarnung etc.) aufgrund anliegender Situationen zu. Die Zuordnung von Maßnahmen zu Situationen ist in den

VRZ/UZ in Form von Maßnahmenbibliothek vorzuhalten.

Bild 9 gibt einen Überblick über die in den Bundesländern eingesetzten Maßnahmen.

Bild 10 enthält eine Zuordnung von situationsermittelnden Verfahren zu Maßnahmen.

Maßnahme: Situation aus ...	Streckenbeeinflussung						Netzbeeinflussung				Knotenpunktsbeeinflussung	
	Geschwindigkeitsbeschränkung	Gefahrenwarnung	Lkw-Überholverbot wegen Verkehrshinderung	Warnung vor langsamen Fahrzeugen	Richtungswechselbetrieb	Temporäre Seitenstreifenfreigabe	Vereinfachtes Netzsteuerungsmodell	Steuerungsmaßnahme für großräumige Netzmaschen	Reisezeitinformation	Zielinformation	Variable Fahrstreifenzuweisung	Zuflussregelung
Verkehrslage und Stauererkennung nach MARZ	x	x	x		x	x					x	
VKDiffKfz nach AK VRZ		x										
Unruhe im Verkehr gemäß MARZ	x	x										
Dynamisches Fundamentaldiagramm	x											
Kalman-Filterverfahren		x										
INCA	x	x	x									
Automatische Verkehrszustandsklassifizierung und Störfallerkennung mit AIDA	x	x										
Fuzzyfizierte Verkehrslage	x	x										
Hoher Lkw-Anteil			x									
Langsamer Lkw				x								
Immissionssteuerung	x	x										
Feinstaub-Algorithmus	x	x										
Witterungszustand Nässe	x	x										
Witterungszustand Nebel	x	x										
Lärm	x											
Einfaches Reisezeitmodell									x			
Reisezeitmodell mit deterministischem Staumodell									x			
ASDA/FOTO		x							x			
Netzprognosemodell							x	x	x	x		
Ganglinienprognose nach AK VRZ												
Stauverlaufsanalyse gemäß AK VRZ							x	x				
MONET bzw. VISUM-online							x	x				
Köln-Koblenz-Algorithmus							x	x				
Vereinfachtes Netzsteuerungsmodell							x	x				
Polydrom							x	x	x			
Verkehrslage an Knotenpunkten										x	x	

Bild 10: Abbildungsmatrix Situationen - Maßnahmen (aus [3])

2.2.7.5 Maßnahmenbewertung

Maßnahmen haben gemäß den anliegenden Situationen einen räumlichen Bezug. Dieser kann sich bei mehreren angeforderten Maßnahmen überlappen. Da verschiedene Maßnahmen hinsichtlich ihrer Restriktivität unterschiedliche Prioritäten besitzen, können die weniger priorisierten von den höher priorisierten ausgeschlossen werden. Nach [3] können sich Maßnahmen im Bereich der räumlichen Überlappung überlagern (kein Ausschluss) oder räumlich (d. h. im Bereich der räumlichen Überpassung beider Maßnahmen wird die niedriger priorisierte Maßnahme ausgeblendet) bzw. vollständig (die niedriger priorisierte Maßnahme entfällt vollständig, auch außerhalb des Überpassungsbereichs) ausschließen. Ein anschauliches Beispiel für die Vorgehensweise des Ausschlussverfahrens ist in [3] Kapitel 8.2 gegeben.

Für die Generierung von Zustandsmeldungen an dWiSta im Kontext von NBA-Steuerungen werden in [3] Regeln formuliert, die sich auf detektierte Störungen auf den Haupt- bzw. Alternativrouten stützen.

2.2.7.6 Fazit

Aus Bild 8 geht hervor, dass die flächendeckend eingesetzten Verfahren zur Situationsermittlung immer noch größtenteils auf den im MARZ99 [2] formulierten Vorgaben beruhen, in denen Steuerungsmaßnahmen direkt aus der Situationserkennung abgeleitet werden, die wiederum auf relativ einfachen Grenzwertvergleichen beruht. Es ist festzustellen, dass die eingesetzten Detektionstechnologien einen lokalen Bezug haben, aus dem räumliche bzw. streckenbezogene Situationen abgeleitet werden müssen. Vor allem für umfeldbedingte Steuerungsmaßnahmen kann dieser Umstand erschwerend wirken.

Im Laufe der Zeit sind – vgl. [3] – eine Vielzahl an fortgeschrittenen Verfahren entwickelt und die Situationserkennung bzw. Maßnahmenauswahl wesentlich differenziert worden. Dieser Fortschritt wird auch im MARZ18 [39] Eingang finden. Jedoch lässt die Recherche ebenfalls den Schluss zu, dass komplexe Verfahren, die auf vielparametrischen Modellen basieren, trotz guter Funktionalität einigen Hemmnissen unterliegen, die den operativen Einsatz erschweren bzw. verhindern. Viele fortgeschrittene Verfahren befinden sich auf ausgewählten Strecken im Probetrieb oder werden zur VRZ-internen Ver-

kehrslagedarstellung verwendet und haben derzeit keinen direkten Bezug zur tatsächlichen Steuerung. Diese deutlich verbesserten Eingangsdaten können nur dann eine Verbesserung erzielen, wenn auch die darauf aufbauenden Algorithmen angepasst werden. Mittelwertbildung und einfache Grenzwertvergleiche sind hier nicht mehr ausreichend. Es ist jedoch eine Herausforderung keine Inselfösungen mit Blackbox-Charakter hierfür zu entwickeln. Neue Verfahren müssen daher Daten verschiedener Quellen möglichst früh zu einer gemeinsamen Situation zusammenführen. Alle Maßnahmenauswahlverfahren müssen zukünftig so angepasst werden, dass sie auf der abgestimmten zu adressierenden Situation basieren.

Die durch die TLS/MARZ-Architektur implizierten Steuerungsstrategien haben entsprechend ihrer Zielsetzung nachweislich Verbesserungen in Punkto Verkehrssicherheit/-effizienz erzielt. Jedoch ist anzunehmen, dass – auch unter Verwendung der herkömmlichen Erfassungs- und Anzeigetechnik – Verbesserungspotenzial in den aktuellen Strategien liegt.

2.3 C2X-Technologie

C2X-Technologie (Car-to-anything) umfasst die Kommunikation zwischen sog. ITS-Stations (ITS-S) auf Basis von Nachrichtencontainern mit standardisiertem Inhalt.

C2X umfasst in diesem Kontext:

- Car-to-car (C2C)
- Car-to-infrastructure (C2I)
- Infrastructure-to-car (I2C)

Eine ITS-S ist hierbei eine Entität, die am Gesamtsystem „Verkehr“ teilnimmt bzw. mit ihm in Wechselwirkung steht. Die in bisherigen Projekten und in der Forschung am prominentesten behandelten Entitäten sind hierbei:

- Das Fahrzeug (Vehicle-ITS-S, V-ITS-S)
- Die Infrastruktur (Roadside-ITS-S, R-ITS-S)
- VRZ (Central-ITS-S, C-ITS-S)

Konzeptionell beschränkt sich die C2X-Technologie keineswegs auf diese drei Entitäten. Beispielsweise können Datenzentren von Fahrzeugherstellern mit den VRZ in kooperativer Verbindung (Datenaustaus-

ch) stehen, etwa über den Mobilitätsdatenmarkt- platz (MDM) als zentralen Datenbroker. Jeder Fußgänger, jedes schienengeführte Fahrzeug und jedes Schiff und Flugzeug können bei entsprechender technischer Ausstattung in den Kommunikationsverbund miteinbezogen werden. In der technischen Umsetzung stehen die Entitäten über kontinuierliche Statusmeldungen und vereinzelt Ereignismeldungen miteinander in Verbindung und liefern Input für den Informations- und Entscheidungsraum auf strategischer und operativer Ebene.

In zahlreichen Forschungsprojekten sind verschiedene, eine bestimmte verkehrliche Situation adressierende Anwendungsfälle dieser Technologie erprobt worden. Die unmittelbar zur Umsetzung anstehenden Anwendungen werden als Day1 bezeichnet, später umzusetzende, funktional komplexere Anwendungen als Day2.

Die grundlegenden Nachrichten für die Day 1-Implementierungen sind „Cooperative-awareness-message“ (CAM, hochfrequente Statusmeldung einer ITS-S, s. Kapitel 2.3.1.2) und „Decentralized environmental notification message“ (DENM, ereignisbasiert, siehe Kapitel 2.3.1.3). Für die Kommunikation im C2X-Verbund muss eine ITS-S das ETSI-Kommunikationsmodell (Schichtenmodell, siehe Bild 11) implementieren. Im Prinzip ist die Kommunikation unabhängig von der Übertragungstechnologie (Layer 1-2), jedoch wurde hierfür, nach eingängigen Tests in verschiedenen Forschungsprojekten, eine hybride Lösung aus dem speziellen Fahrzeug-WLAN-Standard ITS-G5 (für C2C und C2X) und zellulärer Kommunikation mittels 4G/5G (hauptsächlich I2C) gewählt. In Day 1 werden V-ITS-S, R-ITS-S und C-ITS-S die Hauptakteure im C2X-System sein. Dies stellt keine Beschränkung für zukünftige Entwicklungen dar. So ist es möglich, z. B. Fußgänger durch eine ITS-S auf einem Handheld-Gerät mit einzubeziehen (Personal ITS-S, P-ITS-S). Erste Fahrzeughersteller planen bereits für 2019 einen produktiven Einsatz von ITS-G5 Kommunikation, andere werden in Kürze zellulare Kommunikation in ihren Fahrzeugmodellen serienmäßig verbauen.

2.3.1 Standardisierung

Die Standardisierung wird auf europäischer Ebene durch das European Committee for Standardization (CEN) und das European Telecommunications Standards Institute (ETSI) sowie auf internationaler Ebene durch die International Organization for

Standardization (ISO) betreut und vorangetrieben. Auf deutscher Ebene werden die o.a. Gremien durch entsprechende Spiegelausschüsse des Deutschen Instituts für Normung (DIN) begleitet und unterstützt.

Getragen werden die Standardisierungsarbeiten durch viele Verbände, Institutionen und Forschungsprojekte. Neben der europäischen Kommission und den europäischen Regierungen sind infrastrukturseitig z. B. POLIS (European Cities and Regions Networking for Innovative Transport Solutions) und ASECAP (European Association of Operators of Toll Road Infrastructures) zu nennen. Fahrzeug- und kommunikationsseitig engagiert sich insb. das CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C-CC).

Gemeinsam engagiert man sich insb. in der Amsterdam Group, um zu einem konsolidierten Vorgehen zu kommen. Dort hat man sich auf ein Subset von Standards geeinigt [5], um ein operationales Day 1 System herstellerübergreifend implementieren zu können. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um das fahrzeugseitige (V-ITS-S) Subsystem, ergänzt um die infrastrukturbasierten Systeme (R-ITS-S, C-ITS-S) und Anwendungsfälle, die in entsprechenden White Papers der Amsterdam Group funktional – quasi als Richtlinien – beschrieben werden.

Die technische Kommunikationsarchitektur für eine ITS-Station, d. h. im Einzelnen V-ITS-S, R-ITS-S und C-ITS-S, ist in [6] beschrieben.

Auf technischer Seite sind für dieses Projekt einige grundlegende Standards von ETSI relevant, da in ihnen die in den C-ITS Implementierungen verwendeten Daten in Form von Datenelementen (Data Elements) und Datenstrukturen (Data Frames), sowie die Methodik für deren Handhabung, definiert werden. Sie werden in den folgenden Kapiteln 2.3.1.1 bis 2.3.1.9 kurz beschrieben. Hier nicht weiter behandelt werden technische Kommunikationsstandards/-medien wie 5G (zellulare Kommunikation) oder ETSI-G5 bzw. ITS-G5 (Fahrzeug-WLAN), da die Verwendung der Datenelemente von diesen unabhängig ist.

2.3.1.1 Common Data Dictionary [7]

In diesem Dokument werden die Datenelemente spezifiziert, die vom Facilities Layer einer ITS-Station zur Generierung und Verarbeitung von CAM und DENM Nachrichten verwendet werden. In die

Standardisierung sind die Ergebnisse von Tests zahlreicher Feldversuche in Forschungsprojekten wie DRIVE C2X, CVIS, simTD oder SCORE@F eingeflossen.

Die im Folgenden kurz vorgestellten Services (Hintergrundprogramm/Daemon auf einer ITS-S) generieren C-ITS Nachrichten mit speziellem Applikationsbezug. Die Services laufen auf dem Facilities Layer einer ITS-S, siehe Bild 11.

Bild 11 zeigt die Schichtenstruktur einer ITS-S, die eine Spezifizierung des allgemeinen ISO-OSI Kommunikationsmodells darstellt. Eine Detailliertere Darstellung und Beschreibungen der einzelnen Schichten finden sich in [6]. Interfaces zwischen den ITS-S-internen Entitäten sind in Bild 11 in Ellipsen dargestellt (beispielsweise FA: Facilities – Applications). Sie ermöglichen die für die Gesamtfunktionalität der ITS-S nötige Kommunikation. So kann z. B. eine Applikation (datenverarbeitende Funktion auf der ITS-S), die CAN-Bus-Werte des Fahrzeugs verarbeitet, bei Erkennen von Glätte anhand der

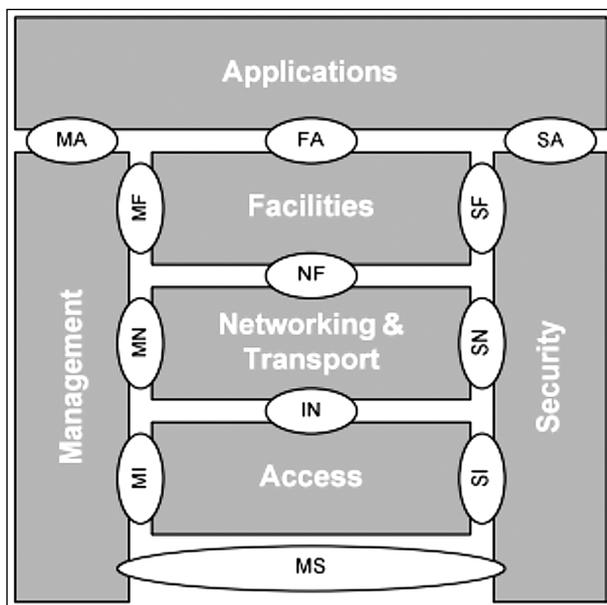


Bild 11: ITS station reference architecture/ITS-S host (aus [6])

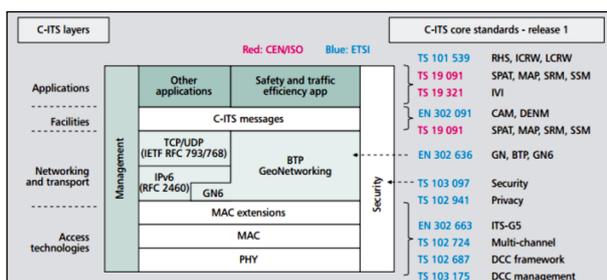


Bild 12 Protocol stack Release 1 für C-ITS in Europa (aus [27])

gelieferten Werte die Generierung einer entsprechenden DENM auf dem Facilities Layer triggern. Zur Adressierung bestimmter ITS-S in der Umgebung werden Funktionen auf dem Networking and Transport Layer verwendet usw.

Bild 12 aus [27] stellt den Protocol Stack nochmals etwas differenzierter dar und ordnet den Layern die entsprechenden Standardisierungsdokumente und im Folgenden beschriebenen Nachrichtenformate zu.

2.3.1.2 Cooperative Awareness (CA) Basic Service [8]

Der Cooperative Awareness Basic Service (CA Basic Service) läuft auf dem Facilities Layer einer ITS-Station und generiert CAM Nachrichten (Heartbeat Message) mit 1 bis 10 Hz nach definierten Regeln. Für R-ITS-S ist die Sendefrequenz flexibler gestaltet (max. 1 Hz). CAM Nachrichten informieren andere ITS-Stationen in der ITS-G5 Reichweite über die Position, die Dynamik und Attribute der generierenden ITS-Station. Der CA Basic Service ist für jede ITS-S verpflichtend. Er bezieht Daten aus fahrzeugseitigen Systemen wie CAN-Bus und GPS-Positionierung. Eine CAM enthält folgende Datencontainer:

- ITS PDU Header (allgemeiner ITS Nachrichtenheader)
 - Protokoll Version
 - Nachrichten ID
 - ITS-S ID
- Basic Container:
 - Typ der ITS-S
 - Zeitstempel und Position
- High frequency Container:
 - Schnell veränderliche Attribute (Geschwindigkeit, heading etc., siehe Anhang 5)
- Low frequency Container (optional):
 - Langsam veränderliche Attribute, z. B. Status Abblendlicht (ein/aus)
- Special vehicle container (optional):
 - Für Fahrzeuge mit bestimmter Rolle (Public Transport, Road Works etc.)

CAMs werden durch single-hop übertragen, d. h. es gibt einen Sender und einen oder mehrere direkte Empfänger.

2.3.1.3 Environmental Notification (EN) Basic Service [9]

Der Environmental Notification Basic Service (EN Basic Service) läuft auf dem Facilities Layer einer ITS-S und generiert und kommuniziert ereignisabhängige DENM Nachrichten. Das Auslösen einer DENM Generierung wird in den applikationsspezifischen „Triggering Conditions“ des C2CCC definiert. Neben dem Generieren und Verarbeiten von DENM wird in [9] auch das Weiterleiten (Forwarding) beschrieben. Eine DENM enthält folgende Datencontainer:

- ITS PDU Header (allgemeiner ITS Nachrichtenheader)
 - Protokoll Version
 - Nachrichten ID
 - ITS-S ID
- Management Container: ID der DENM, Übermittlungsintervall etc.
- Situation Container (optional): Typ des Events
- Location Container (optional): Ortsreferenzierung
- A la carte Container (optional): zusätzliche applikationsabhängige Information

DENMs werden bei genügend niedriger Kanallast auch im multi-hop-Verfahren übertragen, d. h. Empfänger leiten die Nachricht ihrerseits weiter. Somit kann Information über größere Gebiete verbreitet werden.

CAM und DENM sind die grundlegenden Nachrichtenformate für C-ITS. Auch für I2C-Applikationen können entsprechend konstruierte DENMs zur Anwendung kommen, beispielsweise Road Works-Container als a la carte Container.

[13] spezifiziert darüber hinaus noch weitere Nachrichtenformate speziell im I2C-Kontext:

2.3.1.4 Traffic Light Maneuver (TLM) service [13]

Hierbei handelt es sich um einen Infrastrukturservice, der SPATEM (Signal Phase and Timing Extended Message) Nachrichten generiert. Ziel ist es,

dass empfangende ITS-S sicherere Fahrmanöver in Kreuzungsbereichen durchführen können. Die SPATEM informiert über den aktuellen Zustand von Lichtsignalanlagen und über die Restzeit bis zum Phasenwechsel. Zukünftig sollen auch Grüne-Welle-Empfehlungen und Informationen über ÖPNV-Priorisierung enthalten sein. Die Datenelemente der SPATEM sind in CEN ISO/TS 19091 spezifiziert.

2.3.1.5 Traffic Light Control (TLC) service [13]

Hierbei handelt es sich um einen Infrastrukturservice (V2I), der SREM (Signal Request Extended Message) und SSEM (Signal Request Status Extended Message) Nachrichten generiert. Eine entsprechende Applikation in der Infrastruktur kann diese Nachrichten verwenden, um ÖPNV- oder Einsatzfahrzeugen (Feuerwehr, Notarzt, Polizei etc.) zu ermöglichen, eine oder mehrere Kreuzungen auf einer Route priorisiert zu durchfahren. Die Datenelemente der SREM und SSEM sind in CEN ISO/TS 19091 spezifiziert.

2.3.1.6 Road and Lane Topology (RLT) service [13]

Hierbei handelt es sich um einen Infrastrukturservice, der MAPEM (Map Extended Message) Nachrichten generiert, sofern eine Applikation detaillierte Informationen zu Fahrspurtopologien (Kfz, Rad, ÖPNV, Parkflächen etc.), Fußgängerfurten, sowie erlaubten Fahrmanövern insbesondere in Konfliktbereichen wie Kreuzungen bereitstellt. Die Datenelemente der MAPEM sind in CEN ISO/TS 19091 spezifiziert.

2.3.1.7 Infrastructure to Vehicle Information (IVI) service [13]

Hierbei handelt es sich um einen Infrastrukturservice, der IVIM (In-Vehicle Information Message) Nachrichten generiert. Die IVIMs enthält Informationen über restriktive oder empfehlende statische oder dynamische Verkehrszeichen (Geschwindigkeitsbeschränkungen, Baustellen etc.). Die Datenelemente der IVIM sind in CEN ISO/TS 19321 spezifiziert.

2.3.1.8 IVIM-Kodierung regulatorischer, fahrtrichtungsbezogener Anzeigen

Zur Umsetzung von SBA-Maßnahmen, die Geschwindigkeitsvorgaben (A-Zeichen) oder Stre-

ckenverbote (B-Zeichen) sowie deren Aufhebung beinhalten, wird im Folgenden aufgezeigt, wie die Umsetzung mit den derzeit verfügbaren Standards [44] und [45] aussehen könnte. Es wird hierbei nicht die komplette Datenstruktur beschrieben, sondern lediglich die hierarchischen Elemente, die die Kodierung des Zeichens erlauben:

- roadSignCodes
 - applicableLanes: outermostDrivingLane(1), secondLaneFromOutside(2), ... → alle durchgehen
 - trafficSignPictogram: regulatory (1)
 - pictogramCategoryCode
 - nature: 5
 - serialNumber: 57
 - Resultat: 
- ISO14823Attributes item: spe (4)
 - spm: 50
 - unit: kmperh (0)

Beispiel für ein Streckenverbot (Lkw-Überholverbot):

- pictogramCategoryCode
 - nature: 5
 - serialNumber: 44
 - Resultat: 

Zusätzlich können spezielle Lkw-Gewichtsklassen adressiert werden, z. B. alle Fahrzeuge ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 7,5 t (C-Zeichen):

VehicleCharacteristicsRanges

- comparisonOperator: greaterThan
- vehicleWeightLimits
 - vehicleTrainMaximumWeight: 750 (x 10 kg)

Durch die explizite Angabe der „VehicleCharacteristics“ ist es möglich, dass fahrzeugseitige Applikationen die Meldung filtern und nur die betreffenden Fahrzeuge eine Anzeige erhalten. Diese Applikation muss auf der Onboard-Unit des Fahrzeugs oder auf der HMI-Komponente implementiert sein.

2.3.1.9 R-ITS-S Spezifika

[13] weist ausdrücklich auf funktionale Besonderheiten des EN Basic Service und das CA Basic Service im Kontext von R-ITS-S hin. Der EN Basic Service einer R-ITS-S soll:

- DENM auf Basis der Information von direkt angeschlossener Hardware (LSA-Controller, Baustellenabsperrtafel etc.) generieren können
- DENM auf Basis von Daten aus der Zentrale generieren können
- DENM aus der Zentrale an anderen ITS-S weiterleiten können (via ITS-G5, WLAN, zellular)
- DENM von anderen ITS-S an die Zentrale weiterleiten können

Der CA Basic Service einer R-ITS-S soll:

- CAMs zur Information über geschützte Kommunikationszonen (z. B. Mautstellen) generieren können
- CAMs aus anderen ITS-S in die Zentrale weiterleiten können (bei ausreichender Kanalkapazität)
- CAMs aus anderen ITS-S aggregieren können (zu PVD-Zwecken)

2.3.2 Applikationen zur Detektion auf Basis von Fahrzeugdaten via C2I

2.3.2.1 Situationserkennung

C2X ist ein Datenprotokoll, welches Inhalte von Applikationen kommuniziert. Sofern Services/Applikationen im Fahrzeug aus Messwerten Situationen ableiten können, kann die ermittelte Situation über C2X kommuniziert werden. Dies soll durch Triggering Conditions ausgelöst werden. Es ist davon auszugehen, dass Applikationen für folgende (steuerungsrelevanten) Situationen in Zukunft in Fahrzeugen implementiert werden:

- Adverse weather conditions [22]
 - Fog
 - Precipitation
 - Traction Loss
- Dangerous situations [23]
 - Electronic emergency brake light
 - Automatic brake intervention

- Occupant restraint system intervention
- Stationary Vehicle Warning [24]
 - Stopped vehicle
 - Broken-down vehicle
 - Post-Crash
- Traffic jam [25]
 - Dangerous end of queue
 - Traffic jam ahead

Das C2CC spezifiziert sogenannte Triggering Conditions, in denen verbindliche Vorgaben zur fahrerseitigen Erzeugung einer DENM bei Vorliegen bestimmter Sensormesswerte. Dies ist für die Verkehrssteuerung besonders interessant, da mit derartigen Applikationen ausgestattete Fahrzeuge somit eine Erweiterung des Sensornetzwerkes darstellen, die nicht örtlich gebunden ist und Situationen dort erkennt, wo sie entstehen.

2.3.2.2 Ortsreferenzierung

Wenn eine Applikation in einer ITS-S ein Ereignis detektiert, initiiert sie eine entsprechende DENM. Neben einem definierten Code für die Art des Ereignisses (Cause Code, Sub Cause Code, siehe [9]) enthält diese DENM unter anderem eine Trace (Abfolge ihrer gespeicherten Punktreferenzierungen, Fahrzeugtrajektorie), die zum Ereignis führt. Für die Beschreibung eines geographischen Gebiets, in dem beispielsweise eine verkehrsrelevante Situation vorherrscht, definiert [26] neben der Punktreferenzierung noch drei geometrische Formen, die angewendet werden können:

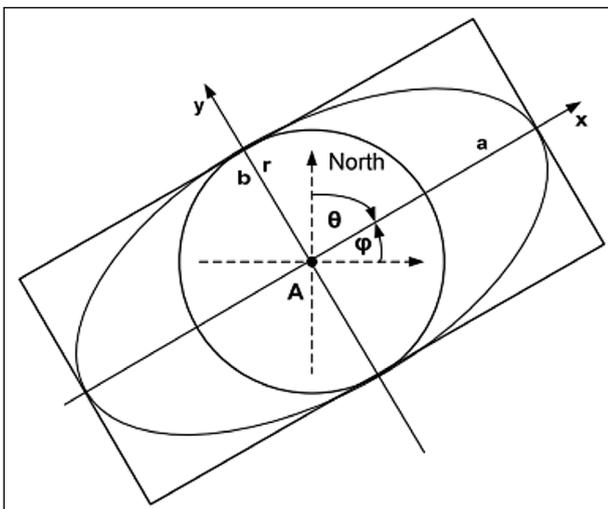


Bild 13: Geometrische Formen zur Beschreibung eines geographischen Gebiets (aus [26])

- Kreis,
 - Ellipse,
 - Rechteck,
- siehe [26].

2.3.3 Applikation zur Darstellung von VBA-Inhalten im Fahrzeug (virtuelle VBA) - Rechtliche Aspekte

Hinsichtlich der Verkehrsbeeinflussung unter Verwendung von I2C-Kommunikation (In-Vehicle Signage, Hazardous Location Warning) muss die rechtliche Stellung der Anzeige im Fahrzeug gegenüber den herkömmlichen ortsfesten Anzeigen (statische Beschilderung und variable Anzeigen) bedacht werden. Der Grund hierfür liegt zum einen darin, dass in Day 1 längst nicht jeder Verkehrsteilnehmer den IVIM-Dienst empfangen kann und zum anderen in der möglichen Inkonsistenz der IVS-Anzeige und der ortsfesten Anzeigen durch fehlerhafte Funktionalität (software- oder hardwarebedingt) in der C-ITS-S oder R-ITS-S.

[19] trifft Annahmen bzgl. der Dateninhalte und -anzeigen in der Applikationsgruppe der In-Vehicle Information. Hier heißt es z. B., dass die im Fahrzeug angezeigten Verkehrsschilder lediglich informativen Charakter haben und im Gegensatz zu der statischen Beschilderung und den dynamischen Anzeigequerschnitten nicht rechtlich bindend sind und dies dem Fahrer (ähnlich wie bei Navigationssystemen) explizit dargestellt und von diesem quittiert werden muss.

[20] weist ebenfalls auf den unterstützenden Charakter von IVI-Applikationen hin und betont, dass bei den Fahrern keinesfalls ein „blindes Systemvertrauen“ entstehen darf. Es wird darauf hingewiesen, dass im Falle einer Fehlfunktionalität eine Gefahrenwarnung generiert werden kann, die nicht der realen Situation entspricht und zu Fahrverhaltensänderungen mit Gefahrenpotenzial führen kann. Solche Fehlfunktionen können sowohl das fahrerseitige HMI als auch die zentralen- oder straßenseitige Infrastruktur (R-ITS-S) betreffen. In diesem Zusammenhang verweist [20] auf die allgemeinen Vorgaben zur herstellereigenen Produktverantwortung bei Fahrerinformationssystemen/Fahrerassistenzsystemen.

2.3.4 Applikationen zur Zentralenseitigen Verarbeitung von Daten via C2X - Erfahrungen im Projekt simTD

Im Projekt simTD, in dem ein Feldversuch mit 120 ausgestatteten Fahrzeugen über einen Zeitraum von sechs Monaten durchgeführt wurde, ist ein Prototyp einer C-ITS-S (im Projekt ICS genannt) implementiert und getestet worden, siehe [28]. Diese kooperative Zentrale stellte das Bindeglied zwischen den Testfahrzeugen, den R-ITS-S und den Zentralen des Landes Hessen (VMZ) und der Stadt Frankfurt (IGLZ) dar. Als wesentliche Anforderungen wurden folgende Punkte identifiziert:

- Gemeinsames räumliches Referenzierungssystem für alle beteiligten Akteure (Fahrzeuge, Zentrale etc.)
- Einheitliche Verkehrs- und Wetterlage basierend auf stationärer Detektion und mobilen Daten

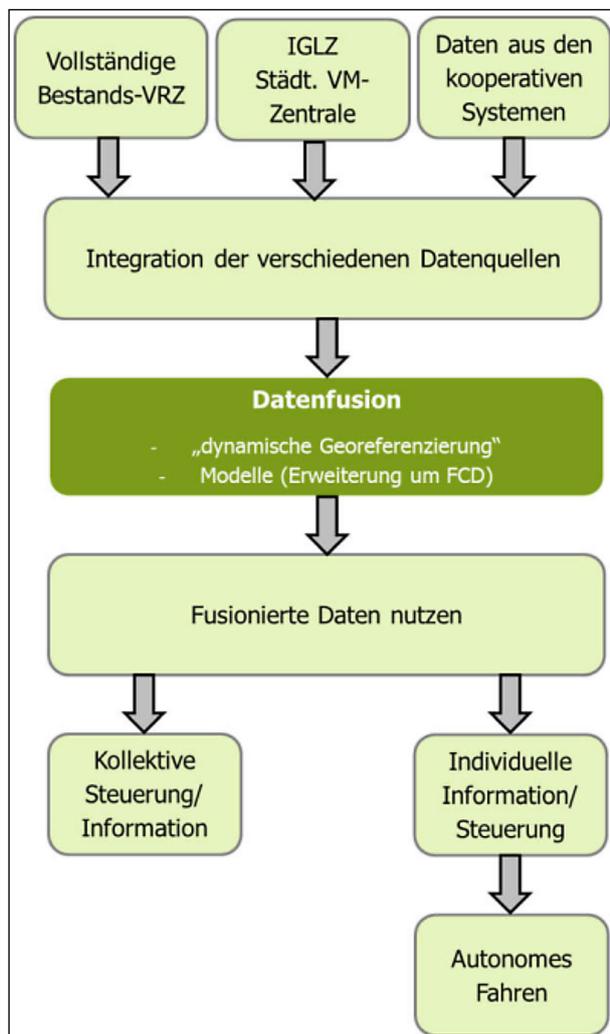


Bild 14: Funktionale Abläufe einer kooperativen Zentrale (aus [28])

(DENM, CAM) mit unterschiedlichem Raum- und Zeitbezug

- Skalierbare Systemarchitektur zum Umgang mit großen Datenmengen

Eine Kernherausforderung lag in der oben angesprochenen Fusionierung der Daten mit unterschiedlichen örtlichen Referenzierungssystemen nach vorausgegangener Überführung in eine gemeinsame Datenhaltung. Auf Basis dieser Fusion wurde dann die Situationserkennung und Maßnahmenauswahl durchgeführt. Die funktionalen Abläufe der ICS im Projekt simTD zeigt Bild 14.

Für die örtliche Fusionierung wurden fahrzeugbasierte Daten (Einzelpunkte und Punktketten) auf das lineare Referenzierungssystem der Zentrale (basierend auf der Location Code List des TMC-Systems) mittels Mapmatching abgebildet, was sich in den Auswertungen technisch als kritische Komponente bzgl. der Skalierbarkeit erwies. Ebenso wurden die Zeitstempel auf die Aggregierungsintervalle der stationären Detektion abgebildet. Für die Verkehrslagefusion wurde das Modul ASDA/FOTO mit einer Erweiterung für die gewonnenen Fahrzeugtrajektorien verwendet.

2.3.5 Architekturen zur Realisierung der C2X-Kommunikation - Beispiele

Nach zahlreichen europäischen Feldtests, in denen die Kommunikationshardware und -technologien sowie diverse Anwendungsfälle getestet wurden und deren Ergebnisse in internationale Standards einfließen, haben sich die Verkehrsministerien der Niederlande, Deutschland und Österreich in einem Memorandum of Understanding auf einen kontinuierlichen, funktional harmonisierten Rollout kooperativer Systeme auf Autobahnen geeinigt. In den länderspezifischen Umsetzungen werden verschiedene Anwendungsfälle implementiert (siehe folgende Kapitel). Anwendungsfälle in diesem Sinne beziehen sich auf verkehrstechnische Anwendungen (VBA). Applikationen agieren hingegen auf den ITS-S im C2X-System.

2.3.5.1 C-ITS Korridor Deutschland

Baustellenwarnung

Die Prozessschritte, die Systemarchitektur sowie die Schnittstellen zur Realisierung des Dienstes Baustellenwarnung werden in [14] und [15] beschrieben.

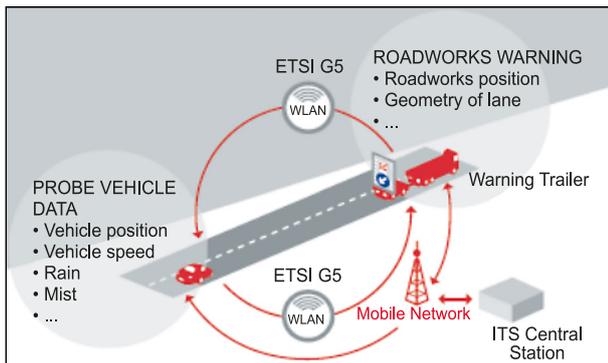


Bild 15: Day 1 Services im C-ITS Korridor (aus [18])

Vorgesehen ist eine Architektur, in der ein Baustellenfahrzeug inklusive R-ITS-S entweder im sog. Stand-alone-Modus DENMs mit der Baustellenwarnung (im A la carte Container) versendet, oder durch Mobilfunkanbindung an ein C-ITS-S zusätzliche Informationen (z. B. aus Baustellenmanagementsystem des betreffenden Bundeslandes) zur Meldungsgenerierung erhält. Die C-ITS-S ist ein eigenständiges Modul und somit nicht in die VRZ eingebettet. Bzgl. der technischen Umsetzung der C-ITS-S werden in [14] verschiedene Möglichkeiten vorgeschlagen. In der dezentralen Umsetzung implementiert jede VRZ die standardisierten Module der C-ITS-S sowie die erforderlichen Schnittstellen. In der zentralen Umsetzungsvariante gibt es die C-ITS-S nur einmal. Diese stellt mehreren (oder allen) VRZ die datenverarbeitenden Funktionalitäten zur Verfügung.

Darüber hinaus ist eine Anbindung Dritter (Dienstleister) an die Baustelleninformationen über den Mobilitätsdatenmarktplatz (MDM) vorgesehen, wodurch eine Schnittstelle aus dem C2X-System heraus geschaffen wird. Die Informationsverbreitung zum Endkunden erfolgt dann über Internet und Mobilfunk (TPEG).

Fahrzeugseitige Datenerfassung

Die anvisierte Umsetzung dieses Dienstes im deutschen Teil des Korridors wird in [15] und [16] beschrieben. Die genaue Art der Verwendung (Applikation) der fahrzeugbasierten Daten in der VRZ oder C-ITS-S geht aus den Dokumenten jedoch nicht hervor. Es werden hauptsächlich die Schnittstellen der Datenübertragung dargestellt. [16] sieht vor, dass die Kommunikation zwischen R-ITS-S und C-ITS-S durch in XML-Schemata spezifizierten Datenstrukturen von Statten gehen soll. Von einer R-ITS-S empfangene CAMs oder DENMs aus den Fahrzeugen sollen unverändert und unaggregiert in solchen XML-basierten Wrappern an die C-ITS-S

und von dort via einen Konverter in den Datenverteiler der VRZ gesendet werden.

2.3.5.2 C-ITS Korridor Österreich

Der österreichische Teil des Korridors wird im Projekt Eco-AT realisiert. In [17] sind alle relevanten Spezifikationen zu finden.

Road Works Warning

Systemarchitektonisch wird – wie in der deutschen Umsetzung – zwischen Stand-alone-Modus und Zentralenanbindung unterschieden. Die Baustellenwarnung in Eco-AT adressiert folgende Baustellentypen:

- Kurzzeitig stationär
- Sich bewegender Trailer
- Langfristig

Systemarchitektonisch gibt es mehrere Umsetzungsmöglichkeiten (fixe R-ITS-S, R-ITS-S auf Baustellen-trailer im Stand-alone-Modus oder mit Zentralenanbindung via C-ITS-S).

In-Vehicle Information (IVI)

In Eco-AT wird das IVI-Subset In-vehicle signage (IVS, vgl. Anhang 8) implementiert. Es werden nur die Inhalte dynamischer Anzeigequerschnitte ins Fahrzeug übertragen und dort auf einem Endgerät angezeigt, keine statische Beschilderung.

Probe Vehicle Data (PVD)

In Eco-AT wird PVD in Form der sogenannten CAM-Aggregation umgesetzt. Hierbei aggregiert ein Modul auf der R-ITS-S die empfangenen CAMs von den V-ITS-Ss in der Umgebung der R-ITS-S über ein definierbares Zeitintervall und überträgt diese Daten an die C-ITS-S. Mit dieser Applikation ist es auch möglich Reisezeiten auf Streckenabschnitten zu ermitteln.

Intersection Safety (ISS)

Hierbei handelt es sich um Applikation die SPaT und MAP Nachrichten, deren Inhalt aus dem Steuermodul der LSA generiert wird (Phasenübergänge) sowie der Kreuzungstopologie, verarbeitet.

Andere DENM-basierte Applikationen

Hierbei werden Applikationen zum zentralenseitigen Versenden eventbasierter Information (vgl. Anhang 7) aus der VRZ in die Fahrzeuge und zum

Sammeln derartiger Informationen aus den Fahrzeugen implementiert.

2.3.5.3 C-ITS Korridor Niederlande

Collision risk warning

Neben der Baustellenwarnung und PVD wird in den Niederlanden noch der Anwendungsfall „Collision risk warning“ implementiert, siehe <https://itscorridor.mett.nl>. Hierbei handelt es sich um eine Applikation, bei der ein Einsatzfahrzeug liegendegebliebene Fahrzeuge oder verlorene Ladungen auf der Strecke detektiert und die Information über das zellulare Netzwerk an die Zentrale sendet. Eine Applikation in der Zentrale verteilt die Warnung an R-ITS-S im Zulauf zur Gefahrenstelle. Fahrzeuge mit geeigneter Applikation erhalten die Gefahrenwarnung über ITS-G5

Shockwave Traffic Jams A58

In diesem Projekt [36] wurden auf einem 17km langen Autobahnabschnitt kooperative IVI-Applikationen zur Stauwarnungen und Geschwindigkeitsempfehlung getestet. Die Empfehlungen wurden auf die verbindlichen Inhalte der Anzeigequerschnitte abgestimmt. Zur Erkennung der Staufrenten wurden Daten der lokalen Detektordaten und der Positionsdaten aus den Testfahrzeugen fusioniert. Durch Evaluation zweier im Projekt verwendeter Apps mit unterschiedlicher Algorithmik konnte festgestellt werden, dass die IVI-Stauwarnung Einfluss auf das Fahrverhalten hat, wobei zur Drosselung der makroskopischen Geschwindigkeit in (noch) freiem Verkehr höhere Ausstattungsraten erforderlich sind. Bild 16 zeigt die im Projekt eingesetzte Systemarchitektur.

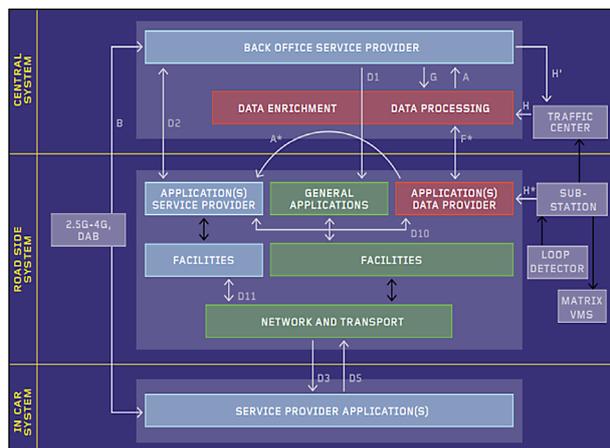


Bild 16: Systemarchitektur (aus [36])

2.3.6 SCOOP@F Frankreich

SCOOP@F ist das französische Pilotprojekt des Day 1 C-ITS Rollouts. Es umfasst fünf Testgebiete, unter anderem die Autobahnverbindung Paris-Strasbourg. Insgesamt sollen 3.000 ausgestattete Fahrzeuge 2.000 km ausgestattete Infrastruktur befahren. Die C2C/C2I-Kommunikation stützt sich auf ITS-G5. In einer zweiten Phase sollen weitere Anwendungen unter Verwendung hybrider Kommunikation (ITS-G5 und 5G zellular) entwickelt werden.

Die Systemarchitektur ist in Bild 17 dargestellt. Die SCOOP Plattform (Analogon zur C-ITS-S) ist die Schnittstelle zwischen Zentrale und R-ITS-S. Der Datenaustausch erfolgt im DATEX2-Format. Die R-ITS-S senden empfangene DENMs in unveränderter Form an die SCOOP Plattform, CAMs in aggregierter Form (vgl. PVD im C-ITS Corridor). In einer ersten Projektphase wird für den Datenaustausch R-ITS-S/V-ITS-S ITS-G5 verwendet, später soll zellulare Kommunikation hinzukommen (s. o.). Eine Besonderheit sind die sogenannten „Road operator V-ITS-S“, die im Gegensatz zu anderen V-ITS-S eine direkte Verbindung zur SCOOP Plattform aufbauen können. Sie stellen damit mobile R-ITS-S dar.

Als Nachrichtenformate werden CAM und DENM eingesetzt. Die Konvertierung zwischen DATEX2 und CAM/DENM geschieht in der R-ITS-S.

In der ersten Entwicklungsphase werden die Anwendungsfälle „Onboard signaling“ (In-vehicle sig-

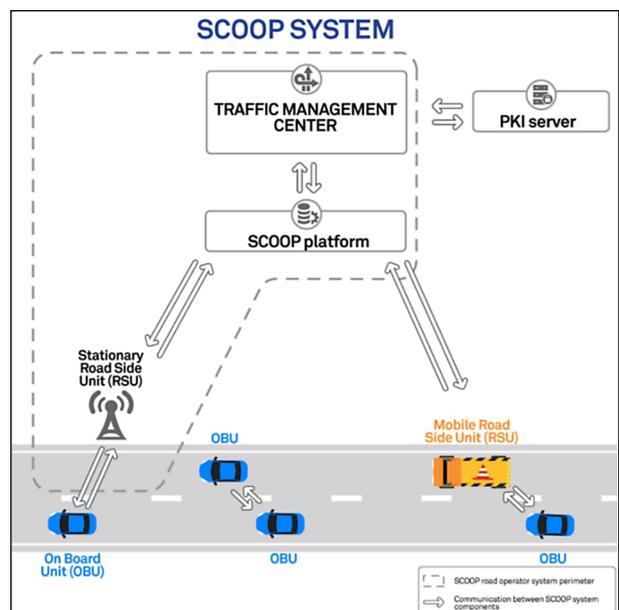


Bild 17: SCOOP@F Systemarchitektur (Quelle: www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en)

nage bezogen auf unvorhergesehene, sicherheitskritische Ereignisse), Road works warning und „Data collection“ getestet. Data collection umfasst hierbei PVD (vgl. CAM-Aggregation) und von den Fahrzeugen detektierte Ereignisse, die in DENMs übertragen werden.

Spezifikationen der Komponenten und Funktionalitäten sind auf www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en zu finden.

2.3.7 NordicWay – Norwegen

Eine etwas andere Herangehensweise wird im Projekt NordicWay verfolgt. Die Kommunikation stützt sich im Wesentlichen auf zellulare Netzwerke, wobei die Applikationsgruppe Hazardous Location Warning im Fokus steht. Lediglich die Baustellenwarnung wird ergänzend über ITS-G5 im Interface R-ITS-S/V-ITS-S implementiert. Der Systemverbund ist in Bild 18 dargestellt. Erkennbar ist das Zusammenspiel länderübergreifender OEMs, Dienstleister und Verkehrsbehörden bzw. Verkehrsmanagementzentralen. [21] weist darauf hin, dass die im Projekt NordicWay adressierten Anwendungsfälle nicht sicherheitskritisch sind im Sinne von Anforderungen an niedrige Latenzen der Datenübertragung. Es werden nur Look-ahead-Sicherheitswarnungen mit informativem Charakter implementiert. Zwar werden Fahrzeuge als Sensoren zur Situationserkennung in das System miteinbezogen, aber der Informationsfluss vom Fahrzeug zu den Dienstleistern (vgl. Bild 18) enthält proprietäre Datenformate. Der Interchange Server implementiert Funktionen zur Georeferenzierung und bietet Publish-Subscribe-Schnittstellen für die beteiligten OEMs und Zentralen, sodass Informationen geteilt werden können. Die Zentralen bauen keine direkte Verbindung über R-ITS-S zu den Verkehrsteilnehmern

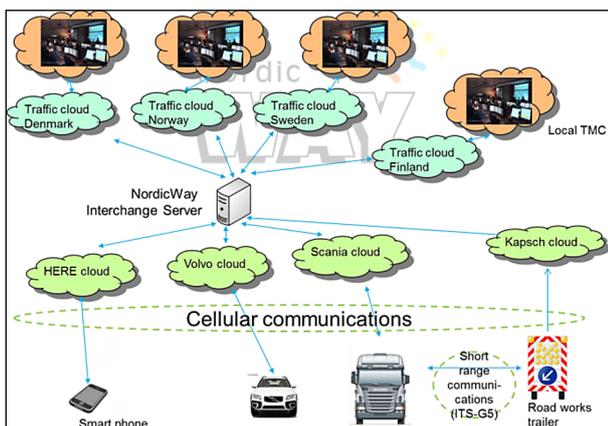


Bild 18: NordicWay Systemarchitektur (aus [21])

auf. Die Informationsverbreitung erfolgt über die OEMs, wobei von dem in [9] spezifizierten DENM-Payload Gebrauch gemacht wird. CAM, IVI, SPAT und MAP werden in NordicWay nicht verwendet.

2.3.8 Fazit

Aufgrund der finalisierten Standardisierung der grundlegenden Datencontainern CAM und DENM, sowie der zur Verfügung stehenden Kommunikationstechnologie (ITS-G5 oder zellulare Netze), ist der operative Betrieb kooperativer Systeme von technischer Seite gesehen möglich. Aus Sicht des Verkehrsmanagements bzw. der Verkehrsteuerung ergeben sich wesentliche potenziell Vorteile beim Einsatz von C-ITS, da zum einen die Situationserkennung in Form von V-ITS-S-basierten DENM nicht mehr an lokale Detektion gebunden ist, was die Erkennung örtlich präziser und schneller macht. Zum anderen ermöglicht die zellulare Kommunikation das Erreichen von Verkehrsteilnehmern in flächendeckender Weise. Bislang jedoch fehlen die hierfür erforderlichen Applikationen, die über den Stand der Technik einer VBA heute hinausgehen.

Hinsichtlich der Anwendungsfälle gibt es zwar einige erste Umsetzungen für den Einsatz auf Autobahnen (Baustellenwarnung, fahrzeugseitige Datenerfassung, Informationsübermittlung in das Fahrzeug, Reisezeitermittlung über PVD, Collision risk warning). Diese sind zwar grundsätzlich verkehrstechnisch motiviert, dennoch steht bei den Entwicklungen erster Anwendungsfälle die technische Machbarkeit und Interoperabilität im Vordergrund. Hinsichtlich des Mehrwerts, der durch C2X im Bereich der Verkehrsbeeinflussung erzielt werden könnte, ist in erster Linie die Entwicklung von Applikationen erforderlich.

2.4 Gesamtfazit

Man kann den Prozess der Verkehrsbeeinflussung als Regelkreis betrachten, bei dem die Messung des aktuellen Systemzustands, die Regelungslogik und die Verständigung mit dem Verkehrsteilnehmer kritische Momente darstellen. Zur Gewährleistung eines sicheren und stabilen Flusses auf der Strecke und einer optimalen Verteilung der Nachfrage im Netz sollten Eingriffe bzw. Steuerungsmaßnahmen in proaktiver Weise und nicht kurzfristig reaktiv wirken. Zu diesem Zweck wird versucht, durch Kurzfristprognosen der lokalen Messwerte und teilweise auch durch Zuhilfenahme von Verkehrsflussmodel-

len Störungen und deren räumliche Ausbreitung schnell und zuverlässig zu erkennen und geeignete Maßnahmen zu treffen.

Es ist festzustellen, dass in den aktuell flächendeckend angewendeten Methoden hauptsächlich lokale Detektion Verwendung findet. Da sich das reale Verkehrsgeschehen nicht nur zeitlich, sondern auch räumlich entwickelt, wäre zur optimalen Zustandserkennung ein „Blick von oben“ notwendig, der mit den derzeit eingesetzten Technologien nicht möglich ist. Darüber hinaus verursacht die Installation und der Betrieb von Anzeigequerschnitten erhebliche Kosten, die mit dem Nutzen eines verbesserten Verkehrsflusses in positivem Verhältnis stehen müssen. Bild 6 gibt Aufschluss darüber, dass längst nicht alle Teile des Autobahnnetzes mit VBA unterstützt werden. Besondere Bedeutung im Hinblick auf die heutigen Detektionstechnologien kommt der Erkennung von lokalen Gefahrenstellen zu. Der zeitliche Verzug – von der örtlich und situativ möglicherweise ungenauen Erkennung bis zur Verarbeitung und gezielten Informationsweitergabe an den nachfolgenden Verkehr – wird den heutigen Sicherheitserwartungen nicht gerecht.

C2X stellt hierbei in vielerlei Hinsicht eine gewinnbringende Bereicherung für die Interaktion steuernder Institutionen mit dem System Verkehr in Aussicht. Zu nennen wären in erster Linie eine erheblich schnellere und örtlich wesentlich präzisere Situationserkennung in Gefahrenstellen (punktuell und streckenbezogen). Zudem werden auch Teile des Straßennetzes für Steuerungszwecke einsehbar und handhabbar, in denen überhaupt keine herkömmliche Detektions- und VBA-Technologie existiert. Durch die V-ITS-S als sich bewegende Sonde wird es möglich, die Schwierigkeit des räumlichen Lückenschlusses der derzeitigen Situationserkennung zu überwinden. Studien haben ergeben, dass eine Durchdringungsrate von unter fünf Prozent an V-ITS-S ausreichend ist, um den charakteristischen Verlauf von sich stromaufwärts bewegenden oder örtlich fixierten Störungsmustern sehr gut rekonstruieren zu können ([29], [30]). Auf Seiten der Beeinflussung von Verkehrsteilnehmern zählen Gefahrenwarnungen sicherlich zu den vielversprechendsten Vorteilen durch I2C, da selbst bei niedrigen Ausstattungsgraden eine Wirkung auf den Gesamtverkehrsfluss durch Mitzieheffekte wahrscheinlich ist.

Herausforderungen bestehen aus Sicht des Verkehrsmanagements noch in der Ankopplung einer kooperativen Zentrale an die Bestandssys-

teme der VRZ und der Entwicklung geeigneter Applikationen, die über den Stand der Technik einer VBA-Steuerung hinausgehen. In Forschungsprojekten hat sich jedoch bereits die technische Machbarkeit der Anbindung des C2X-Datenpools an die bestehenden technischen und funktionalen Abläufe erwiesen. Von rechtlicher Seite wird es keine Einschränkungen für I2C-Anwendungen geben, sofern die übermittelte Information nicht rechtlich bindend für das gesamte Fahrzeugkollektiv ist. Dies kann erst bei zukünftiger Vollausrüstung geschehen. Nützliche Zusatzinformationen für ausgestattete Verkehrsteilnehmer können jedoch schon jetzt verbreitet werden. Des Weiteren soll darauf hingewiesen werden, dass die Wiener Konvention bereits im Hinblick auf automatisierte Fahrzeugführung angepasst wurde. Auch in Deutschland wurde im Mai 2017 eine entsprechende Gesetzesgrundlage geschaffen (Zustimmung des Bundesrats zur Änderung des Straßenverkehrsgesetzes am 12.05.2017). Direkt ins Fahrzeug übertragene und dort angezeigte VBA-Anweisungen und -informationen sind – analog zu Navigationssysteme – der StVO und den Anzeigequerschnitten untergeordnet, was laut Amsterdam Group vom Fahrzeugbediener zu quittieren ist.

3 Potenziale

3.1 Einführung

Zur Ermittlung der Potenziale in einer Verkehrszentrale werden die Nutzungsmöglichkeiten aller C2I-Daten von Fahrzeugen auf den Autobahnen untersucht und analysiert. Dabei werden zunächst bewusst idealtypische Rahmenbedingungen angenommen, wie sie zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht umgesetzt sind bzw. zur Verfügung stehen, um möglichst viele Potenziale zu erfassen und einer Analyse unterziehen zu können. Es wird im Rahmen der Potenzialanalyse von den folgenden Annahmen ausgegangen:

- Die Vollausrüstung von Fahrzeugen mit C2I-Technologie steht zur Verfügung.
- Es gibt keine technischen Einschränkungen für den Einsatz, den Austausch und die Verarbeitung von C2I-Daten.
- Fahrzeugseitig wie auch infrastrukturseitig stehen alle technischen Systeme, wie z. B. Sensoren, Aktoren, Verarbeitungsrechner, und Kommunikationseinrichtungen zur Verfügung.

- Der rechtliche Rahmen erlaubt die notwendige Bereitstellung, Speicherung und Verarbeitung von C2I-Daten.
- Es stehen geeignete organisatorische und vertragliche Rahmenbedingungen für den Austausch und die Nutzung von C2I-Daten zwischen allen Marktteilnehmern zur Verfügung bzw. werden entsprechende Vereinbarungen als etabliert angenommen.

Die tatsächlichen Rahmenbedingungen erfüllen diese Annahmen zwar nicht, aber dennoch soll dieser Ansatz dazu dienen, Potenziale möglichst umfassend zu erkennen und ggf. vorhandenen Hemmnissen den potenziellen Nutzen gegenüberzustellen.

Im Folgenden werden dazu alle bereits definierten und standardisierten, wie auch evtl. erst zukünftig verfügbare, verkehrlich relevante Daten betrachtet, die Fahrzeuge während der Fahrt erheben. Die Daten und Informationen werden anschließend möglichen Potenzialen zugeordnet und dokumentiert.

Die Beschreibungen der einzelnen Potenziale werden anschließend strukturiert in Steckbriefen zusammengestellt und enthalten die folgenden Informationen zu den Potenzialen (siehe Kapitel 3.2):

- Verbale Potenzialbeschreibung
- Nutzen der jeweiligen Potenziale (kategorisiert)

Die vom Forschungsnehmer erarbeiteten Potenziale wurden gemeinsam mit den Betreibern (Baden-Württemberg und Straßen.NRW) in Workshops entwickelt, präzisiert und abgestimmt. Die Ergebnisse der Workshops führten zu der im Folgenden dargestellten Struktur.

Die größten Potenziale werden nach Einschätzung der Betreiber in der flächendeckenden fahrzeugseitigen Informationsbereitstellung und der flächendeckenden fahrzeugseitigen Datenerfassung gesehen.

Eine flächendeckende Ausstattung mit C2I-Technologie und die damit verbundene Informationsverfügbarkeit zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass Fahrzeuge zukünftig die betreiberseitige telematische Infrastruktur ergänzen und evtl. teilweise ersetzen können. Fahrzeuge dienen in diesem Zusammenhang als Detektoren (Sensorikplattform) für verkehrliche Informationen, welche bisher nur in entsprechend ausgestatteten Infrastrukturberei-

chen (z. B. BAB-Abschnitten und -Knoten mit VBA) durch installierte Infrastruktursysteme erfasst werden können.

Darüber hinaus ist anzunehmen, dass die zusätzlich verfügbaren Daten und Informationen die Datengrundlage im Verkehrsmanagement verbessern und zur Optimierung von Steuerungsalgorithmen herangezogen werden können. Beispielsweise bieten Informationen über individuelle Reiseziele bzw. Routen das Potenzial die Befolgungsrate von kollektiven oder individuellen Routenempfehlungen zu messen und zu prüfen.

Zusätzlich steht mit dem fahrzeugseitigen HMI (Human Machine Interface / Benutzerschnittstelle) eine fahrzeugseitige Aktorik bereit, die verkehrlich relevante Informationen flächendeckend an den Verkehrsteilnehmer weitergeben kann. Das gilt auch in den Bereichen, in denen keine herkömmliche telematische Infrastruktur existiert, weil dort beispielsweise keine VBA zur Verfügung stehen.

Auch wenn das Fahrzeugkollektiv noch nicht vollständig aus mit C2I-Technologie ausgestatteten Fahrzeugen besteht, kann davon ausgegangen werden, dass die C2I-Informationen, ab einer bestimmten Ausstattungsrate, einen starken Einfluss auf das Fahrzeugkollektiv haben werden. Der Nutzen der C2I-Technologie wird sich damit frühzeitig erschließen lassen.

Wie bereits ausgeführt, sind viele Potenziale derzeit angesichts des frühen (Produkt-)Status der C2I-Technologie noch nicht einfach nutzbar bzw. verfügbar. Es fehlen neben der notwendigen Ausstattung der Fahrzeuge beispielsweise noch verbindliche (rechtliche) Regelungen, Standards und die marktgerechte Organisation. Kapitel 3.3 erläutert in diesem Zusammenhang grob etwaig zu erwartende Hemmnisse, die es noch zu überwinden gilt.

3.2 Übersicht der Potenziale

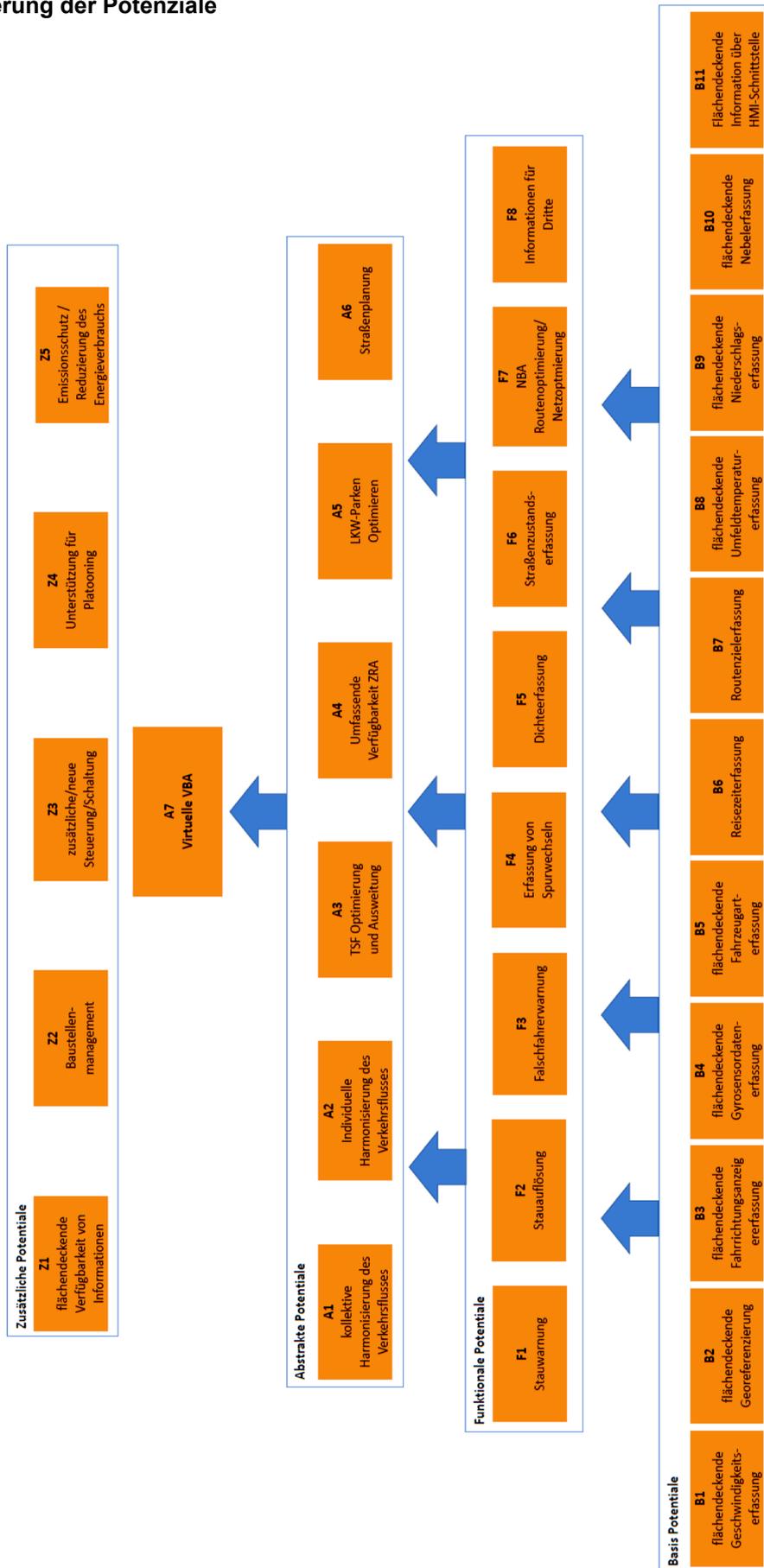
Im folgenden Kapitel werden die Potenziale gegliedert und aufeinander abgestimmt, um eine übersichtliche Gliederung zu gewährleisten und Wiederholungen zu vermeiden. Bottom-Up lassen sich die Potenziale in den folgenden Kategorien unterscheiden zusammenfassen:

- Basispotenziale beschreiben Potenziale der C2I-Technologie, welche in der Regel auf einfa-

chen Datenarten basieren und für sich allein genommen noch keine oder nur beschränkte Potenziale zur Verkehrsbeeinflussung bieten. Sie beschreiben insbesondere die Potenziale zur Datenerfassung aus dem Fahrzeug und Informationsübermittlung in das Fahrzeug. Neben den offensichtlichen Daten, wie beispielsweise der Geschwindigkeit, Position und Fahrzeugtyp, können auch andere Daten wie beispielsweise Gyrosensordaten, der Status des Fahrtrichtungsanzeigers, Scheibenwischer und die Temperatur direkt von den Fahrzeugen erfasst werden. Ein weiteres Beispiel für ein Basispotenzial ist die Reiseziel- bzw. Routenerfassung, der häufig in den Fahrzeugen verfügbaren Navigationssysteme.

- Funktionale Potenziale kombinieren die Basispotenziale, um erste weniger komplexe Potenziale zu realisieren. Beispielhaft hierfür ist die Stauwarnung zu nennen. Durch die Fahrzeugposition kombiniert mit der georeferenzierten Fahrzeuggeschwindigkeit können Staus inkl. zeitlicher und räumlicher Ausdehnung und potenziell exaktem Stauende detektiert werden. Nachfolgende Fahrzeuge können so punktgenau vor dem Stauende gewarnt werden. Auf Basis der C2I-Daten ist potenziell aber auch die zeitlich räumliche Aufhebung besser organisierbar - z. B. durch Weitergabe der aktuell gültigen Geschwindigkeit an das HMI im Fahrzeug. Aber auch die Erfassung der klassischen Kenngröße Verkehrsdichte ist zu nennen. Bisher über infrastrukturseitige Messquerschnitte gemessen, könnte diese zukünftig bei vollständiger Ausstattungsrate anhand der Dichte der Positionsdaten der Fahrzeuge für jeden Streckenabschnitt ermittelt werden. Auf Grundlage der Basispotenziale Reiseziel und Route in Kombination mit Position und Geschwindigkeit können potenziell zuverlässigere Aussagen darüber getroffen werden, wann wie viele Fahrzeuge wo sein werden. Diese Informationen bieten beispielsweise erhebliche Optimierungsmöglichkeiten für die Netzbeeinflussung. Die Realisierung von funktionalen Potenzialen setzt die Entwicklung der entsprechenden Applikationen in der Verkehrszentrale voraus.
- Abstrakte aufgabenbezogene Potenziale bestehen aus der Kombination von Basis- und funktionalen Potenzialen und beschreiben eher komplexe Potenziale, wie z. B. dem Potenzial der virtuellen VBA. Zunächst ist hier beispielsweise das Potenzial der Harmonisierung im Rahmen der Streckenbeeinflussung (SBA) zu nennen. Diese kann anhand der erfassten Daten wie bisher über die infrastrukturseitigen Anzeigequerschnitte erfolgen. Weitergehend wäre es jedoch auch denkbar, die Harmonisierung durch die direkte Beeinflussung einzelner Fahrzeuge zu realisieren. Dem Fahrer würde dabei direkt ins Display eingeblendet, welche Geschwindigkeit zu einem optimalen Verkehrsfluss führt. Auch die Optimierung und räumliche Erweiterung der temporären Seitenstreifenfreigabe (TSF), der Netzbeeinflussung (NBA), der Zuflussregelung (ZRA) etc. erscheinen möglich. Für einzelne Maßnahmen könnte auch eine Befolgungsrate ermittelt werden. Die Realisierung von abstrakten aufgabenbezogenen Potenzialen setzt die Entwicklung der entsprechenden Applikationen in der Verkehrszentrale und im Fahrzeug voraus.
- Abschließend ergeben sich weitere zusätzliche Potenziale, welche nicht direkt in den Kontext der (virtuellen) VBA eingebettet werden können oder müssen. Beispielsweise können neue Funktionen, wie z. B. das Platooning unterstützt werden. Beim Platooning (auch: elektronische Deichsel) können mehrere Fahrzeuge mit demselben Ziel mittels eines technischen Steuerungssystems in sehr geringem Abstand hintereinander fahren, ohne dass die Verkehrssicherheit beeinträchtigt wird. Das kollektive Verkehrsmanagement könnte ggf. das Management der Fahrzeuggruppen optimieren. Die Realisierung von zusätzlichen Potenzialen setzt die Entwicklung und Abstimmung der entsprechenden Applikationen in der Verkehrszentrale und im Fahrzeug voraus.

3.2.1 Strukturierung der Potenziale



3.2.2 Liste der Basispotenziale

Die Potenziale (B1 – B11) beschreiben die Basispotenziale der C2I-Technologie.

Potenzialnummer B1	Potenzialname flächendeckende Geschwindigkeitserfassung durch Fahrzeuge		
Potenzialbeschreibung	Flächendeckende Erfassung der Geschwindigkeiten der Fahrzeuge. Gefahrene Geschwindigkeitsdaten können so auch in Netzbereichen ermittelt werden, in denen keine infrastrukturseitige Sensorik verfügbar ist.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B2	Potenzialname Flächendeckende Georeferenzierung der fahrzeugseitig erfassten C2I-Daten		
Potenzialbeschreibung	Alle erfassten C2I-Daten der Fahrzeuge können flächendeckend georeferenziert, verortet werden.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B3	Potenzialname Flächendeckende Erfassung der Fahrtrichtungsanzeiger		
Potenzialbeschreibung	Es wird flächendeckend erfasst, wenn ein Fahrzeug links/rechts blinkt.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B4	Potenzialname Flächendeckende Erfassung von Gyrosensordaten		
Potenzialbeschreibung	Die Daten des Gyrosensors, beispielsweise starke Stöße, abruptes Abbremsen, hohe Fliehkräfte etc., können erfasst werden.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B5	Potenzialname Flächendeckende Erfassung der Fahrzeugart		
Potenzialbeschreibung	Es kann flächendeckend erfasst werden, von welcher Fahrzeugart die Daten gesendet werden (z. B. PKW, Lkw etc.).		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B6	Potenzialname Reisezeiterfassung		
Potenzialbeschreibung	Erfassung der Reisezeiten der Fahrzeuge auf nahezu beliebigen Strecken(-abschnitten).		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B7	Potenzialname Flächendeckende Erfassung von Reisezielen und Routen		
Potenzialbeschreibung	Erfassung der Reiseziele von Fahrzeugen inkl. der genauen Route aus den Navigationssystemen der Fahrzeuge.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B8	Potenzialname Flächendeckende Erfassung der Umfeldtemperatur durch Fahrzeuge		
Potenzialbeschreibung	Die Umfeldtemperatursensoren der Fahrzeuge erfassen fortlaufend die aktuelle Umfeldtemperatur. So kann flächendeckend die aktuelle Temperatur im Umfeld der Straße bestimmt werden.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B9	Potenzialname Flächendeckende Erfassung von Niederschlag durch Fahrzeuge		
Potenzialbeschreibung	Die Fahrzeuge können erfassen, ob die Scheibenwischer aktiv sind.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B10	Potenzialname Flächendeckende Erfassung von Nebel bzw. reduzierter Sichtweite durch Fahrzeuge		
Potenzialbeschreibung	Die Erfassung von eingeschalteten Nebelscheinwerfern oder -schlussleuchten bei Fahrzeugen kann Aufschlüsse/Hinweise über Nebel oder verminderte Sichtweiten verortet auf die Position der Fahrzeuge ergeben.		
Nutzen	Verbesserung Verkehrsqualität		Schonung von Ressourcen
	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer B11	Potenzialname Flächendeckende Informationsbereitstellung über die HMI-Schnittstelle		
Potenzialbeschreibung	Die Verfügbarkeit des HMI bzw. einer Benutzerschnittstelle in den Fahrzeugen ermöglicht die direkte Übertragung von verkehrsrelevanten Informationen aus dem Verkehrsmanagement in die Fahrzeuge und die direkte Informationsweitergabe an den Fahrer.		
Nutzen		Verbesserung Verkehrsqualität	Schonung von Ressourcen
		Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

3.2.3 Liste der Funktionspotenziale

Die Potenziale (F1 – F8) beschreiben die Funktionspotenziale der C2I-Technologie.

Potenzialnummer F1 Basiert auf: B1, B2, B11	Potenzialname Stau(-ende-)warnung		
Potenzialbeschreibung	Über die Geschwindigkeit der Fahrzeuge in Kombination mit der Position ist es möglich, den aktuellen Ort eines Stau(-endes) präzise zu bestimmen und an den nachfolgenden Verkehr zu übermitteln. Es erfolgt die Anzeige über einen infrastrukturseitigen Anzeigequerschnitt (AQ) zur Warnung vor einem Stauende. Ggf. ist darüber hinaus eine asymmetrische Stauwarnung (das Stauende befindet sich auf verschiedenen Spuren an verschiedenen Stellen) möglich. Durch die direkte und präzise Information des Fahrers wird die Unfallgefahr reduziert und die Sicherheit für den Fahrer und alle anderen Verkehrsteilnehmer erhöht. Vorausschauend ist eine Routenoptimierung durch den Fahrer oder das Navigationssystem möglich.		
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer F2 Basiert auf: B1, B2, B11	Potenzialname Stauauflösung bzw. Beschleunigung bei der Auflösung von Geschwindigkeitsbeschränkungen		
Potenzialbeschreibung	Über die Geschwindigkeit der Fahrzeuge in Kombination mit der Position ist es möglich, den aktuellen Ort einer Stauauflösung präzise zu bestimmen und an den nachfolgenden Verkehr zu übermitteln. Zusätzlich zur Anzeige über einen infrastrukturseitigen Anzeigequerschnitt (AQ) bekommt der Fahrzeugführer im HMI des Fahrzeugs die Information über problemlos fahrbare bzw. für die rasche Stauauflösung sinnvolle Geschwindigkeiten. Darüber hinaus können Fahrer z. B. bereits im Vorfeld über die bevorstehende Aufhebung von Geschwindigkeitsbeschränkungen (z. B. am nächsten AQ) informiert werden.		
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer F3 Basiert auf: B2, B11	Potenzialname Falschfahrerwarnung		
Potenzialbeschreibung	Durch die laufende Positionsbestimmung / Georeferenzierung der Fahrzeuge kann festgestellt werden, wenn sich ein Fahrzeug entgegen der Fahrtrichtung auf einer Fahrspur befindet. Falschfahrer können so präzise erkannt, ver- und geortet werden. Korrekt in Fahrtrichtung fahrende Fahrzeugführer bekommen über das HMI des Fahrzeuges die Warnung über einen auf sie zukommenden Falschfahrer. Durch die direkte Information der betroffene Fahrer wird die Unfallgefahr reduziert und die Sicherheit für die Verkehrsteilnehmer erhöht. Gleichzeitig können potenzielle Ursachen für Verkehrsstörungen auf wirklich betroffene Strecken und Fahrer reduziert werden. Bisherige Detektions- und Informationsverfahren sind hier vergleichsweise unpräzise.		
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer F4 Basiert auf: B2, B3	Potenzialname Erfassung von Spurwechseln		
Potenzialbeschreibung	Die Kenntnis über einen eingeschalteten Fahrtrichtungsanzeiger (links/rechts) in Kombination mit der Positionierung ermöglicht die Erfassung von Spurwechseln sowie das Auf-/Abfahren der Fahrzeuge.		
Nutzen		Verbesserung Verkehrsqualität	Schonung von Ressourcen
		Verbesserung Verkehrssicherheit	X Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer F5 Basiert auf: B2	Potenzialname Erfassung der Verkehrsdichte		
Potenzialbeschreibung	Über die Erfassung der Position aller Fahrzeuge lässt sich anhand der Anzahl Fahrzeugen je Abschnitt die Verkehrsdichte messen.		
Nutzen		Verbesserung Verkehrsqualität	Schonung von Ressourcen
		Verbesserung Verkehrssicherheit	X Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer F6 Basiert auf: B4, B5	Potenzialname Straßenzustandserfassung		
Potenzialbeschreibung	Über die Daten des Gyrosensors (Beschleunigungsmessung in allen Richtungen) können Aussagen über den Zustand der Fahrbahn getroffen werden. Beispielsweise können Schlaglöcher georeferenziert oder Spurrillen erkannt und die zusätzliche Gefahr bei Starkregen in der anzuordnenden Höchstgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Zusätzlich kann die rechtzeitige Ertüchtigung in die Wege geleitet werden.		
Nutzen		Verbesserung Verkehrsqualität	X Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	X Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	X	Verbesserung betrieblicher Abläufe	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer F7 Basiert auf: B1, B2, B6, B7, B11	Potenzialname Routenoptimierung (NBA)			
Potenzialbeschreibung	Auf Basis der Daten und Informationen für Reiseziel, Geschwindigkeit, Standort und Reisezeit können detaillierte Analysen vorgenommen sowie in der Folge Steuerungs- und Prognosevorgaben ermittelt werden. Über die genaue Zielerfassung lässt sich potenziell vorhersagen, wann die Fahrzeuge voraussichtlich wo sein werden. Auf dieser Basis kann potenziell vorhergesagt werden, wann es voraussichtlich an welchem Ort zu einer Überlastung kommen wird. Als Ergebnis lässt sich die bisherige NBA-Funktion deutlich optimieren und ausweiten. Über das HMI wird dem Fahrer neben Informationen über seine aktuelle Route auch mitgeteilt, zu welcher Zeit und an welchem Ort er bei seinem aktuellen Ziel auf-/abfahren soll bzw. welcher Umleitung er folgen soll. Dies führt ebenfalls zu einer (kollektiven) Reisezeitoptimierung.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe		Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer F8 Basiert auf: B8, B9, B10, F6	Potenzialname Informationen für Dritte			
Potenzialbeschreibung	Die erfassten Informationen können auch von „Dritten“, unabhängig von verkehrlichen Maßnahmen, genutzt werden. Hierunter fallen z. B. Wetterinformationen. Darüber hinaus können Informationen über das aktuelle Wetter für den Winterdienst genutzt werden. Ebenso sind etwaige Informationen über Straßenschäden für die Straßenbauplanung nutzbar.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit		Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	X	Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

3.2.4 Liste der abstrakten Aufgabenpotenziale

Die Potenziale (A1 – A7) beschreiben die abstrakten Potenziale der C2I-Technologie.

Potenzialnummer A1 Basiert auf: B1, B2, B11	Potenzialname Kollektive Harmonisierung des Verkehrsflusses			
Potenzialbeschreibung	Die bestehende kollektive Harmonisierung des Verkehrs über die Mess- und Anzeigequerschnitte kann durch die Daten aus den Fahrzeugen ergänzt und verbessert werden, da mehr Daten von nahezu beliebigen Positionen verfügbar werden. Darüber hinaus können zusätzliche Indizien, wie z. B. häufige Spurwechsel, gesammelt und für die Optimierung genutzt werden. Die Harmonisierung des Verkehrs lässt sich damit auch auf Straßen bzw. Streckenabschnitte erweitern, in denen keine SBA installiert ist.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit		Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer A2 Basiert auf: B1, B2, B11	Potenzialname Individuelle Harmonisierung des Verkehrsflusses			
Potenzialbeschreibung	Die Beeinflussung der Geschwindigkeit der Fahrzeuge erfolgt zusätzlich zur SBA auch über das HMI direkt im Fahrzeug. Der Fahrer bekommt die für ihn optimale Geschwindigkeit direkt in seinem Fahrzeug angezeigt, um seinen Beitrag zur Harmonisierung des Verkehrs zu leisten. Darüber hinaus kann schneller und räumlich wie auch zeitlich genauer auf aktuelle Gefahren reagiert werden. Die Problematik der oft weiten Abstände zwischen einzelnen Anzeigequerschnitten einer SBA kann somit optimiert werden. Ergänzend ist eine höhere Befolgungsrate zu erwarten, wenn der Fahrer im Fahrzeug auch über den aktuellen Grund der vorgegebenen Höchstgeschwindigkeit informiert wird. Die Befolgungsrate ist potenziell messbar.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit		Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer A3 Basiert auf: B1, B2, B5, B11	Potenzialname TSF Optimierung und Ausweitung			
Potenzialbeschreibung	Die Überwachung der temporären Seitenstreifenfreigabe wird optimiert. Eine Überwachung ist nicht mehr nur per Videokamera möglich und/oder notwendig, sondern das Fahrzeug meldet sich selbstständig, wenn es auf einem temporär freigegebenen Seitenstreifen halten muss. Somit wird die bestehende Videoüberwachung ergänzt und eine schnellere Reaktionszeit bei Gefahren bzw. vor der Freigabe ermöglicht. Zusätzlich können temporäre Seitenstreifenfreigaben zukünftig bei vorhandenen baulichen Voraussetzungen einfacher umgesetzt werden.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit		Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	X	Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer A4 Basiert auf: B1, B2, B5, B11	Potenzialname Umfassende Verfügbarkeit von Zuflussregelungsanlagen			
Potenzialbeschreibung	Durch die flächendeckende Positionserfassung, Georeferenzierung, Geschwindigkeitserfassung aller Fahrzeuge und die damit potenziell mögliche Erfassung von Zeit und Weglücken können Zuflussregelungsanlagen (ZRA) optimiert und flächendeckend an allen Auffahrten realisiert werden. Der Zufluss erfolgt dann nicht mehr per Lichtsignalanlage, sondern die Fahrzeuge bekommen im Display genaue Vorgaben, wann und mit welcher Geschwindigkeit sie auffahren und in welche Lücke sie sich einfädeln sollen.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit		Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer A5 Basiert auf: B1, B2, B6, B7, B11, F6	Potenzialname Optimierung Lkw-Parken			
Potenzialbeschreibung	Das Lkw-Parken kann optimiert werden, da absehbar ist, wann und wo Lkw unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen (z. B. Ziel, Fahrt- und Ruhezeiten) zur nächsten Pausenzeit anzuhalten haben. Es kann ein entsprechender Parkplatz lange im Voraus vorgeschlagen, zugewiesen und reserviert werden. Lkw-Fahrern kann ferner mitgeteilt werden, wann sie aufgrund von Parkplatzmangel ausweichen müssen. Ggf. kann eine bessere Parkplatzauslastung realisiert werden.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit		Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer A6 Basiert auf: B4, B5, F4, F5, F6	Potenzialname Planung der Straßenerhaltung			
Potenzialbeschreibung	Die erfassbaren Gyrosensordaten können genutzt werden, um die Straßenerhaltung zu verbessern. Kenntnisse über Straßenschäden, hohes Verkehrsaufkommen an bestimmten Stellen oder eine überdurchschnittlich hohe Lkw-Belastung können genutzt werden, um notwendige Instandhaltungsarbeiten vorausschauend und nachhaltig zu planen. So kann die Leistungsfähigkeit des Autobahnnetzes verbessert werden. Stau- und Unfallgefahren werden minimiert.			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit		Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	X	Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer A7 Basiert auf: B11, F1, F2, F6, F7, X2, X3, Z1, Z2, Z3	Potenzialname Virtuelle VBA			
Potenzialbeschreibung	Über die HMI-Schnittstelle wird eine „virtuelle VBA“ im Fahrzeug realisiert. Diese ergänzt oder ersetzt die infrastrukturseitige VBA an der Strecke. Über die virtuelle VBA erfolgen neben bereits bekannten und verfügbaren Anzeigen und Steuerungen: <ul style="list-style-type: none"> • Individuelle und direkte Warnung vor Gefahren. • Individuelle und/oder zeitlich und räumlich optimierte Geschwindigkeitsvorgaben, • Individuelle Routeninformationen und -optimierungen, • Fahrstreifenwechsel- oder -haltevorgaben, • Vorgabe der optimalen Geschwindigkeit sowie des optimalen Zeitpunkts und Orts zum Auffahren, • Beeinflussung des vor- und nachgeordneten Straßennetzes 			
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	X	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	X	Verbesserung betrieblicher Abläufe	X	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

3.2.5 Liste der Zusatzpotenziale

Die Potenziale (Z1 – Z5) beschreiben die zusätzlichen Potenziale der C2I-Technologie.

Potenzialnummer Z1	Potenzialname Flächendeckende Verfügbarkeit von Informationen		
Potenzialbeschreibung	Informationen, die über Gebote, Verbote und Warnungen hinausgehen, werden von der VRZ direkt in die Fahrzeuge geschickt und dort angezeigt. Dadurch wird eine zeitliche und räumliche Ergänzung der Informationen / Vorgaben für den Fahrer erreicht (z. B. Grund von Geschwindigkeitsbeschränkungen). Die Servicequalität für die Anwender/ Fahrer steigt. Es ist zu erwarten, dass so eine höhere Befolgungsrate bewirkt sowie mehr Sicherheit und ein besserer Verkehrsfluss ermöglicht werden.		
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer Z2	Potenzialname Baustellenmanagement		
Potenzialbeschreibung	Die erfassten Daten können genutzt werden, um das Baustellenmanagement zu optimieren. So kann flächendeckend und frühzeitig auf Baustellen hingewiesen werden. Innerhalb der Baustellen können Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie Fahrspurverengungen/-verschwenkungen baustellenpezifisch angezeigt werden.		
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	X	Verbesserung betrieblicher Abläufe	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer Z3	Potenzialname Zusätzliche/neue Steuerungen/Schaltungen		
Potenzialbeschreibung	Die virtuelle VBA kann um zusätzliche Steuerungen/Schaltungen ergänzt werden, welche über die bisherigen Möglichkeiten klassischer Anzeigequerschnitte hinausgehen. Im Folgenden sind einige Beispiele aufgeführt: <ul style="list-style-type: none"> • Individuelle und direkte Warnung vor Gefahren, • Fahrstreifenwechsel-/haltevorgabe, • Vorgabe von Zeit- und Weglücken, • Vorgabe des optimalen Zeitpunkts / Orts zum Auffahren, • Beeinflussung des vor- und nachgeordneten Netzes, • Anzeige von Baustellen kürzerer Dauer. 		
Nutzen	X	Verbesserung Verkehrsqualität	X Schonung von Ressourcen
	X	Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
	X	Verbesserung betrieblicher Abläufe	X Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer	Potenzialname		
Z4	Unterstützung für Platooning		
Basiert auf:			
B1, B2, B5, B6, B7, B11, F6			
Potenzialbeschreibung	Platooning (auch: Elektronische Deichsel) ist ein System, bei dem mehrere Fahrzeuge mit demselben (Teil-)Ziel mittels eines technischen Steuerungssystems in sehr geringem Abstand hintereinanderfahren können. Beispielsweise kann die Organisation von Platoons unterstützt und nicht beteiligte Fahrzeuge (im Umfeld von Zu- und Abfahrten) sicher um Platoons herum geleitet werden. Forschungsprojekte zur Ermittlung der Potenziale hinsichtlich Verkehrssicherheit, Leistungsfähigkeit und Verringerung des Kraftstoffverbrauchs sind noch nicht abgeschlossen.		
Nutzen	(X)	Verbesserung Verkehrsqualität	(X) Schonung von Ressourcen
	(X)	Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	X Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

Potenzialnummer	Potenzialname		
Z5	Emissionsschutz / Reduzierung des Energieverbrauchs		
Potenzialbeschreibung	Die Ausnutzung einzelner bzw. Kombination der Potenziale wird vermutlich zu Emissionsschutz führen und ermöglicht eine Optimierung des Energieverbrauchs. Realisiert wird dies insbesondere durch: Gezielte Geschwindigkeitsreduzierung, <ul style="list-style-type: none"> • Harmonisiertes Fahren, • Bremsmanöverreduzierung, • Routenoptimierung, • Staureduzierung, • Platooning. 		
Nutzen		Verbesserung Verkehrsqualität	X Schonung von Ressourcen
		Verbesserung Verkehrssicherheit	Verbesserung der Informationsdichte (Detektion)
		Verbesserung betrieblicher Abläufe	Verbesserung der Informationsverbreitung (Aktorik)

3.3 Übersicht der Hemmnisse

Parallel zur Ermittlung und Strukturierung der Potenziale wurden die offensichtlichen Hemmnisse zu den jeweiligen Potenzialen dokumentiert. Diese werden im Folgenden grob für die weiteren Arbeiten des Forschungsvorhabens skizziert. Die detaillierte Analyse und Ableitung von notwendigen Maßnahmen erfolgt in den Kapiteln 5 und 7.

Die wesentlichen Hemmnisse, die einer einfachen oder flexiblen Nutzung der zuvor skizzierten Potenziale im Wege stehen, liegen in dem Bedarf flächendeckender Datenerfassung und Informationsbereitstellung. Sie sind auf die folgenden Ursachen zurückzuführen:

- Fehlende Infrastruktur bzw. nur eingeschränkt zur Verfügung stehende Kommunikationssysteme.

- Noch nicht vorhandene Ausstattungsrate bei Fahrzeugen und in der Infrastruktur.
- Fehlende oder nicht ausreichende Standardisierung.
- Fehlende rechtliche Rahmenbedingungen für den Straßenverkehr, die Informationssicherheit und den Datenschutz. Insb. ist diesbzgl. darauf hinzuweisen, dass die erfassten Daten nicht nur über primäre Identifikationsmerkmale verfügen, sondern die Identifikation von Fahrern/Personen auch über die Inhalte der Daten vorgenommen werden kann (Fingerprint).

Da die Potenziale auf den Ebenen der funktionalen und abstrakten Potenziale aus den Basispotenzialen kombiniert werden, summieren sich auch die Hemmnisse auf diesen Ebenen.

Hemmnis	Beschreibung	Ursachen / Mögliche Beseitigung
Flächendeckende Verfügbarkeit von Fahrzeugdaten	Eine flächendeckende Verfügbarkeit von Fahrzeugdaten ist nicht oder nur eingeschränkt gegeben. CAMs werden derzeit nur über ETSI G5 an/von ITS Roadside Stations (IRS) übermittelt. Sie sind daher nur im Umfeld der IRS und nicht flächendeckend verfü- und auswertbar. Ergänzende Nachrichtentypen zur Abdeckung der Fläche, wie z. B. PVD/xFCD, die auch über Mobilfunk übertragen werden können, sind bisher nicht standardisiert.	Ausbau der IRS-Infrastruktur. Ausbau der Standards.
Fehlende Standards	Die im C2X-Umfeld verwendeten Standards sind teilweise unvollständig definiert (z. B. fehlende PVD/xFCD).	Überarbeitung und Vervollständigung der Standards.
Nicht ausreichend definierte Standards	Benötigte Daten sind in Standards teilweise als „Optional“ definiert. In diesem Fall lässt sich keine Vorhersage über die Verfügbarkeit und Qualität der Daten treffen.	Festlegung von verbindlichen Kommunikationsprofilen gemeinsam mit den Fahrzeugherstellern.
Fehlende Vereinbarung mit den Service Providern	Es gibt bereits einige Service Provider, die verkehrliche relevante Daten erheben. Dies sind u. a.: <ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeughersteller (Audi, BMW, Daimler, VW etc.), • Navigationsdienstleister (Google, Tomtom, Here etc.) und • Mobilfunkanbieter (T-Mobile, Vodafone etc.). Mit diesen existieren derzeit jedoch noch keine technischen (Standards), organisatorischen und vertraglichen Vereinbarungen bezüglich der Datenbereitstellung und -nutzung.	Definition von Standards. Vertragliche Vereinbarung mit den Service Providern treffen.
Fehlende Verfügbarkeit von 5G	Die Anforderungen an die Datenübertragung sind hoch: <ul style="list-style-type: none"> • hohe Übertragungsrate, • geringe Latenz, • kurze Übertragungswege. Diese Anforderungen werden vom aktuellen Übertragungsstandard 4G (LTE) nicht ausreichend erfüllt. Erst nachfolgende Mobilfunkstandards, wie z. B. 5G, werden eine umfassendere Erfüllung der Anforderungen leisten.	Ausbau der mobilen Infrastruktur (durch die Mobilfunkbetreiber).
Datenschutz	Es fehlen generelle rechtliche Rahmenbedingungen zur Erhebung und Erfassung der Daten. Selbst aus anonymisierten oder pseudonymisierten Daten ist die Identifikation über den Dateninhalt möglich (Fingerprint).	Rechtlichen Rahmen zur Datenerfassung und Datenverarbeitung schaffen.
Anonymisierung/ Pseudonymisierung	Daten sollten grundsätzlich nur in anonymisierter oder pseudonymisierter Form erfasst werden. Dazu müssen Regeln definiert oder erweitert werden.	Ausarbeitung und Erweiterung von Regeln und Methoden zur anonymisierten/pseudonymisierten Datenerfassung.
Datenvermeidung und Datensparsamkeit	Für jede Anwendung muss eine konkrete Festlegung getroffen werden, welche Daten zur Erfüllung der Funktionalität überhaupt erforderlich sind. Darüber hinausgehende Daten dürfen nicht für diese Anwendung erhoben und gespeichert werden.	Bestimmung der notwendigen Daten je Anwendung.
Verkehrsrechtliche Rahmenbedingungen	Für die aufgeführten Potenziale können die verkehrsrechtlichen Rahmenbedingungen teilweise fehlen (z. B. neue Anzeigemöglichkeiten/Schilder).	Aufnahme neuer Regelungen in die StVO.
Unzureichend ausgestattete Fahrzeuge	In älteren Fahrzeugen können C2I-Informationen nicht für Fahrer angezeigt werden, da das entsprechende HMI fehlt. Darüber hinaus fehlt die Sensorik zur Datenerfassung. Für die notwendige Qualität der Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen ist eine möglichst hohe Ausstattungsquote erforderlich.	Schaffung von Anreizen zur Erhöhung der Ausstattungsrate und Verbesserung des Zugangs über Aftermarket-Systeme.
Latenzzeiten / QoS	Die Latenzzeiten und die Priorisierung von Nachrichten (Stichwort Quality of Service) insbesondere für zeitkritische Ereignisse (z. B. Gefahrenwarnung) dürfen nicht zu groß sein.	Die Bereitstellung/Wahl der geeigneten Infrastruktur und Kommunikationssysteme und/oder Priorisierung von Nachrichten abhängig von der Kritikalität der Information muss ggf. ermöglicht und abgestimmt werden.
Zusammenarbeit Fahrzeug-/ Infrastrukturseite	Die Zusammenarbeit zwischen Fahrzeug- und Infrastrukturseite weist noch deutliche Optimierungspotenziale auf. Hinweis: Derzeit werden im Projekt SOCRATES 2.0 [48] Varianten von Kooperationsmodellen zwischen öffentlichen Verkehrsmanagementbetreibern, privaten Informations- bzw. Diensteanbietern sowie OEMs erarbeitet.	Networking und Zusammenarbeit müssen weiter ausgebaut werden.
Funktionale Anpassung und Erweiterung des kollektiven Verkehrsmanagement	Es fehlen heute Applikationen im kollektiven Verkehrsmanagement, die die aufgeführten C2I-Potenziale erschließen.	Entwicklung von Applikationen im kollektiven Verkehrsmanagement, wie z. B. einer virtuellen VBA, zur Erschließung von Potenzialen.
Gesellschaftliche Akzeptanz	Gerade vor dem Hintergrund der weitreichenden Datenerfassung und Informationsverarbeitung muss die Gesellschaft gezielt an die Chancen und Möglichkeiten herangeführt werden.	Gezielte Information der Gesellschaft Datensparsamkeit Transparenz

Tab. 4: Hemmnisse

4 Anwendungsszenarien

4.1 Einführung

Zur Ermittlung der Anwendungsszenarien wird der gesamte Verkehrsablauf auf Autobahnen untersucht, also von der Auffahrt bzw. Einfädeln in den Verkehrsablauf auf der Hauptfahrbahn, das Fahren auf der Hauptfahrbahn bis hin zum Wechsel bzw. Verlassen der Autobahn an (komplexen) Knotenpunkten. Dabei werden alle Ereignisse, die sich während des Fahrtablaufs ereignen können, systematisch erhoben und dokumentiert und, falls möglich, einer vorhandenen oder zukünftig mit C2I möglichen Beeinflussungsstrategie zugeordnet. Die Anwendungsszenarien werden daher grundsätzlich kategorisiert in die Abschnitte Einfahrt, Hauptfahrbahn, Knotenpunkt (Autobahnwechsel) und Ausfahrt. Zusätzlich zu diesen Abschnitten wird das Thema Netzbeeinflussung betrachtet.

Die Anwendungsszenariobeschreibungen werden strukturiert erstellt und enthalten Informationen zu den folgenden Themen:

- Verbale Szenariobeschreibung (Problemstellung)
- Beeinflussungsziele mit Zuordnung zu den Systemen VBA und C2I
- Erforderliche Eingangsdaten aus den Systemen VBA und C2I
- Anzeigemöglichkeiten und Beeinflussungsstrategie mit Zuordnung zu den Systemen VBA und C2I
- Resultierende Aufgaben der Operatoren
- Nutzen aus der Integration von C2I und VBA

Dabei wird unter dem Begriff System VBA das Gesamtsystem aus Außenanlage, Kommunikation, Zentrale und Bediener verstanden. Der Funktionsumfang der hier betrachteten VBA umfasst die Funktionalitäten einer VBA nach dem Stand der Technik (s. MARZ [2] mit Erweiterungen nach dem Stand der Technik, z. B. temporäre Seitenstreifenfreigabe, Zuflussregelung, dWiSta, Fahrtzeiterfassung über Bluetooth etc.). Darüber hinaus ist auch die Umsetzung einer VBA+ vorstellbar, d. h. das System VBA wird um zusätzliche Funktionalität, die über den Stand der Technik hinausgeht, erweitert. Solche Zusatzfunktionalitäten können beispielsweise mobile Sensorik oder Aktorik sein, die ereignisbezogen (z. B. an einer Baustelle) tempo-

rär in die VBA eingebunden werden. Ebenso könnte softwareseitig der Funktionsumfang der bestehenden Infrastruktur erweitert werden (z. B. Angabe von präzisen Ortsinformationen, z. B. „Stau in 650m“).

Der Begriff System C2I umfasst das Gesamtsystem aus fahrzeugseitiger Sensorik und Aktorik, Kommunikation, Zentrale und Bediener. Bei der Zuordnung, was das System hinsichtlich der Datenerfassung (s. Kapitel 4.4) und der Umsetzung von Beeinflussungsstrategien (s. Kapitel 4.5) leisten kann, wurde von einer Vollausrüstung des gesamten Fahrzeugkollektivs sowie einer vollständigen Funktionalitätsumsetzung im Sinne der in Kapitel 5 definierten Anforderungen ausgegangen.

Um die verwendeten Begriffe innerhalb der beiden betrachteten Systeme zu definieren, wurde ein Prozessbild erstellt, das die für das Projekt relevanten Komponenten umfasst (s. Bild 19). Dazu sind die beschriebenen Anwendungsszenarien, untergliedert in die Datenerfassung und die Beeinflussungsstrategien, den Komponenten zugeordnet.

Die erarbeiteten Anwendungsszenarien wurden zunächst auf Workshops mit den Betreibern (AS-FINAG, Baden-Württemberg, Straßen.NRW) diskutiert und präzisiert. Die Ergebnisse der Workshops wurden in den Beschreibungen der Anwendungsszenarien berücksichtigt.

Ein hoher Nutzen wird nach Einschätzung der Betreiber in der fahrzeugseitigen Informationsbereitstellung gesehen, da somit auch Informationen an Verkehrsteilnehmer weitergegeben werden können in Bereichen, in denen keine telematische Infrastruktur zur Verfügung steht (z. B. auf Rampen oder in Gebieten, in denen keine VBA installiert ist). Solange allerdings das Fahrzeugkollektiv sowohl aus mit C2I ausgestatteten Fahrzeugen als auch nicht ausgestatteten Fahrzeugen besteht, kann diese Information keinen weisenden Charakter, sondern lediglich informativen Charakter haben, was sich auf die Akzeptanz und damit auch auf den Nutzen dieser Informationen auswirkt.

Großer Nutzen von C2I wird auch in der (individualisierten) zeit- und ortspräziseren Information gesehen, die auch schon vor Auffahrt auf die Autobahn als Entscheidungshilfe weitergegeben werden kann.

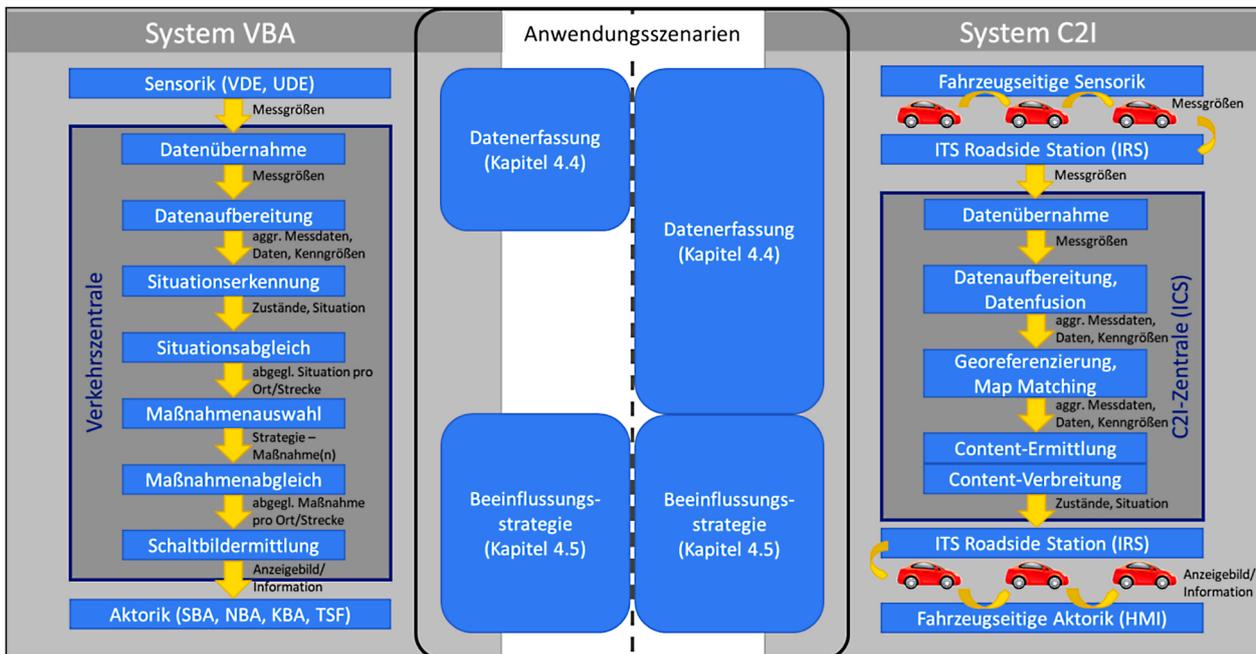


Bild 19: Prozessbild Systeme VBA und C2I

Kurz- bis mittelfristig ist eine individuelle Verkehrsbeeinflussung (z. B. Unterstützung eines individuellen Einfädelungsmanövers) mittels C2I nicht realistisch, sondern wird durch die weitere Automatisierung der Fahrzeuge umgesetzt.

Viele Maßnahmen können ggf. nur bei hohem bzw. vollständigem Ausstattungsgrad umgesetzt werden.

Die erarbeiteten Anwendungsszenarien werden im folgenden Kapitel 4.2 kurz vorgestellt. Die detaillierten Beschreibungen befinden sich im Anhang 1. In Kapitel 4.3 werden in die in verschiedenen Forschungsprojekten bereits pilothaft umgesetzten Use Case vorgestellt und beschrieben.

Anschließend werden die Beeinflussungsstrategien bzw. Anzeigemöglichkeiten, die in den einzelnen Anwendungsszenarien zur Unterstützung und Behebung der Situation vorgeschlagen werden, beschrieben (s. Kapitel 4.4).

Abschließend wird ein gemeinsamer Situations- und Maßnahmenkatalog als funktionale Kommunikationsbasis zwischen C2I-Technologie und Verkehrsbeeinflussung aufgestellt (s. Kapitel 4.6 und Anhang 2) und die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst (s. Kapitel 4.7).

4.2 Übersicht über die Anwendungsszenarien

4.2.1 Anwendungsszenarien an Einfahrten

Das Einfahren auf die Autobahn stellt ein komplexes Fahrmanöver dar. Nach dem Befahren der Rampe mit in der Regel geringen Kurvenradien muss auf dem Einfädelungstreifen unter Berücksichtigung der vorausfahrenden Fahrzeuge und der Situation auf der Hauptfahrbahn beschleunigt werden. Das Einfädelungsmanöver selbst muss unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit auf dem rechten Fahrstreifen und der vorhandenen Lücken durchgeführt werden. Verkehrsteilnehmer auf dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn müssen ggf. verzögern, um das Einfahren zu ermöglichen, oder wechseln auf den benachbarten linken Fahrstreifen, um zusätzliche Lücken für die einfahrenden Fahrzeuge zu schaffen.

Folgende Anwendungsszenarien werden an Einfahrten definiert:

- Fahrstreifenreduktion auf Rampe
- Enge Kurve in Rampe
- Nässe/Glätte auf Rampe
- Rückstau auf Rampe
- Statisches Hindernis auf Rampe
- Bewegliches Hindernis auf Rampe
- Einfädelungsmanöver – Einfahrende

- Einfädelungsmanöver – Verkürzter Einfädelungsstreifen
- Einfädelungsmanöver – Kein Seitenstreifen nach dem Einfädelungsstreifen
- Einfädelungsmanöver – HFB
- Einfahrpulk – Einfahrende
- Einfahrpulk – HFB
- Langsam einfahrendes Fahrzeug

4.2.2 Anwendungsszenarien auf Hauptfahrbahnen

Der Bewegungsablauf auf der Hauptfahrbahn ist im Normalzustand deutlich weniger komplex als im Knotenpunktbereich. Maßgeblichen Einfluss auf den Bewegungsablauf besitzen infrastrukturelle Gegebenheiten (z. B. Fahrstreifenreduktionen, Steigungsbereiche), besondere verkehrliche Bedingungen (z. B. Lkw-Pulks, hohe Geschwindigkeitsdifferenzen auf einem Fahrstreifen oder zwischen benachbarten Fahrstreifen), temporäre Ereignisse (z. B. Unfälle, Baustellen, Witterungsereignisse).

Folgende Anwendungsszenarien werden auf Hauptfahrbahnen definiert:

- Verkehrssicherheitsdefizite zwischen den Fahrstreifen (z. B. hohe Geschwindigkeitsunterschiede)
- Verkehrssicherheitsdefizite auf einem Fahrstreifen (z. B. kleine Zeitlücken)
- Überlastungsstau
- Fahrstreifenbezogener Stau (Spezialfall: Lkw-Stau)
- Lkw-Kolonnen
- Fahrstreifenwahl
- Überholmanöver
- Nasse Fahrbahn
- Geringe Sichtweite
- Glatte Fahrbahn
- Seitenwind auf Brücke
- Arbeitsstelle kürzerer Dauer
- Bewegliche Arbeitsstelle
- Arbeitsstelle längerer Dauer

- Unfall
- Sondertransport
- Falschfahrer
- Steigungsstrecke
- Fahrstreifenreduktion
- Unebene Fahrbahn, Ölspur
- Statisches Hindernis
- Bewegliches Hindernis
- Tunneleinfahrt
- Fahrbahnteiler

4.2.3 Anwendungsszenarien an Autobahnknotenpunkten

Während eines Autobahnwechsels entstehen komplexe Bewegungsabläufe. Verkehrsteilnehmer orientieren sich auf den passenden durchgehenden oder abgehenden Fahrstreifen, verzögern beim Ausfahren und erreichen das Rampensystem. Bei direkten und halbdirekten Rampen ist keine Verflechtung erforderlich, aber es entstehen bei der Zusammenführung verschiedener Ströme zusätzliche, ggf. kurz hintereinanderliegende Einfahrtsituationen. Im Fall von indirekten Rampen ist eine Verflechtung erforderlich, was eine hohe Anzahl gegenläufiger Fahrstreifenwechsel verursacht.

Folgende Anwendungsszenarien werden an Autobahnknotenpunkten (Verflechtungsbereichen) definiert:

- Zufahrt zum Knotenpunkt
- Verflechtung
- Verlassen des Knotenpunkts

Zusätzlich gelten die Anwendungsszenarien an Einfahrten (s. Kapitel 4.2.1) und Ausfahrten (s. Kapitel 4.2.4) sinngemäß auch an Autobahnknotenpunkten.

4.2.4 Anwendungsszenarien an Ausfahrten

Auch an Ausfahrten sind komplexe Fahrmanöver notwendig. Ausfahrende Verkehrsteilnehmer wechseln vorbereitend auf den rechten Fahrstreifen und anschließend auf den Verzögerungsstreifen und erreichen die Ausfahrrampe mit ggf. geringen Kurvenradien. Je nach Leistungsfähigkeit des folgenden Knotenpunkts und der Nachfrage des Ausfahrstroms kommt es zu einem Rückstau auf der Ram-

pe, der sich bei entsprechender Ausdehnung auch auf die Hauptfahrbahn auswirken kann.

Folgende Anwendungsszenarien werden an Ausfahrten definiert:

- Fahrstreifenwahl an Ausfahrten
- Rückstau an Ausfahrten
- Gesperrte Ausfahrt

4.2.5 Anwendungsszenarien für die Netzbeeinflussung

Eine übergeordnete Rolle nehmen die Anwendungsszenarien der Netzbeeinflussung ein, da diese nicht einem bestimmten Abschnitt (Einfahrt, Hauptfahrbahn, Autobahnwechsel oder Ausfahrt) zugeordnet werden können. Gerade in diesen Anwendungsszenarien liegt großes Potenzial, da einerseits die Informationsgewinnung z. B. durch routenbasierte Daten von teilnehmenden Fahrzeugen es ermöglicht, präzise Informationen über aktuelle Ziele und damit das mögliche Beeinflussungspotenzial sowie tatsächliche Befolungsraten zu erheben. Weiterhin kann durch individuelle Information an die Verkehrsteilnehmer eine höhere Akzeptanz erzielt werden.

Folgende Anwendungsszenarien werden für die Netzbeeinflussung definiert:

- Vollsperrung eines Streckenabschnitts
- Überlastung der Hauptroute (unter Berücksichtigung der Auslastungen auf den Alternativrouten)
- Baustelle/Engstelle auf der Hauptroute
- Großräumige Umleitung aufgrund einer LDC-Strategie
- Ereignisbasierte Verkehrslenkungen (Messe, Sportveranstaltung, Konzert, ...)
- Fahrzeuggruppenspezifisches Routing

4.2.6 Weitere Szenarien

Zusätzlich gibt es noch weitere Szenarien, die Einfluss auf das individuelle und kollektive Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer besitzen können. Folgende Szenarien könnten die Liste der Anwendungsszenarien vervollständigen:

- Besonders kurvige Streckenabschnitte
- Fahrstreifenaddition

- Kein Seitenstreifen vorhanden
- Emissionen
 - Feinstaub
 - Überschreitung der Luftgrenzwerte
 - Lärm
- Zu schwere Fahrzeuge
- Vollsperrung
- Verkehrskontrolle

4.3 Bereits spezifizierte Use Cases

In einigen Forschungsprojekten, die zum Teil Demonstratoren für C2I-Anwendungen entwickeln, wurden bereits Anwendungsfälle (Use Cases) erarbeitet, spezifiziert und zum Teil auch schon prototypisch implementiert. Nachfolgend werden die für Autobahnen relevanten Use Cases kurz vorgestellt und auf die jeweiligen Projekte verwiesen.

4.3.1 Überblick über die Day 1 Use Cases

Die Amsterdam Group hat 2013 konstatiert, dass die ersten Anwendungsfälle der initialen C-ITS Umsetzungen folgende wesentlichen Kriterien erfüllen sollten:

- Wenig komplexe Services mit erkennbarem Nutzen für den Anwender
- Ausgewogener Mix aus urbanen und interurbanen Services
- Services mit minimalem Risikopotenzial

Auf V2I-Seite sind dies die Baustellenwarnung (s. Kapitel 4.3.2), In-Vehicle Signage (s. Kapitel 4.3.7), Signal Phase and Timing (innerorts, daher hier nicht weiter betrachtet) und Probe Vehicle Data (s. Kapitel 4.3.8), zu denen jeweils White Papers veröffentlicht wurden, die als Richtlinie für die eigentlichen Umsetzungen dienen. Konkretere Spezifikationen für die Implementierung der einzelnen Applikationen und deren Einbettung in nationale/regionale ITS-Architekturen werden in den beteiligten länderspezifischen Initiativen erarbeitet (z. B. von BAST und Hessen Mobil, ECoAT Konsortium, SCOOP@F).

Im Laufe der Jahre ist in diversen Forschungsprojekten eine Fülle an Konzeptionen für Anwendungsfälle und Applikationen entstanden, die von verschiedenen Organisationen strukturiert und gebün-

Black X = indicated in source. Green X = assumed / inferred from literature review.
The designations in this workbook are for the intended primary use categories, installers, road types, vehicle types and beneficiaries (end users). Other use cases may exist but are not recorded in this workbook.

ID	Application	Service	Description (Review documents in column AQ)	Service Timeframe	V2V /V2I	Category			Communication Method	
						Safety	Efficiency	Environment	Network Type	C-ITS Message Basis
3	Hazardous location notifications	Road works warning	A service whereby the road operator can communicate with drivers through I2V communication about road works, restrictions and instructions.	Day 1	I	X	X		Cellular	DENM
6	Hazardous location notifications	Weather conditions	The use case refers to increasing traffic safety by informing drivers about critical weather conditions ahead especially where the danger can hardly be visually perceived	Day 1	IV	X			Cellular	DENM
8	Signage applications	In-vehicle signage	Via V2I communication, information on relevant road signs is given to the driver. Roadside units may be mounted on traffic signs and key points along roads, informing drivers of potentially dangerous road conditions ahead, speed limits and upcoming junctions.	Day 1	I	X			DSRC / Wi-Fi	MI / IVS
9	Signage applications	In-vehicle speed limits	Roadside units at key points along roads can broadcast information to drivers about speed limits.	Day 1	I	X	X	X	DSRC / Wi-Fi	VI / CAM
10	Signage applications	Probe vehicle data: CAM aggregation	Also known as Floating Car Data (FCD), PVD is data generated by vehicles. Contains vehicle positional information, time stamp and motion. Driver actions e.g. steering, braking, flat tyre, windshield wiper status, air bag status, weather and road surface conditions can also be transmitted. Probe data is used to manage traffic flows, maintain roads and to alert users in hot spots, where the danger of accidents accumulates.	Day 1	I	X	X	X	GPS / Cellular / WIMAX / DSRC / Wi-Fi	CAM
11	Signage applications	Shockwave Damping (also has other names, falls under the general ETSI category "local hazard warning")	Shock wave damping aims to smooth the flow of traffic, by damping traffic/shock waves. Real-time traffic data is used to feed advisory speeds to cars to smooth out speed variations.	Day 1	I		X	X	DSRC / Wi-Fi	MI
15	Other	Information on fuelling & charging stations for alternative fuel vehicles	Broadcasts charge point availability, allowing users to book charging point time windows and to plan routes with available charge points on the way. May also include eBilling information.	After Day 1	I				Cellular	CAM
16	Other	Off street parking information	Feeds space availability to interested vehicles.	After Day 1	I		X	X	Cellular	CAM
18	Other	Park & Ride information	Feeds Park and Ride space availability to the vehicle, allowing them to determine whether to use the facility and allowing maximum utilisation from the perspective of the operator. This improves overall network efficiency and has environmental benefits.	After Day 1	I		X	X	Cellular	CAM
19	Other	Traffic information & Smart routing	Improve traffic flow management by optimizing traffic lights and speed limits and by offering re-routing suggestions based on real-time traffic jam alerts.	After Day 1	IV			X	Cellular	CAM / DENM
22	Hazardous location notifications	Cooperative Collision Risk Warning	Detection of a turning, crossing or merging collision risk by a roadside ITS station. Informs the user if a collision is likely with a vehicle (which may be obscured) by taking location data from a RSU in direct line of sight with both parties.	After Day 1	V/I	X			DSRC	DENM / CAM

Bild 20: Anwendungsfälle (Auszug aus [10])

delt wurden. Diese Grundlagenerhebung stützt sich auf infrastrukturbasierte Anwendungsfälle, und innerhalb dieser auf eine Auflistung, auf die sich internationale Stakeholder im Rahmen der C-ITS Plattform geeinigt haben [10], sowie auf eine Zuordnung von Anwendungsfällen zu Nachrichtencontainern des C2CCC [11].

Obwohl aktuell die ersten Day1-Anwendungen in Europa umgesetzt werden, listet [12] einige potenzielle Hemmnisse für einen großflächigen Rollout auf (Auszug):

- Unzureichende Spezifikation: Neben den Whitepapers für RWW, IVI und PVD sind viele Anwendungsfälle im internationalen Kontext nicht klar spezifiziert.
- Die standardisierten Nachrichtencontainer sind für zukünftige Anwendungen möglicherweise nicht ausreichend, was Neuentwicklung oder Anpassung erfordert.

Bild 20 enthält einen Überblick der V2I-Anwendungsfälle aus [10], mit einer Kurzbeschreibung, Rollout-Horizont, Kommunikationsweg und Nachrichtenformat.

Bild 21 enthält eine Zuordnung von Anwendungsfällen zu Nachrichtencontainern (Quelle: C2CCC). Die Auflistung enthält einen Container CAM 2.0. Hierbei handelt es sich um eine geplante Erweiterung der in [8] spezifizierten CAM (1.0), durch welche fortgeschrittene Anwendungsfälle (hauptsächlich C2C) realisiert werden können, z. B. kooperatives ACC.

Bild 22 stellt die langfristige Entwicklung kooperativer und automatisierter Systeme dar, wie sie derzeit im C2CCC gesehen wird (Stand 2016). Weitere Anwendungsfälle werden in diversen Forschungsprojekten erarbeitet, als Beispiel sei hier das Projekt INFRAMIX [50] genannt, welches den Anwendungsfall „Dynamic Lane Assignment (incl. Speed recommendations)“, eine Erweiterung des Anwendungsfalls „Roadworks Warning“ (s. Kapitel 4.3.2) und den Anwendungsfall „Bottlenecks“ im Zusam-

	Missing	CAM 1.0	CAM 2.0	DENM	SPATEM	MAPEM	IVIM	CPM	IM	SREM	SSEM
Hazardous Location Notification		(x)		x							
PVD		x	x								
Road Works Warning				x							
Signal Violation		x		x							
Shock Wave Damping					x	x					
Traffic Jam Ahead Warning				x							
Traffic Signal Priority Request				x?	(x)	(x)				x	x
Wrong Way Driver Warning											
GLOSA					x	x					
IVI							x				
IVS											

Bild 21: Zuordnung Anwendungsfälle zu Nachrichtencontainern („living document“, Quelle: C2CCC [11])

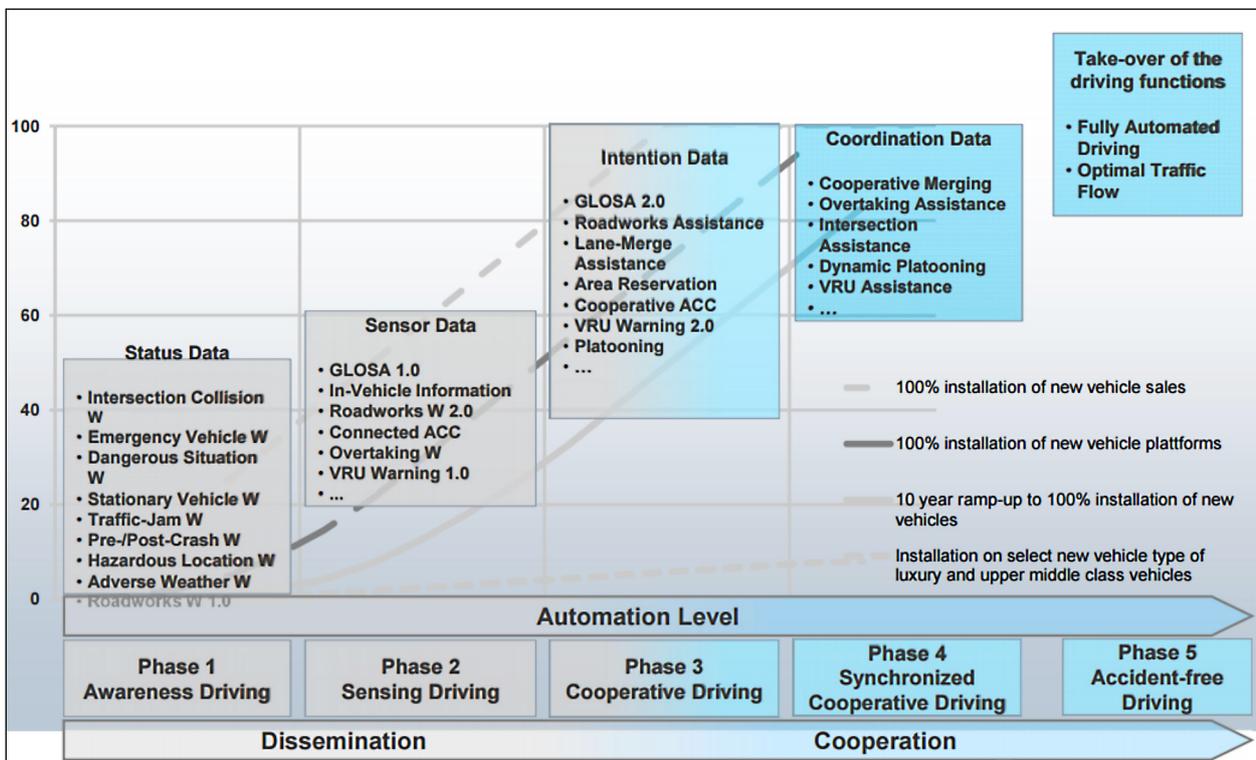


Bild 22: C-ITS Roadmap (Quelle: C2CCC)

menhang mit vernetzten, automatisierten Fahrzeugen erarbeitet. Über die Plattform CARTRE (<https://connectedautomateddriving.eu>) werden Projekte zur Fahrzeugvernetzung und -automatisierung mit dem Fokus auf Europa koordiniert.

4.3.2 RWW – Road Works Warning

Im österreichischen Forschungsprojekt ECo-AT wurde der Anwendungsfall für eine Baustellensicherung mittels Road Works Warnung (RWW) [31] bereits sehr detailliert und anwendungsbezogen behandelt. Das Projekt spezifiziert zunächst Szenarien für durch Warnleitanhänger abgesicherte oder zentralen-gesteuert gesicherte Baustellen. Über In-Vehicle Information (IVI; siehe Kapitel 4.3.6)

sollen dem Verkehrsteilnehmer Parameter und Einschränkungen der Baustelle angezeigt werden. Hierzu zählen u.a. Beginn und Ende der Baustelle, sowohl zeitlich als auch räumlich, Art der Baustelle (statisch oder beweglich), der Fahrbahnaufbau (z. B. Fahrstreifensperrung, Seitenstreifenfreigabe) und Start- und Endposition einer Geschwindigkeitsbeschränkung. Durch diese Informationen soll die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer erhöht und eine Anpassung der Geschwindigkeit an die Situation bewirkt werden, wodurch die Verkehrssicherheit und die Sicherheit der Baustellenarbeiter und –einrichtungen verbessert werden. Für das „C-Roads - Testfeld des hessischen Piloten“ [32] wird die Baustellenwarnung (RWW) implementiert und getestet.

4.3.3 SSVW – Slow or Stationary Vehicle Ahead Warning

C-Roads [32] beschreibt eine Warnung vor langsamen bzw. stehenden Fahrzeugen (SSVW) zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, wie z. B. beim Befahren der Autobahn durch Wartungsfahrzeuge oder Fahrzeuge des Winterdienstes. Hierfür müssen die weiteren Verkehrsteilnehmer in diesem Bereich ihre Fahrweise anpassen, um das „Hindernis“ sicher passieren zu können. Vor allem bei schlechter Sicht und/oder Witterung kann ein sicherheitsrelevanter Mehrwert durch einen C-ITS-Dienst erzielt werden, was sich in der Verringerung von Unfallzahlen, Stau- und Fahrzeiten widerspiegelt.

4.3.4 TJW – Traffic Jam Ahead Warning

Das rechtzeitige Erkennen eines vorausliegenden Staus ist der wesentliche Punkt zur Verhinderung von Auffahrunfällen auf das Stauende. C-Roads [32] beschreibt in diesem Fall den C-ITS-Dienst zur Warnung vor im Stau stehenden Fahrzeugen (TJW). In Verbindung mit der Harmonisierung des Verkehrsflusses sollen Fahrzeiten und Unfälle reduziert sowie die Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig hoher Verkehrssicherheit verbessert werden. Eine frühzeitige Routenempfehlung kann zudem bereits im Vorlauf die Engstelle entlasten.

4.3.5 SWD – Shockwave Damping

Durch Vorausplanung und geeignete Maßgaben können Staus verringert oder auch vermieden werden. Bei dem in C-Roads [32] beschriebenen C-ITS-Dienst der Stauwellendämpfung soll durch Vorgabe der optimalen Geschwindigkeit (Harmonisierung) eine Optimierung des Verkehrsflusses erreicht werden.

4.3.6 Projekt Spookfiles

Die Provinz Noord-Brabant hat im Jahr 2014 (bis 2016) das erste groß angelegte C2I-System in den Niederlanden testweise eingeführt. Erstmals wurde international solch ein umfangreiches Testfeld auf einer öffentlichen Straße/Autobahn betrieben (Bereich von 17 km zwischen Eindhoven – Tilburg).

Zum Anwendungsfall „Stau aus dem Nichts“ wurde dazu der kooperative Dienst zur Beeinflussung von Stauwellen („Shockwave Traffic Jam Service“ [36]) beschrieben. Dieser warnt Verkehrsteilnehmer vor einem vorausliegenden Stau und empfiehlt ihnen

eine Geschwindigkeit (Verlangsamung, Harmonisierung). Getestet wurde auch, ob hierbei die richtige Nachricht zur richtigen Zeit an den richtigen Verkehrsteilnehmer übermittelt wird.

Die Anzeige der Geschwindigkeitsempfehlung im Fahrzeug beeinflusst das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer zudem. Da es sich hierbei um eine nicht verbindliche Anzeige handelt (Empfehlung), war bei relativ niedriger Ausstattungsrate eine Beeinflussung des Gesamtverkehrs nur in geringem Maße möglich. Kooperative Fahrzeuge hielten die empfohlenen Geschwindigkeiten im Schnitt zu etwa 40 % ein. An Stauenden konnte sich somit mit angepasster Geschwindigkeit und sicher genähert werden. Bei aufkommender Staugefahr kann die Fahrerbeeinflussung bereits im Vorfeld für eine Stauverringerng oder gar –vermeidung sorgen.

Das Projekt zog viele Erkenntnisse über Daten, Organisation und Verhaltensweisen in Bezug zu kooperativer Verkehrsbeeinflussung, auch als Basis zur Erarbeitung von Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC).

4.3.7 IVS – In-Vehicle Signage

Ein weiterer Use Case des Projekts ECo-AT befasst sich mit dem Teil der In-Vehicle Information [33], der die angezeigten Signale einer VBA wiedergibt (In-Vehicle Signage – IVS). WVZ-Anzeigen werden dabei ins Fahrzeug projiziert („Virtuelle VBA“), wobei nur eine Visualisierung vorliegt und keine Interpretation gegeben wird. Nicht nur die lokalen Informationen der streckenseitigen Signalisierung können dem Fahrer somit angezeigt werden, sondern auch kontinuierliche Information ist möglich (dynamisch). Anzeigebereiche können erweitert (z. B. „80 km/h in 500 m“) und Maßnahmen erläutert werden. Das kann die Akzeptanz und Einhaltung erhöhen sowie folglich die Verkehrssicherheit.

Die Signalisierung von Geschwindigkeitsbegrenzungen ist ein wesentlicher Aspekt für Verkehrsteilnehmer auf der Autobahn. Aus Fahrersicht ist ein rechtzeitiges Erkennen eminent, um das Fahrverhalten frühzeitig anzupassen und so die Geschwindigkeit ab dem Beginn des Anwendungsbereiches einzuhalten.

Aus Operatorensicht sind das Schalten von Geschwindigkeitsbeschränkungen, Fahrstreifensperren und dynamischen Beschränkungen (z. B. Warnung vor Stau oder Nebel) die wesentlichen As-

pekte, welche mittels IVI dem Verkehrsteilnehmer direkt angezeigt werden können.

Ziele von IVS sind somit die exakte Definition und Einhaltung der räumlichen und zeitlichen Gültigkeit von Signalen, die Verringerung von Latenzzeiten und auch eine Verbesserung der Verständlichkeit (z. B. bei einer Sprachbarriere an Text-Panels).

4.3.8 PVD – Probe Vehicle Data

Für die effiziente Erfassung des Straßennetzes und die zuverlässige Information der Verkehrsteilnehmer kann die Bereitstellung, Anreicherung und Qualitätssicherung von TLS-Daten durch PVD nützlich sein. Kooperierende Fahrzeuge können bei diesem C-ITS-Dienst als „mobile Sensoren“ tätig sein, die relevante Verkehrs- und Umfelddaten aggregieren können. Schließlich sollen Einzelfahrzeugdaten und Einzelfahrtzeiten ausgegeben werden. Dieser Dienst wird sowohl bei ECo-AT [37] als auch bei C-Roads [32] berücksichtigt.

4.3.9 Collision Risk Warning

Rijkswaterstaat, das Ministerium für Infrastruktur der Niederlande, hat den Anwendungsfall der Warnung vor liegengebliebenen Fahrzeugen behandelt (vgl. [35]). Insbesondere Fahrzeuge des Streckendienstes, die liegengebliebene oder verunfallte Fahrzeuge absichern bzw. zur Entfernung von Objekten von der Fahrbahn vor Ort sind, werden häufig nicht oder falsch von anderen Verkehrsteilnehmern wahrgenommen. Zum Schutz kann der Streckendienst ein Warnsignal an herannahende Fahrzeuge aussenden, um Kollisionen zu vermeiden, wie auch die Verkehrszentrale über sein Vorhaben informieren.

4.3.10 OtherDENM – Other DENM based applications

In der Übersicht der Anwendungsfälle von ECo-AT [34] wird zudem der Fall beschrieben, wie andere DENM-Anwendungen in ECo-AT erstellt werden können. Dabei wird näher auf den Informationsaustausch über Ereignisse und Gefahrenstellen bidirektional Verkehrszentrale und Fahrzeugen eingegangen.

4.4 Datenerfassung

Die in den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.5 vorgestellten und im Anhang 1 detailliert beschriebenen Anwendungsszenarien nutzen verschiedene Eingangsdaten, um die im jeweiligen Anwendungsszenario beschriebenen Situationen zu erkennen. Diese Eingangsdaten werden in Tabelle 5 näher beschrieben und den Systemen VBA und C2I zugeordnet, wobei hier schwerpunktmäßig die jeweils bereitgestellte Sensorik (Messquerschnitte, fahrzeugseitige Sensorik) gemeint ist. Dabei bedeutet eine eingeklammerte Zuordnung, dass das System nur eine bedingte Unterstützung liefern kann.

Es ist zudem anzumerken, dass beide Systeme exklusive Daten bereitstellen können, die das jeweils andere System nicht bereitstellen kann. So ist die VBA in der Lage, auch zuverlässige Daten über die Verkehrsstärke und über Berechnungen die (lokale) Verkehrsdichte zu liefern, die für viele Algorithmen zur Bewertung des vorherrschenden Verkehrszustands zwingend benötigt werden. Demgegenüber kann über C2I streckenbezogene Kenngrößen generiert werden, sodass es deutlich präziser möglich ist, die Orte der Änderung des Verkehrszustands (z. B. Staubeginn und Stauende) zu bestimmen. Insbesondere die Tatsache, dass es allenfalls bei Vollerfassung durch das System C2I möglich ist, zuverlässige Aussagen zu den zentralen Kenngrößen Verkehrsstärke und Verkehrsdichte zu treffen, legt nahe, dass sich die Systeme VBA und C2I mittelfristig zwar sinnvoll ergänzen, nicht aber ersetzen können.

Als weiteres Beispiel sind die Daten zu Baustellenbereichen zu nennen. Während das einer VBA-Zentrale zur Verfügung stehende Baustellenmanagementsystem in der Regel detaillierte Planungsdaten zur Baustelle bereitgestellt werden, können fahrzeugseitige Informationen zur Qualitätssicherung dieser Informationen hinsichtlich des zeitlichen und räumlichen Beginns und Ende der Baumaßnahme sowie ggf. gar über Verkehrsführungen beitragen. Außerdem können fahrzeugseitige Informationen einen Beitrag zum Monitoring der Verkehrsqualität an Baustellen leisten.

Nr.	Zu erfassende Daten	Beschreibung	VBA	C2I
1	Lokale Einzelfahrzeugdaten in möglichst kurzen Zeitintervallen	Lokal gemessene verkehrliche Einzelfahrzeugdaten (z. B. Fahrzeugtyp, momentane Geschwindigkeit, Nettozeitlücke, Fahrzeuglänge, verwendeter Fahrstreifen), ggf. in kurzen Zeitintervallen aggregiert	X	(X)
2	Lokale Verkehrsdaten in möglichst kurzen Zeitintervallen	Lokal gemessene Verkehrsdaten gem. TLS (z. B. mittlere Geschwindigkeit, mittlere Verkehrsstärke, mittlere Nettozeitlücke, aggregiert je Fahrzeugklasse [Pkw-ähnliche, Lkw-ähnliche, alle Kfz] und Fahrstreifen bzw. gesamter Richtungsquerschnitt), in kurzen Zeitintervallen aggregiert	X	
3	Lokale Witterungsdaten	Lokal gemessene Witterungsdaten (z. B. Niederschlag, Wasserfilmdicke, Fahrbahnzustand, Sichtweite, Temperaturen, Wind, Luftschadstoffe, Lärm), in kurzen Zeitintervallen (z. B. 1min) aggregiert	X	
4	Gefahrenmeldung/-detektion	Manuelle oder automatische Erfassung von Gefahrensituationen (z. B. Unfall, liegengebliebenes Fahrzeug, verlorenes Ladegut, Ölspur, Personen oder Tiere auf der Fahrbahn, Falschfahrer)	X	X
5	Daten des Baustellenmanagements	Informationen zu Arbeitsstellen kürzer und längerer Dauer (z. B. räumliche und zeitliche Lage, Art der Verkehrsbeschränkungen, Verkehrsführung, ggf. vorhandene Umleitungen, aktuelle Verkehrssituation)	X	X
6	Daten des Tunnelmanagements	Informationen zum aktuellen Zustand des Tunnels und den dort eingeleiteten Maßnahmen (z. B. Sperre eines oder mehrerer Fahrstreifen, Vollspernung, Behinderung mit eingeleiteten Verkehrsbeschränkungen)	X	
7	Erfassung des auslösenden Ereignisses der Sperrung	Information zum auslösenden Ereignis einer Vollsperrung eines Netzabschnitts (für NBA-Maßnahmen)	X	X
8	Erfassung der Verkehrslage auf der/den Haupt- und Alternativroute(n)	Erfassung der aktuellen (und ggf. auch der prognostizierten) Verkehrslage auf der Hauptroute sowie aller zur Verfügung stehenden Alternativrouten für die zu steuernde Hauptroute	X	X
9	Erfassung der Restkapazitäten auf Haupt- und Alternativroute(n)	Erfassung der aktuellen (und ggf. auch der prognostizierten) Restkapazitäten auf der Hauptroute sowie aller zur Verfügung stehenden Alternativrouten für die zu steuernde Hauptroute	X	
10	Kontinuierliche Einzelfahrzeugdaten (Trajektorien)	Erfassung von Einzelfahrzeugtrajektorien in regelmäßigen Zeit- bzw. Wegschritten, und ggf. Aggregation in abschnittsbezogene Kenngrößen (z. B. Reisezeiten, Reisegeschwindigkeiten, Verkehrszustände)		X
11	Fahrzeugabstände	Erfassung der Fahrzeugabstände zum vorausfahrenden und nachfolgenden Fahrzeug (als Eingangsgröße für die Bewertung der Verkehrsdichte sowie von Verkehrssicherheitsaspekten)		X
12	Fahrzeugbezogene Witterungsdaten	Erfassung von Witterungsdaten aus der Fahrzeugsensorik (s. Punkt 3), und ggf. Aggregation in abschnittsbezogene Kenngrößen		X
13	Anfang und Ende des Hindernisses/Staus/der Arbeitsstelle/Unfallstelle räumlich und zeitlich exakt bestimmen	Fahrzeugseitige Erfassung von Störungen mit zeitlich-räumlicher Verfolgung des Beginns und Endes der Störung		X
14	Fahrtzeitverluste	Aus den Daten aus Punkt 10 abgeleitete Fahrtzeitverluste pro Abschnitt	(X)	X
15	Erfassung der Verkehrslage auf der/den Alternativroute(n) im niederrangigen Straßennetz	Erfassung der aktuellen (und ggf. auch der prognostizierten) Verkehrslage auf den Alternativrouten im niederrangigen Straßennetz		X
16	Erfassung der Zielwahl der Verkehrsteilnehmer vor dem Entscheidungspunkt	Erfassung der Fahrtziele und geplanten Route aus Navigationssystemen vor dem Entscheidungspunkt		X
17	Erfassung der Befolgung von Alternativrouten	Erfassung der tatsächlich gewählten Routenentscheidung im Vergleich zur geplanten Route am Entscheidungspunkt, um daraus Rückschlüsse zur Befolgung von Routenempfehlungen abzuleiten		X
18	Erfassung der Fahrzeugeigenschaften (Fahrzeugtyp, Gewicht)	Erfassung der Fahrzeugeigenschaften (Fahrzeugtyp, Gewicht), um fahrzeuggruppenspezifische Informationen zu generieren und zu verbreiten (s. Kapitel 4.5)	(X)	X
19	Erfassung der fahrzeugbezogenen Emissionswerte	Erfassung der fahrzeugbezogenen Emissionswerte, um daraus fahrzeuggruppenspezifische Maßnahmen zu generieren und zu verbreiten (s. Kapitel 4.5)		X

Tab. 5: Eingangsdaten in die Verkehrssteuerung

4.5 Beeinflussungsstrategien

Die in den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.5 vorgestellten und im Anhang 1 detailliert beschriebenen Anwendungsszenarien nutzen verschiedene Beeinflussungsstrategien, um die im jeweiligen Anwendungsszenario festgelegten Beeinflussungsziele zu erreichen. Diese Beeinflussungsstrategien werden in Tabelle 6 näher beschrieben und den Systemen VBA und C2I zugeordnet, wobei hier schwerpunktmäßig die jeweils bereitgestellte Aktorik (Anzeigequerschnitte, In-Car-Visualisierung) gemeint ist. Dabei bedeutet eine eingeklammerte Zuordnung, dass das System nur eine bedingte Unterstützung liefern kann.

Ähnlich wie bei der Datenerfassung (s. Kapitel 4.4) ist auch hier ein mittelfristiges Szenario einer vollständigen Ersetzung des Systems VBA durch C2I nicht denkbar. Grund hierfür ist, dass über VBA alle Verkehrsteilnehmer kollektiv und damit rechtlich bindend angesprochen werden. Eine rechtsverbindliche Anzeige von Ver- und Geboten, wie es über die VBA erfolgt, kann über C2I nur dann geleistet werden, wenn Vollausstattung herrscht und die Systeme ausfallsicher sind (dies ist die Ausgangslage für Tabelle 6).

Nr.	Beeinflussungsstrategie	Beschreibung	VBA	C2I
1	Geschwindigkeitsanordnung, fahrbahnbezogen, ortsgebunden	fahrbahnbezogene Anzeige einer Geschwindigkeitsbeschränkung an bestimmten Orten (Anzeigequerschnitte). Die anzuzeigenden Geschwindigkeitsbeschränkungen orientieren sich an technischen Möglichkeiten (in der Regel: 40, 60, 80, 100, 120 km/h).	X	X
2	Geschwindigkeitsanordnung, fahrstreifenbezogen, ortsgebunden	fahrstreifenbezogene Anzeige einer Geschwindigkeitsbeschränkung an bestimmten Orten (Anzeigequerschnitte). Die anzuzeigenden Geschwindigkeitsbeschränkungen orientieren sich an technischen Möglichkeiten (in der Regel: 40, 60, 80, 100, 120 km/h).	X	X
3	Geschwindigkeitsanordnung, fahrbahnbezogen (nicht ortsgebunden)	fahrbahnbezogene Anzeige einer Geschwindigkeitsbeschränkung an beliebigen Orten, die sich an der Lage der erkannten Situation orientieren. Die anzuzeigenden Geschwindigkeitsbeschränkungen orientieren sich an rechtlich zulässigen Möglichkeiten der StVO (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 und 130 km/h).		X
4	Geschwindigkeitsanordnung, fahrstreifenbezogen (nicht ortsgebunden)	fahrstreifenbezogene Anzeige einer Geschwindigkeitsbeschränkung an beliebigen Orten, die sich an der Lage der erkannten Situation orientieren. Die anzuzeigenden Geschwindigkeitsbeschränkungen orientieren sich an rechtlich zulässigen Möglichkeiten der StVO (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 und 130 km/h).		X
5	Geschwindigkeitsempfehlung, fahrbahnbezogen (nicht ortsgebunden)	fahrbahnbezogene Anzeige einer Geschwindigkeitsempfehlung (Richtgeschwindigkeit, blau hinterlegt) an beliebigen Orten, die sich an der Lage der erkannten Situation orientieren.		X
6	Geschwindigkeitsempfehlung, fahrstreifenbezogen (nicht ortsgebunden)	fahrstreifenbezogene Anzeige einer Geschwindigkeitsempfehlung (Richtgeschwindigkeit, blau hinterlegt) an beliebigen Orten, die sich an der Lage der erkannten Situation orientieren.		X
7	Lkw-Überholverbot, ortsgebunden	fahrbahnbezogene Anzeige eines Lkw-Überholverbots an bestimmten Orten (Anzeigequerschnitte).	X	X
8	Lkw-Überholverbot (nicht ortsgebunden)	fahrbahnbezogene Anzeige eines Lkw-Überholverbots an beliebigen Orten, die sich an der Lage der erkannten Situation orientieren.		X
9	Allgemeines Überholverbot, ortsgebunden	fahrbahnbezogene Anzeige eines allgemeinen Überholverbots an bestimmten Orten (Anzeigequerschnitte).	X	X
10	Allgemeines Überholverbot (nicht ortsgebunden)	fahrbahnbezogene Anzeige eines allgemeinen Überholverbots an beliebigen Orten, die sich an der Lage der erkannten Situation orientieren.		X
11	Gefahrenwarnung, ortsgebunden	Anzeige einer Gefahrenwarnung an bestimmten Orten (Anzeigequerschnitte). Die anzuzeigenden Gefahrenwarnungen orientieren sich an technischen Möglichkeiten (in der Regel: Zeichen 101, 114, 123, 124, 101-51).	X	X
12	Gefahrenwarnung (nicht ortsgebunden)	Anzeige einer Gefahrenwarnung an beliebigen Orten. Die anzuzeigenden Gefahrenwarnungen orientieren sich an rechtlich zulässigen Möglichkeiten der StVO.		X

Tab. 6: Maßnahmen der Verkehrssteuerung

Nr.	Beeinflussungsstrategie	Beschreibung	VBA	C2I
13	Fahrstreifenräumung, ortsgebunden	Anzeige einer Fahrstreifenräumung über entsprechende Dauerlichtzeichen (gelb blinkender Pfeil) an bestimmten Orten (Anzeigequerschnitte).	X	X
14	Fahrstreifensperrung, ortsgebunden	Anzeige einer Fahrstreifenräumung über entsprechendes Dauerlichtzeichen (rotes Kreuz) an bestimmten Orten (Anzeigequerschnitte).	X	X
15	Fahrstreifenräumung (nicht ortsgebunden)	Anzeige einer Fahrstreifenräumung über entsprechende Anzeige im Fahrzeug an beliebigen Orten.		X
16	Fahrstreifensperrung (nicht ortsgebunden)	Anzeige einer Fahrstreifensperre über Anzeige im Fahrzeug an beliebigen Orten.		X
17	Vollsperrung	Anzeige einer Vollsperrung der Fahrbahn (über die VBA geregelt über Dauerlichtzeichen).	(X)	X
18	Temporäre Seitenstreifenfreigabe	Anzeige der temporären Seitenstreifengabe gemäß den gültigen Vorgaben, unter Einsatz der StVO-Zeichen 223.1-3.	X	X
19	Maßnahmenerläuterung zur Akzeptanzsteigerung	Zur Maßnahme werden Hintergrundinformationen, z. B. Grund und Ziel der Maßnahme, Dauer, Ort usw. weitergegeben.		X
20	Vorankündigung	Zur einer bevorstehenden Situation (sowohl zeitlich als auch räumlich) werden Informationen über Art, Dauer bzw. Zeitpunkt und Lage weitergegeben.	(X)	X
21	Information	Zu einer akuten Situation (z. B. Unfall) werden Informationen über Art, Dauer bzw. Zeitpunkt und Lage weitergegeben.	(X)	X
22	Fahrtzeit- bzw. Verlustanzeigen, Staulängenanzeige	Für wichtige Routen bzw. (Fern-)Ziele werden Fahrtzeiten bzw. Verlustzeiten oder Staulängen angegeben.	(X)	X
23	Routenangabe (kollektiv, Fernziele)	Zu den auf der Blaubeschilderung angegebenen Fernzielen werden Routen- bzw. Umleitungsempfehlungen angegeben.	X	X
24	individuelle Routenangabe	Basierend auf dem individuellen, bekannten Reiseziel werden Routeninformationen im Einklang der aktiven Strategien der Verkehrszentrale(n) angegeben.		X
25	Zuflussregelung	An Rampen wird der Zufluss mittels LSA geregelt.	X	X
26	Vorgabe/Empfehlung von einzuhaltenden Zeit- bzw. Weglücken	Dem Verkehrsteilnehmer werden einzuhaltende Zeit- bzw. Weglücken angegeben, um entweder ausreichende Verkehrssicherheit zu gewährleisten (Vergrößerung der vorhandenen Zeit- bzw. Weglücke), notwendige Lücken für anderen Verkehrsteilnehmer zu schaffen, oder vorhandene Kapazitäten auszuschöpfen (Verringerung der Zeit- bzw. Weglücke).		X
27	Vorgabe/Empfehlung von Beschleunigung/Verzögerung	Dem Verkehrsteilnehmer werden einzuhaltende Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsvorgaben angegeben, um ausreichende Verkehrssicherheit zu gewährleisten, Überholmanöver zügig abzuschließen oder kritische Fahrmanöver insbesondere an Ausfahrten zu vermeiden		X
28	Shockwave Damping	Bei dichtem Verkehr werden den Verkehrsteilnehmer optimale Geschwindigkeiten sowie Verhaltenshinweise (z. B.: „Fahrstreifen halten!“, „Staugefahr! Bitte vorausschauend fahren!“, „Geschwindigkeit anpassen, um Stau zu vermeiden“, „Staugefahr! Sicherheitsabstand vergrößern!“) vorgegeben, um den Verkehrsfluss zu harmonisieren und länger aufrecht zu erhalten (s. auch C-Roads: Service SWD - Shockwave Damping Service Deployment [32]).		X
29	Kooperatives Fahren im Stau	Im Stau werden den Verkehrsteilnehmern Hinweise zum kooperativen Fahren gegeben, um zur Stauauflösung beizutragen. In Abhängigkeit der individuellen Position (Staubeginn, mitten im Stau, Stauende) können folgende Hinweise gegeben werden, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • „Fahrstreifen halten“ • „Abstand halten“ • „Abstand vergrößern“ • „Zum vorausfahrenden Fahrzeug aufschließen“ • „Zielgeschwindigkeit: xx km/h“ • „Nicht beschleunigen“ • „Jetzt beschleunigen“ 		X
30	Falschfahrerwarnung	Anzeige eines Warnhinweises vor einem zu erwartenden Falschfahrer mit entsprechenden Verhaltenshinweisen (Geschwindigkeit reduzieren, äußerst rechts fahren, nicht überholen).	(X)	X

Tab. 6: Fortsetzung

Nr.	Beeinflussungsstrategie	Beschreibung	VBA	C2I
31	Fahrstreifenempfehlung	Während des Fahrtverlaufs werden Empfehlungen gegeben, welcher Fahrstreifen genutzt werden sollte. Dies kann in folgenden Situationen sinnvoll sein: - Hinweis auf Rechtsfahrgebot - Annäherung eines Knotenpunkts, an dem der individuelle Verkehrsteilnehmer ausfahren möchte - Verdichtung oder Stau auf bestimmten Fahrstreifen		X
32	Fahrstreifenvorgabe	Während des Fahrtverlaufs werden Vorgaben zum Fahrstreifenwechselverhalten gegeben. Diese orientieren sich an den Vorgaben, die Markierungen geben können (z. B. durchgezogene Linie bedeutet „Fahrstreifen nicht wechseln!“), dynamisieren und virtualisieren diese Vorgaben aber. Damit können z. B. spezielle Markierungen an Knotenpunkten dynamisch angepasst werden, z. B.: Während geringem Verkehrsaufkommen am Knotenpunkt werden keine Vorgaben gegeben. Bei dichtem Verkehr wird im Knotenpunktbereich das Wechseln vom linken auf den rechten Fahrstreifen untersagt, das Wechseln vom rechten auf den linken Fahrstreifen ist aber weiterhin erlaubt. Je nach Ausprägung und räumlicher Ausdehnung des Verkehrszustands kann der Bereich, für den solche Vorgaben angezeigt werden, angepasst werden.		X
33	Fahrstreifenwechselempfehlung	Bei der Fahrstreifenwechselempfehlung werden den Verkehrsteilnehmern Hinweise zum Fahrstreifenwechselverhalten gegeben. Diese können sinnvoll eingesetzt werden in folgenden Situationen: - Knotenpunktbereich: Forcierung von Fahrstreifenwechseln nach links für Pkw, um größere Lücken für den einfahrenden Verkehr zu schaffen - Entflechtung von Kollektiven unterschiedlicher Zielgeschwindigkeiten: langsamen Kfz wird ein Wechsel nach rechts empfohlen, schnelleren Kfz nach links		X
34	Hinweis Reißverschlussverfahren	An Fahrstreifenreduktionen werden Hinweise zum Fahrstreifenwechselverhalten gegeben: Wenn vor der Fahrstreifenreduktion fließender Verkehr herrscht, sollten Verkehrsteilnehmer frühzeitig vor der Fahrstreifenreduktion wechseln, bei dichtem Verkehr bzw. Stau sollte der Fahrstreifenwechsel unmittelbar vor der Fahrstreifenreduktion durchgeführt werden. In diesem Fall werden den Verkehrsteilnehmern auf dem benachbarten durchgehenden Fahrstreifen ein Hinweis zur kooperativen Fahrweise („Einfädeln lassen“) gegeben, s. auch [38].	(X)	X
35	Rettungsgassenhinweis	Dem Verkehrsteilnehmer wird im Falle eines Staus angezeigt, dass eine Rettungsgasse zu bilden ist und gibt Verhaltenshinweise in Abhängigkeit des aktuell befahrenen Fahrstreifens.		X
36	Zusätzliche Aufmerksamkeit erzeugen durch Warn- und Verhaltenshinweise	Neben den StVO-bezogenen Warnhinweisen (s. Nummern 11 und 12) können weitere Warnhinweise erhöhte Aufmerksamkeit des Fahrers erzeugen, z. B. „Hände weg vom Handy!“, „Bremsbereit sein!“, „Defensiv fahren!“, „Abstand konstant halten!“, „Vorausschauend fahren und Bremse sparsam einsetzen!“.		X
37	Hinweise zu verfügbaren Parkplätzen	Es werden Informationen zu verfügbaren Park- und Rastplätzen sowie der Anzahl der noch verfügbaren Stellplätze angegeben, entweder über entsprechende Aktorik an der Straße oder im Display des Fahrzeugs.	X	X
38	Sondertransport-Hinweis	Bei Annäherung an einen Sondertransport wird ein entsprechender Hinweis gegeben, Informationen dazu gegeben, ob der Sondertransport überholt werden kann (ggf. Einschränkungen für bestimmte Kfz-Typen) und Hinweise bzw. Vorgaben zur Geschwindigkeit gegeben.		X
39	Hinweise zum energieeffizienten Fahren	Verkehrsteilnehmern werden Verhaltensinformationen zum energieeffizienten Fahren gegeben, z. B.: „Geschwindigkeit halten“, „Tempomat nutzen“, „Zielgeschwindigkeit 100 km/h“, „Nicht beschleunigen“, zusammen mit einer entsprechenden Begründung (z. B. „Sprit sparen“, „Umweltressourcen schonen“).		X
40	Akustische/Visuelle Signale im Fahrzeug	Zusätzlich zu den ereignisbezogenen Warnhinweisen (s. Nummern 11 und 12 sowie 35) wird die Dringlichkeit durch akustische Signale oder visuelle Effekte (z. B. Blinken) verstärkt, z. B. in Abhängigkeit der Distanz zur Situation. Hinweis: dies sollte rein fahrzeugseitig ohne „Triggerung“ einer Zentrale umgesetzt werden und stellt damit im Sinne des Projekts nur eine indirekte Beeinflussungsstrategie zur Fahrerunterstützung dar.		X
41	Anweisungen über Text-to-Speech im Fahrzeug	Hinweise, die nicht durch entsprechende selbsterklärende Symbolik dargestellt werden können, oder textliche Hinweise (z. B. Routeninformationen) können über Text-to-Speech ins Fahrzeug übertragen werden und ggf. mehrfach wiederholt werden. Hinweis: dies sollte rein fahrzeugseitig ohne Triggerung einer Zentrale umgesetzt werden und stellt damit im Sinne des Projekts nur eine indirekte Beeinflussungsstrategie zur Fahrerunterstützung dar.		X

Tab. 6: Fortsetzung

4.6 Situations- und Maßnahmenkatalog

Zusammenfassend wird ein gemeinsamer Situations- und Maßnahmenkatalog als Erweiterung des in [3] aufgestellten Situations- und Maßnahmenkatalogs definiert. Darin werden die zu dem jeweiligen Anwendungsszenario vorgeschlagenen Beeinflussungsstrategien in Form einer Matrix zugeordnet, aus der sich ablesen lässt, mit welchen Beeinflussungsstrategien eine Reaktion auf welche Anwendungsszenarien möglich ist (s. Anhang 2).

4.7 Fazit

In Kapitel 4 wurden 44 Anwendungsszenarien definiert, in denen Mehrwert aus der Interaktion zwischen den Systemen VBA und C2I generiert werden kann. Die Anwendungsszenarien decken den kompletten Fahrtverlauf vom Einfahren auf die Autobahn bis zum Verlassen ab.

Wesentliche Komponenten dieser Anwendungsszenarien im Sinne der Verkehrssteuerung sind die Detektion der darin beschriebenen Situationen (Datenerfassung, s. Kapitel 4.4) und die daraufhin umzusetzenden Maßnahmen (Beeinflussungsstrategien, s. Kapitel 4.5) zur Bewältigung der Situation.

Bei der Bewertung der Umsetzbarkeit der Datenerfassung bzw. der Beeinflussungsstrategien im System C2I wurde davon ausgegangen, dass das System flächendeckend und für das gesamte Fahrzeugkollektiv (Vollausstattung) zur Verfügung steht. Dabei ist zu beachten, dass über einen langen Zeitraum nach Markteinführung von C2I ein Mischverkehr aus ausgestatteten und nicht ausgestatteten Fahrzeugen bzw. Fahrzeugen mit unterschiedlicher Ausstattungsprägung (die nur einen Teil der möglichen Funktionalität abdeckt) zu erwarten ist. Dieser Umstand wird die Umsetzbarkeit und den Nutzen der beschriebenen Anwendungsszenarien einschränken und dazu führen, dass bestimmte Anwendungsszenarien nicht sinnvoll eingesetzt werden können. Manche der beschriebenen Anwendungsszenarien sind erst bei Vollausstattung umsetzbar. So ist das System C2I nach dem aktuellen Stand der Standardisierung nur bei Vollausstattung des gesamten Fahrzeugkollektivs in der Lage, die zur Verkehrsbeeinflussung relevanten Kenngrößen wie Verkehrsstärke und Verkehrsdichte zuverlässig zu erheben.

Bei der Bewertung der Umsetzbarkeit der Datenerfassung bzw. der Beeinflussungsstrategien im System VBA wurde davon ausgegangen, dass eine klassische Ausstattung gemäß MARZ bzw. dem Stand der Technik (inkl. z. B. Seitenstreifenfreigabe, Zuflussregelung) vorliegt. Manche sinnvollen Erweiterungen könnten auch über eine erweiterte Ausstattung der VBA (VBA+) realisiert werden. Der Erweiterung sind aber Grenzen gesetzt. Beispielsweise ist eine räumliche Erweiterung im gleichen Funktionsumfang wirtschaftlich vertretbar, wenn ein entsprechender Nutzen nachgewiesen werden kann. Eine Umrüstung der Bestandssysteme beispielsweise um zusätzliche Schildinhalte erscheint aber wirtschaftlich nicht angemessen. Eine Verdichtung der Sensorik und Aktorik muss ebenfalls zunächst wirtschaftlich bewertet werden. Eine softwareseitige Funktionserweiterung erscheint jedenfalls wirtschaftlich angemessen und daher umsetzbar.

Eine wirtschaftliche Bewertung der Umsetzbarkeit ist im Rahmen dieses Projekts nicht leistbar. Voraussetzungen einer solchen Bewertung sind die Aufstellung von Anforderungen an die beteiligten Systeme (s. Kapitel 5 für Anforderungen an das System C2I und Kapitel 6 für Anforderungen an das System VBA) sowie eine Einschätzung der Prioritäten der beschriebenen Erweiterungen im Sinne von Handlungsempfehlungen (s. Kapitel 7).

5 Anforderungen an die C2I-Technologie

5.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden, aufbauend auf den in Kapitel 3 gesammelten Potenzialen und in Kapitel 4 erarbeiteten Anwendungsszenarien und Beeinflussungsstrategien, die Anforderungen an den C2I-Systemverbund (vgl. Bild 19) zusammengestellt, die zur Umsetzung der Szenarien erfüllt werden müssen. In diesem Zug werden Datenanforderungen mit der Verfügbarkeit gemäß entsprechender Standards abgeglichen, um eventuell zu überkommene Hindernisse und Datenlücken zu identifizieren. Die funktionalen Aspekte der Verkehrssteuerung unter Einbezug von C2I stehen dabei stets im Fokus.

Es wird zwischen Aspekten der Sensorik (Situationserkennung) und Aktorik (Informationsverbreitung/Verkehrsbeeinflussung) unterschieden.

5.2 Sensorik

5.2.1 Datenelemente

Die hier behandelten erforderlichen, fahrzeugseitig bereitgestellten Datenelemente beziehen sich auf den Fall, dass diese in der zentralenseitigen (C-ITS-S) Situationserkennung verwendet werden. Die hier geforderten Datenelemente werden den fahrzeugseitig verfügbaren Datenelementen gegenübergestellt. In Kapitel 3 wurden – in Zusammenarbeit mit Straßenbetreibern – Potenziale der C2I-Technologie erarbeitet, welche sowohl die Datenerfassung und Situationserkennung als auch die Verkehrsbeeinflussung betreffen. Dieses Unterkapitel adressiert die Basispotenziale B1-B10, sowie die Funktionspotenziale F3-F6 und das abstrakte Potenzial A3, da sich diese auf die Datenerfassung beziehen und sich somit Anforderungen an die C2I-

Technologie bzgl. der erforderlichen Datenelemente ergeben.

Tabelle 7 enthält die aus den Potenzialen und Szenarien extrahierten Datenelemente. Es werden mögliche Verwendungsmöglichkeiten gelistet und kommentiert. Die Nutzbarkeit der Daten zur Situationserkennung ist abhängig von der Ausstattungsrate an sendenden Fahrzeugen. Es müssen Applikationen entwickelt werden, welche alle genannten Elemente aggregieren und in einem zu spezifizierenden Situationserkennungsverfahren verarbeiten können. Darüber hinaus ergibt sich die (funktionale) Anforderung an die flächendeckende Verfügbarkeit der gelisteten Daten. Da es sich bei Sensordaten um hochfrequente Datenströme handelt, können diese nicht über zellulare Technologien übertragen werden, was eine hinreichende Abdeckung mit ITS-G5-basierten R-ITS-S erforderlich macht.

Anforderung	Applikationen im C2I-Systemverbund müssen mindestens folgende Datenelemente verarbeiten können:	Kommentar	in CAM/DENM potenziell bereitgestellt (j/n)
AFO_C2I_sens_001	Fahrzeuggeschwindigkeit	Direktmessung im Detektionsbereich, bei Vorliegen mehrerer Messwerte: stat. Aggregate, Std.-Abw. --> Aufschluss auf Reisezeit. Niedrige Geschwindigkeitswerte durch falsches Matching auf Rampe filtern. Rückschluss auf Verkehrszustand durch Abgleich über Verkehrsstärkemessung aus lokaler Detektion. Wert niedrig: gebundener Verkehr oder freier Verkehr oder Kolonne. Wert hoch: freier Verkehr oder sicherheitskritischer Verkehrszustand – beide sind nicht zu unterscheiden	j
AFO_C2I_sens_002	Fahrzeugposition	Erkennung von: Dichteverteilung, evtl. Routenwahl (Befolungsgrad NBA). Nutzen stark abhängig von Ausstattungsrate. Matching auf Fahrstreifen mit GPS nicht zuverlässig	j
AFO_C2I_sens_003	Fahrtrichtungsanzeiger	Erkennung von: Fahrstreifenwechseln, Hindernissen bei lokal gehäufte Blinkeraktivität in eine Richtung, kritische Situationen in Verflechtungsbereichen	j
AFO_C2I_sens_004	Längsbeschleunigung	Erkennung von: Stauanfang und -ende, gefährliche Stauende, Kollisionen	j
AFO_C2I_sens_005	Querbeschleunigung	Erkennung von: gefährlichen Situationen in Kurvenfahrten, Ausweichmanöver (Unfall, Hindernis)	j
AFO_C2I_sens_006	Vertikalbeschleunigung	Erkennung von: Schäden der Straßendeckschicht, Blowups: Gefahrenwarnung (speziell für Krad), Planung Sanierungsmaßnahmen	j
AFO_C2I_sens_007	Fahrzeugart	Lkw-Anteil, statistische Zwecke, NBA-Maßnahmen	j
AFO_C2I_sens_008	Reisezeit	Direktmessung der streckenbezogenen Reisezeit für NBA-Zwecke. Direktmessung stellt Zustand in jüngster Vergangenheit dar	n
AFO_C2I_sens_009	Routenziel und geplante Route	Prognose von Überlastungen in bestimmten Gebieten, NBA-Beeinflussung einzelner Fahrzeuge oder Kollektivrouting.	n
AFO_C2I_sens_010	Umfeldtemperatur	Rückschluss auf Blowup-Gefahr: Gefahrenwarnung (speziell für Krad), Planung Sanierungsmaßnahmen	j
AFO_C2I_sens_011	Scheibenwischeraktivität	Rückschluss auf Aquaplaninggefahr, Regenintensität (Sicht), Korrelation WFD. nur Aggregate verwenden wegen vereinzelter Einsatzes der Spritzwasseranlage	n
AFO_C2I_sens_012	Nebelscheinwerfer/-schlussleuchten	Rückschluss auf Sichtweite (grobe Abschätzung). nur Aggregate verwenden	j

Tab. 7: Datenanforderungen für die Situationserkennung

Anforderung	Applikationen im C2I-Systemverbund müssen mindestens folgende Datenelemente verarbeiten können:	Kommentar	in CAM/DENM potenziell bereitgestellt (j/n)
AFO_C2I_sens_013	Heading	In Verbindung mit Position für Mapmatching benötigt	j
AFO_C2I_sens_014	Lenkradwinkel	Hinweis auf: Ausweichmanöver, Fahrstreifenwechsel. Mapmatching (Krümmung Trasse)	j
AFO_C2I_sens_015	Fahrspur	Mapmatching, in Verbindung mit Geschwindigkeit: Differenz zu benachbarten Fahrstreifen	j
AFO_C2I_sens_016	Weglücke zum Vorderfahrzeug	TTC (nur in Kombination mit sens_018) Verkehrsdichte	n
AFO_C2I_sens_017	Zeitlücke zum Vorderfahrzeug	TTC, Erkennung kritischer Situationen, Verkehrsstärke	n
AFO_C2I_sens_018	Relativgeschwindigkeit zum Vorderfahrzeug	TTC (nur in Kombination mit Sens016), Erkennung kritischer Situationen	n
AFO_C2I_sens_019	ABS-Aktivität	Erkennung von kritischen Situationen, Umfeldbedingungen, Rückschluss auf Straßenzustand	j
AFO_C2I_sens_020	Gierrate	Erkennung kritischer Situationen	j
AFO_C2I_sens_021	Trajektorien	Ableitung von: räumlich-zeitlichem Verkehrszustand (stark abhängig von Ausstattungsrate), Reisezeit. Abgeleitete Werte der Reisezeit beziehen sich auf jüngste Vergangenheit	j
AFO_C2I_sens_022	Sichtweite	Sichtweite	n
AFO_C2I_sens_023	ESP-Aktivität	Erkennung kritischer Situationen, Umfeldbedingungen, Rückschluss auf Straßenzustand	j
AFO_C2I_sens_024	Bremsdruck	Erkennung kritischer Situationen, Stauende. Hohe Werte durch falsches Matching auf Rampe filtern	n
AFO_C2I_sens_025	Bremsbetätigung	Erkennung kritischer Situationen, Stauende, gestörter Verkehr	j
AFO_C2I_sens_026	Gaspedalbetätigung	Erkennung stromabwärtige Staufront	j
AFO_C2I_sens_027	Notbremsung	Erkennung kritischer Situationen, Sicherheitsdefizite	j
AFO_C2I_sens_028	Seitenradar (Entfernung zum Nebenfahrzeug)	Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Fahrstreifen (qualitativ)	n
AFO_C2I_sens_029	Kurvigkeit	Erkennung gefährlicher Infrastrukturverhältnisse, Erkennung kritischer Situationen	j

Tab. 7: Fortsetzung

Daneben können V-ITS-S auch eigenständig Situationen erkennen. Das C2CCC spezifiziert in [22], [23], [24] und [25] Auslösebedingungen im Sinne von Sensordatenschwellenwerten und -kombinationen, die die fahrzeugseitigen Applikationen zur Generierung entsprechender DENMs implementiert. Die zentralenseitigen Applikationen müssen in der Sensorik diese Datenelemente – Cause Codes, Sub Cause Codes und Qualitätsindizes der Informationsgüte – verarbeiten können. Die Anforderungen sind in Tabelle 8 gelistet.

5.2.2 Abgleich mit verfügbaren Standards

Die hier auf Seiten der Datenerfassung behandelten Standards sind die Spezifikationen CAM [8], DENM [9] und das Common Data Dictionary [7]. Diese sind finalisiert und frei verfügbar. In Anhang 5 und 6 sind die Datenstrukturen dieser Nachrichtenformate bis auf die atomaren Datenelemente aufgeschlüsselt dargestellt, wobei optionale und verpflichtende Datenelemente farblich gekennzeichnet sind. In Tabelle 7 ist in der letzten Spalte vermerkt, ob das gewünschte Datenelement gemäß den derzeitigen Standards verpflichtend, optional oder nicht verfügbar sein wird.

Anforderung	Applikationen im C2I-Systemverbund müssen folgende CauseCodes und deren SubCauseCodes verarbeiten und verorten können:
AFO_C2I_sens_030	trafficCondition (1) (Verkehrszustand)
AFO_C2I_sens_031	accident (2) (Unfall)
AFO_C2I_sens_032	roadworks (3) (Baustelle)
AFO_C2I_sens_033	AdverseWeatherCondition-Adhesion (6) (Fahrbahnzustand/-griffigkeit)
AFO_C2I_sens_034	HazardousLocation-ObstacleOnTheRoad (10) (Hindernis auf der Straße)
AFO_C2I_sens_035	wrongWayDriving (14) (Falschfahrer)
AFO_C2I_sens_036	AdverseWeatherCondition-ExtremeWeatherCondition (17) (extreme Wetterverhältnisse)
AFO_C2I_sens_037	AdverseWeatherCondition-Visibility (18) (eingeschränkte Sicht)
AFO_C2I_sens_038	AdverseWeatherCondition-Precipitation (19) (Niederschlag)
AFO_C2I_sens_039	slowVehicle (26) (langsames Fahrzeug)
AFO_C2I_sens_040	dangerousEndOfQueue (27) (gefährliches Stauende)
AFO_C2I_sens_041	hazardousLocation-DangerousCurve (96) (gefährliche Kurve)
AFO_C2I_sens_042	collisionRisk (97) (sicherheitskritischer Verkehrszustand, Kollisionsgefahr)
AFO_C2I_sens_043	dangerousSituation (99) (gefährliche Situation, z. B. ESP-Eingriff)

Tab. 8: Zu verarbeitende DENM-Cause codes

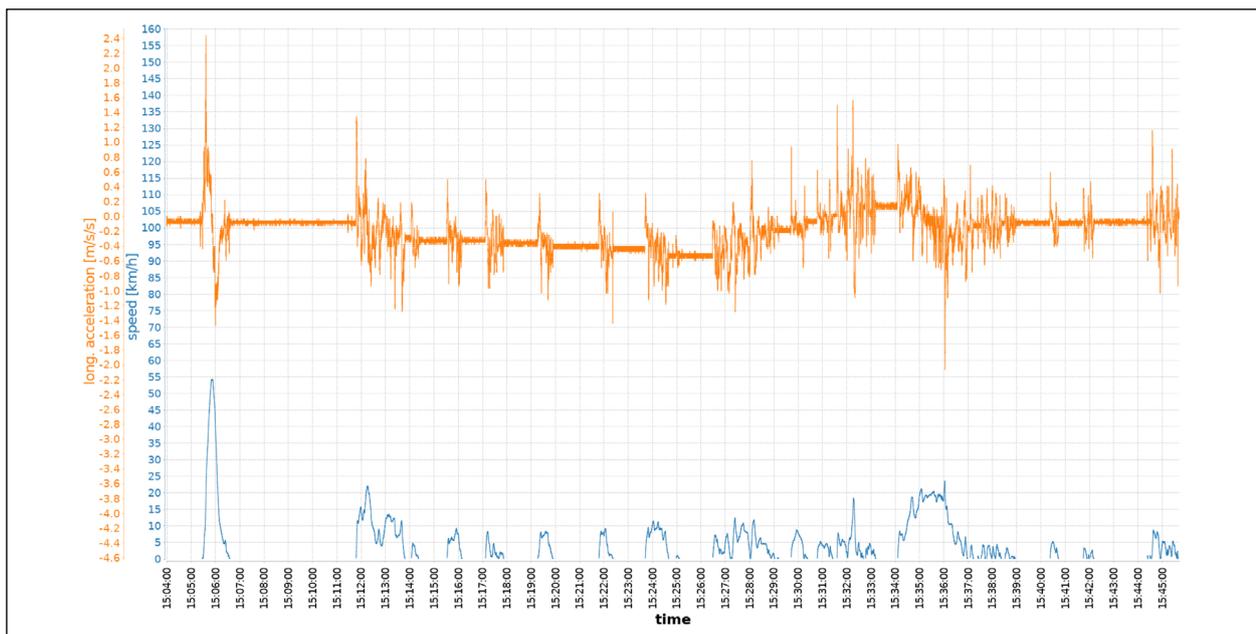


Bild 23: Systematische Sensorfehler der Längsbeschleunigung (orange), blau: Geschwindigkeit, Quelle: simTD-Datensatz, eigene Darstellung

5.2.3 Datenqualität

Die der Datenerfassung vor dem Versenden von Nachrichten zugrundeliegenden fahrzeugseitigen Systeme bestehen aus verschiedenartigen Sensoren (RADAR, LIDAR, Gyroskop etc.) verschiedener Zulieferer, die über den CAN-Bus mit der On-Board-Unit des Fahrzeugs vernetzt sind. Die hier auflaufenden Datenströme speisen die Messwerte, die in CAM/DENM-Nachrichten enthalten sind. Über die Qualität, Genauigkeit und das Rauschen der Daten der einzelnen Sensoren verschiedener Hersteller sowie Filterung im fahrzeugseitigen Subsystem

kann hier keine Aussage getroffen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Produkte verschiedener Hersteller mit unterschiedlichen systematischen Fehlern behaftet sind. Das Bild 23 zeigt die ungefilterten Messwerte eines Längsbeschleunigungssensors, der bei Fahrzeugstillstand jeweils unterschiedliche Werte liefert. Als funktionale Anforderung (siehe Kapitel 5.2.5) an diese Applikationen im C2I-Systemverbund sollte hier formuliert werden, dass diesen systematischen Fehler in der Datenaufbereitung in geeigneter Form Rechnung getragen werden muss.

Es gibt gemeinsame Bestrebungen unter den Fahrzeugherstellern im C2CCC, einen vergleichbaren Qualitätsstandard herstellerübergreifend für den C2I-Systemverbund zu garantieren. Neben definierten Regeln für die Erzeugung ereignisbasierter DENM-Nachrichten (siehe Triggering Conditions, beispielsweise [22]) befasst sich das Consortium mit Qualitätsanforderungen an die Verortung (Position and Timing – PoTi [41]). Die entsprechende ETSI-Spezifikation [42] ist zu diesem Zeitpunkt

noch nicht verfügbar. Aus Sicht des C2I-Systemverbunds besteht an die fahrzeugseitige Detektion die Anforderung einer hochgenauen Verortung, um auf einzelne Fahrstreifen mapmatchen zu können. Die technische Auswertung im Projekt sim^{TD} hat – unter Annahme einer maximal zulässigen mittleren Realwertabweichung von 1,5 m für spurgenaues Matching – einen tatsächlichen Wert von etwa 3 m im Mittel für die verbauten GPS-Antennen ermittelt. Dies genügt nicht den Anforderungen in diesem

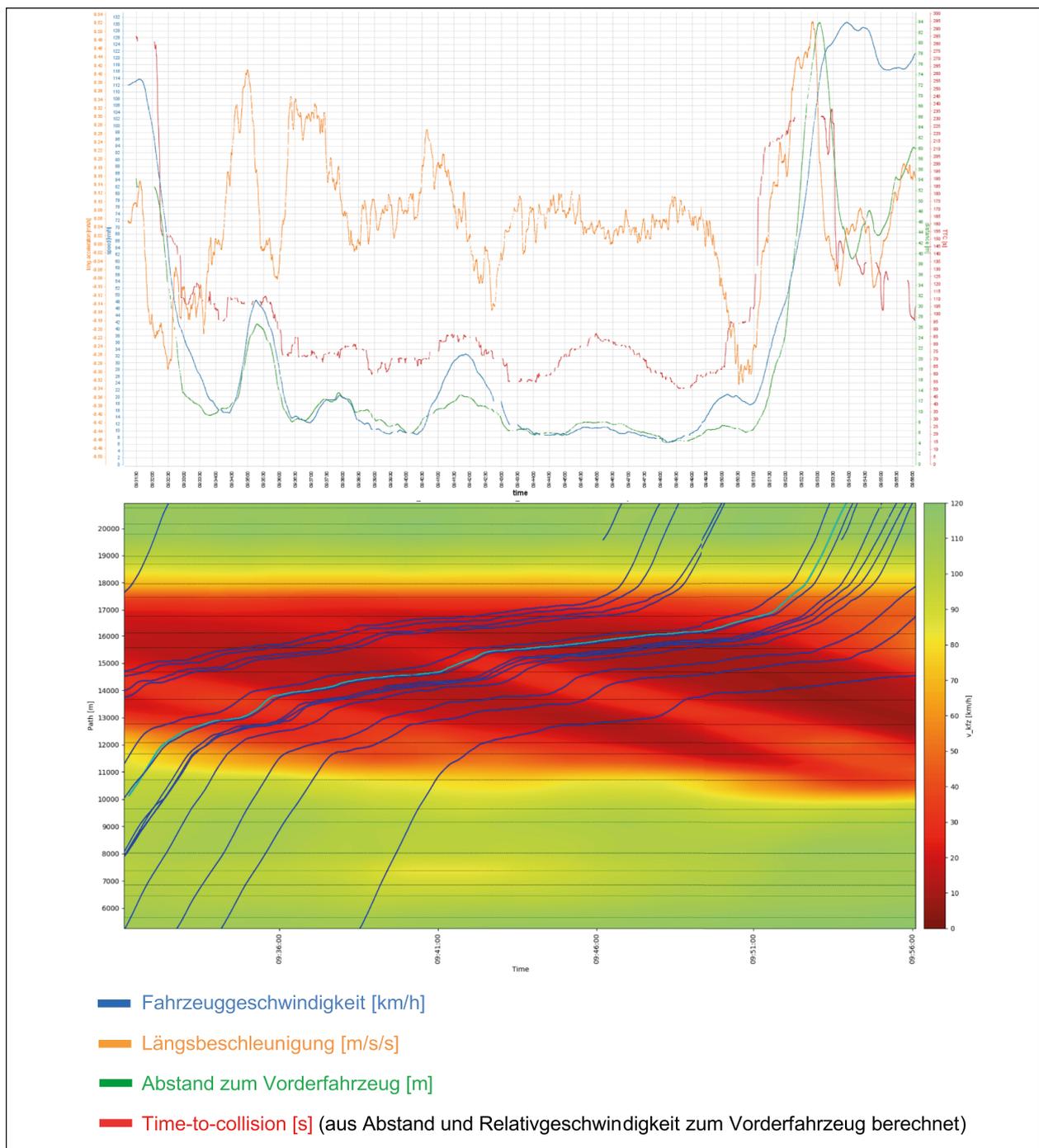


Bild 24: Trajektorien (unten) und Sensormesswerte eines Fahrzeugs (oben) beim Durchfahren einer Situation (Stau Hauptfahrbahn), Quelle: sim^{TD}-Datensatz, eigene Darstellung

Kontext. Die aktuelle Forschung auf dem digitalen Testfeld BAB 9 stellt allerdings eine zentimetergenaue Ortung unter Zuhilfenahme von Radar und Videokameras durch Abgleich mit Umfeldobjekten auf hochgenauen digitalen Karten in Aussicht.

Für Messwerte wie z. B. Geschwindigkeit und Beschleunigung, die in CAM-Nachrichten enthalten sind, definiert [7] neben dem eigentlichen Messwert einen Qualitätsbeiwert in Form eines Konfidenzniveaus. Der Beiwert ist nicht optional. Die Nichtverfügbarkeit eines Beiwerts kann in allen Fällen auf schlechte Sensorqualität oder einen CAN-Bus-Fehler zurückzuführen sein. Applikationen im C2I-Systemverbund müssen die Konfidenzniveaus der Einzelmesswerte im Aggregierungsprozess verarbeiten können und in der Situationsermittlung berücksichtigen.

5.2.4 Datenverarbeitung

Für die in der Anforderungsliste (Tabelle 7) aufgeführten Messgrößen müssen Korrelationsanalysen durchgeführt werden, um die charakteristischen Verläufe der Zeitreihen mit den vorherrschenden verkehrlichen Zuständen bzw. Situationen in Zusammenhang bringen zu können. An dieser Stelle ergibt sich gesonderter Forschungsbedarf. Ein illustratives Beispiel der (geglätteten) Zeitreihen verschiedener Fahrzeugsensoren für das Szenario „Hauptfahrbahn – Überlastungsstau“ ist in Bild 24 gegeben, welches die dort benannten Messgrößen eines Fahrzeugs des Gesamtkollektivs beim Durchfahren der Situation darstellt (oberer Teil Bild 24).

Die räumlich durchgängige Sensorik der Fahrzeuge könnte in der Situationsermittlung genutzt werden. Forschungsbedarf besteht hier in der Entwicklung neuer Applikationen (Algorithmen in der Situationserkennung), da die in der VBA-Algorithmik zentral verwendete Größe Verkehrsstärke $[Fz/h]$ nicht verfügbar sein wird. Hierin besteht eine weitere funktionale Anforderung an den C2I-Systemverbund (Tabelle 9).

5.2.5 Funktionale Anforderungen

Der C2I-Systemverbund wird in diesem Kontext in die Bestandteile Fahrzeug, straßenseitige Infrastruktur und kooperative Zentrale unterteilt. Die funktionalen Anforderungen betreffen nicht das Fahrzeug, da dieses lediglich Daten liefert. Die weitere Datenverarbeitung steht hier im Vordergrund. In der Zentrale erfolgt die Situationserkennung an-

hand der eingehenden Messwerte und Aggregate fahrzeugseitigen Ursprungs. Der C2I-Systemverbund erlaubt die flächendeckende Erfassung der Messwerte. Entsprechend muss das System eine räumliche, fahrstreifenfeine Diskretisierung des zu behandelnden Netzes vorhalten. Die so entstehenden Streckenabschnitte dienen im Kontext der Sensorik als Detektionszonen. Die GIS-basierte Verortung dieser Zonen sollte im zentralenseitigen System variabel sein, sodass bei Bedarf Zonen geringerer Länge konfiguriert werden können. Dies betrifft auch die zeitliche Länge des Aggregationsintervalls. Ob die nötigen Aggregationen in den R-ITS-S oder zentralenseitig erfolgen spielt hierbei eine untergeordnete Rolle. Es muss letztlich ein räumlich-zeitlich anpassbares Detektionsnetz entstehen. Vor allem für Reisezeiterhebungen sollte das System prinzipiell in der Lage sein, die Streckenabschnitte dynamisch zu definieren. Diese können dem Fahrzeugkollektiv (also der Sensorik) dann über R-ITS-S mitgeteilt werden, sofern das fahrzeugseitige System eine solche Funktionalität unterstützt. Es existieren konzeptionelle Überlegungen für ein entsprechendes Nachrichtenformat (Probe data management – PDM), es ist allerdings fraglich, ob dieses in die Praxis überführt wird. Das System muss in der Lage sein, für erkannte Situationen einen Vertrauenswert zu quantifizieren. Hier sollten beispielsweise die Anzahl an Daten liefernden Fahrzeugen, externe Informationen oder empfangene DENMs mit eingehen.

Im Falle ereignisbasierter Nachrichten – vor allem bei Gefahrenwarnungen – die ihren Ursprung im Fahrzeug haben, müssen Anforderungen an die Richtigkeit der Information gestellt werden. Diese können jedoch nicht quantitativ ausgedrückt werden. Der Situation Container einer DENM enthält das optionale Datenelement „informationQuality“. In [9] wird dieses beschrieben als „Wahrscheinlichkeit, dass der Event an der angegebenen Position tatsächlich existiert“. Der Wertebereich umfasst 0 (unknown), 1 (lowest) bis 7 (highest). Bezüglich der Verlässlichkeit der Information können die Regeln zur Auslösung einer fahrzeugseitigen Situationserkennung, wie sie in den Dokumenten „Triggering Conditions and Data Quality“ ([22], [23], [24], [25]...) aufgeführt sind, zur Orientierung dienen. Applikationen im C2I-Systemverbund müssen diese Qualitätsindizes in der Situationserkennung berücksichtigen können.

	Applikationen im C2I-Systemverbund müssen:
AFO_C2I_sens_044	Detektions- und Aggregationszonen fahstreifenfein räumlich variabel und zeitlich dynamisch anpassen.
AFO_C2I_sens_045	Die in einer Detektionszone empfangenen Daten in einem parametrierbaren Zeitintervall aggregieren.
AFO_C2I_sens_046	Zufahrts- und Abfahrtsrampen in der Detektion abdecken.
AFO_C2I_sens_047	Eine variable räumliche, fahstreifenfeine Diskretisierung des Straßennetzes vorhalten.
AFO_C2I_sens_048	Eine On-the-fly-Mapmatching Funktionalität besitzen.
AFO_C2I_sens_049	Die in bestimmten Bereichen gewünschten Messgrößen dem Fahrzeugkollektiv mitteilen können.
AFO_C2I_sens_050	Eine Plausibilisierung eingehender Messwerte aus den Fahrzeugen oder Aggregaten durchführen.
AFO_C2I_sens_051	Einen Zuverlässigkeitsbeiwert für erkannte Situationen bereitstellen.
AFO_C2I_sens_052	Alle standardisierten Cause-Codes und Sub-Cause-Codes (DENM) verarbeiten können.
AFO_C2I_sens_053	Die Qualitätsbeiwerte fahrzeugseitig generierter DENMs verarbeiten und deuten können, um im Situationsabgleich mit dem System VBA eine Gewichtung der ermittelten Situation bereitstellen zu können.
AFO_C2I_sens_054	Die Konfidenzwerte der Sensormesswerte in fahrzeugseitig generierten CAMs verarbeiten und deuten können, sowie in der Aggregation berücksichtigen.
AFO_C2I_sens_055	Potenzielle systematische Fehler der Fahrzeugsensorik berücksichtigen.
AFO_C2I_sens_056	Befolungsraten (NBA) und Reisezeiten aus dem Fahrzeugkollektiv ermitteln ohne die Pseudonymisierung einzelner Fahrzeuge zu verletzen.
AFO_C2I_sens_057	Eine flächendeckende Datenverfügbarkeit durch Detektion (R-ITS-S) ermöglichen.
AFO_C2I_sens_058	Geeignete Verfahren zur Situationsermittlung implementieren.
AFO_C2I_sens_059	Die vom C2CCC formulierten Triggering Conditions und zentralenseitig in der Situationserkennung eingesetzte Triggering Conditions abgleichen.

Tab. 9: Funktionale Anforderungen an das System C2I

Ähnlich dem VBA-System muss der C2I-Systemverbund alle erhaltenen Daten plausibilisieren und ggfs. Ersatzwerte erschließen können.

Die bisher definierten Triggering Conditions (im Sinne der Identifikation und Klassifikation von Verkehrszuständen und -störungen) sind mit entsprechenden Definitionen des VBA-Umfelds abzugleichen (z. B. „Wann ist ein Stau ein Stau?“) und ggf. zu harmonisieren, um ein gemeinsames Verständnis und Entscheidungsgrundlagen zu schaffen.

Tabelle 9 listet die funktionalen Anforderungen an das System C2I.

5.3 Aktorik

5.3.1 Datenelemente

Um die Beeinflussungsstrategien aus Kapitel 4.5 umsetzen zu können, müssen die entsprechenden Informationen in Form von Piktogrammen und/oder textbasiert kodiert und an das Fahrzeug übermittelt werden. Die hier behandelten Datenelemente orientieren sich vorwiegend an den Standards der Nachrichtenformate, die prinzipiell beliebige Informationen ins Fahrzeug übertragen können. Für die Verkehrsbeeinflussung sind in diesem Kontext DENM und insbesondere IVIM zu nennen. Auf den

Bedarf der Erweiterung oder Anpassung dieser Standards wird in Kapitel 5.3.4 hingewiesen.

DENMs eignen sich in erster Linie für Gefahrenwarnungen, die in den Anwendungsszenarien adressiert sind. Gefahrensituationen werden durch Zahlenkodierungen dargestellt (CauseCodes) und durch weitere Kodierung konkretisiert (SubCauseCodes), welche in Anhang 7 zur Erläuterung aufgeschlüsselt dargestellt sind. Zu beachten ist hierbei, dass es dem C2I-Systemverbund dadurch lediglich ermöglicht wird, die Information ins Fahrzeug zu bringen. Es ist nicht festgelegt, wie die tatsächliche fahrzeuginterne Anzeige aussieht. Dies ist herstellerabhängig. An dieser Schnittstelle besteht ggfs. Harmonisierungsbedarf, um eine (international) abgestimmte Symbolik zu definieren. Als Anforderung an das System C2I ergibt sich, dass die Applikationen in der Zentrale und im Fahrzeug die benötigten Kodierungen vorhalten und auf die anliegenden Situationen georeferenziert und inhaltlich abbilden muss (Tabelle 10).

Zum Zweck durchgehender Streckenbeeinflussung und punktueller Knoten und Netzbeeinflussung muss IVI zum Einsatz kommen, da mit dieser Nachricht Piktogrammkodierungen und beliebige Textnachrichten übertragen werden können (vgl. Kapitel 5.3.2). Da es sich bei den Inhalten nicht zwangsläufig um Gefahrenwarnungen, sondern vielmehr um

IVI	Applikationen im C2I-Systemverbund müssen georeferenzierte IVI-Nachrichten erzeugen und bereitstellen können, im Speziellen folgende Datencontainer:
AFO_C2I_akt_001	GeographicLocationContainer
AFO_C2I_akt_002	GeneralIVIContainer
AFO_C2I_akt_003	RoadConfigurationContainer
AFO_C2I_akt_004	TextContainer
DENM	Applikationen im C2I-Systemverbund müssen georeferenzierte DENM-Nachrichten erzeugen und bereitstellen können und im Speziellen folgende CauseCodes abbilden:
AFO_C2I_akt_005	trafficCondition (1) (Verkehrszustand)
AFO_C2I_akt_006	accident (2) (Unfall)
AFO_C2I_akt_007	roadworks (3) (Baustelle)
AFO_C2I_akt_008	AdverseWeatherCondition-Adhesion (6) (Fahrbahnzustand/-griffigkeit)
AFO_C2I_akt_009	HazardousLocation-ObstacleOnTheRoad (10) (Hindernis auf der Straße)
AFO_C2I_akt_010	wrongWayDriving (14) (Falschfahrer)
AFO_C2I_akt_011	AdverseWeatherCondition-ExtremeWeatherCondition (17) (extreme Wetterverhältnisse)
AFO_C2I_akt_012	AdverseWeatherCondition-Visibility (18) (eingeschränkte Sicht)
AFO_C2I_akt_013	AdverseWeatherCondition-Precipitation (19) (Niederschlag)
AFO_C2I_akt_014	slowVehicle (26) (langsames Fahrzeug)
AFO_C2I_akt_015	dangerousEndOfQueue (27) (gefährliches Stauende)
AFO_C2I_akt_016	hazardousLocation-DangerousCurve (96) (gefährliche Kurve)
AFO_C2I_akt_017	collisionRisk (97) (sicherheitskritischer Verkehrszustand, Kollisionsgefahr)

Tab. 10: Anforderungen an IVI- und DENM-Erzeugung

regulative Maßnahmen handelt, ist die einheitliche und klar verständliche Darstellungsform in diesem Fall umso wichtiger. Diese Thematik wird in Kapitel 5.3.4 adressiert. Auf Datenebene ergeben sich – wie im Falle von DENM – Anforderungen an die situationsgerechte und georeferenzierte Erstellung der Nachrichten. Tabelle 10 enthält die Anforderungen an Datenelemente in tabellarischer Form.

5.3.2 Abgleich mit verfügbaren Standards

Die hier auf Seiten der Aktorik behandelten Standards sind neben [9] die IVI-Spezifikation aus dem Projekt Eco-AT [33] sowie das Dictionary of in-vehicle information von ISO [44]. Letzteres beschreibt die Containerstruktur der Nachrichten. Neben dem obligatorischen ItsPduHeader (vgl. z. B. Kapitel 2.3.1.2) und dem ManagementContainer, der wichtige Metadaten wie beispielsweise die zeitliche Gültigkeit der Nachricht enthält, sollen die wichtigsten optionalen Container hier kurz illustriert werden:

- **GeographicLocationContainer:** Enthält Basisinformationen betreffend andere Container in der Nachricht, codiert in verschiedenen räumlichen Referenzierungssystemen.
- **GeneralIVIContainer:** enthält Informationen über „relevance zones“ (Zonen in denen z. B. eine

Geschwindigkeitsbeschränkung gültig ist), „driver awareness zones“ (Strecken im Zulauf zur relevance zone, in denen ein Fahrer z. B. ein Verkehrszeichen wahrnehmen kann), Status der Fahrstreifen (gesperrt etc.), Fahrzeugtyp, für den die Nachricht gültig ist, restriktive/informative Verkehrszeichen im Gültigkeitsbereich, Fahrstreifen für die die Nachricht gültig ist, zusätzliche Textanzeigen etc.

- **RoadConfigurationContainer:** Informationen über Straßentyp und Fahrspurkonfigurationen („gesperrt“ für bestimmte Fahrzeugtypen etc.)
- **TextContainer:** Textnachrichten für eine relevance zone, fahrstreifenfein

Die verfügbaren Standards erlauben es, differenzierte Informationen abzubilden und so zielgerichtet Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen umzusetzen. Vor allem der „TextContainer“ eignet sich, beliebige Hinweise und Ratschläge in Form von prägnanten Textbausteinen in die Fahrzeuge zu übermitteln. Daneben muss die Anforderung gestellt werden, Piktogramme der statischen Beschilderung sowie dynamischen Anzeigequerschnitten zur Anzeige im Fahrzeug in den Nachrichten kodieren zu können. Zu diesem Zweck wird in [45] ein Katalog standardisiert, in dem die Piktogramme der Verkehrsbeschilderung

derung eindeutig kodiert sind. Laut [33] umfasst der Standard derzeit hauptsächlich die statische Beschilderung, befindet sich jedoch in aktiver Bearbeitung und wird künftig auch dynamische Anzeigequerschnitte (inhaltlich) mit einbeziehen. Darüber hinaus soll der Katalog künftig elektronisch bearbeitbar bzw. ergänzbar gemacht werden.

In Anhang 8 ist die Datenstruktur der IVI bis auf die atomaren Datenelemente aufgeschlüsselt dargestellt.

5.3.3 Funktionale Anforderungen

Die Anzeige, die ein Verkehrsteilnehmer auf dem HMI zu sehen bekommt, muss in jedem Fall mit den VBA-Anzeigequerschnitten inhaltlich konsistent sein. Solange keine Vollausrüstung vorliegt, muss die zeitliche und räumliche Gültigkeit der HMI-Anzeige, die in den IVI-Nachrichten kodiert ist, zentralseitig starr an die aktuellen Schaltzustände der Anzeigequerschnitte gekoppelt sein. Bei Vollausrüstung können dann ortsfeine Informationen an das HMI übertragen werden, was den Mehrwert zusätzlich erhöht. Die HMI-Anzeige darf nur in Form von erläuternder oder empfehlender Zusatzinformation die regulativen Verkehrszeichen ergänzen und somit von den Anzeigequerschnitten abweichen. Neben der Koppelung der IVI-Relevanzzonen an die Gültigkeitsbereiche der statischen VBA (Bild 25) muss das zentralseitige C2I-System in der Lage sein, die Relevanzzonen dynamisch anzupassen und somit auf sich (räumlich-zeitlich) verändernde Situationen abzustimmen (Bild 26). Die Relevanzzonen können sich dabei über mehrere Knotenpunkte erstrecken (Gefahrenwarnung im Zulauf zu einer Situation, NBA etc.). Diese dynamische Georeferenzierung geht über die heutigen VBA-Algorithmen hinaus und erfordert die Entwicklung entsprechender Applikationen.

Zentralseitige C2I-Applikationen müssen in Gebieten ohne VBA in der Lage sein, die vom System VBA ermittelten Situationen und Maßnahmen den entsprechenden Zonen (Awareness, Relevance) zuzuordnen und entsprechende zu übermittelnde Anzeigen für das Fahrzeug zu generieren. Darüber hinaus muss es einem Operator ermöglicht sein, Zonen und Schaltbilder manuell zu generieren, z. B. bei Vorliegen extern gemeldeter Situationen.

Es empfiehlt sich für einfache häufig wiederkehrende Störungen im Hinblick auf die Einrichtung einer automatischen, virtuellen VBA, eine Bibliothek an

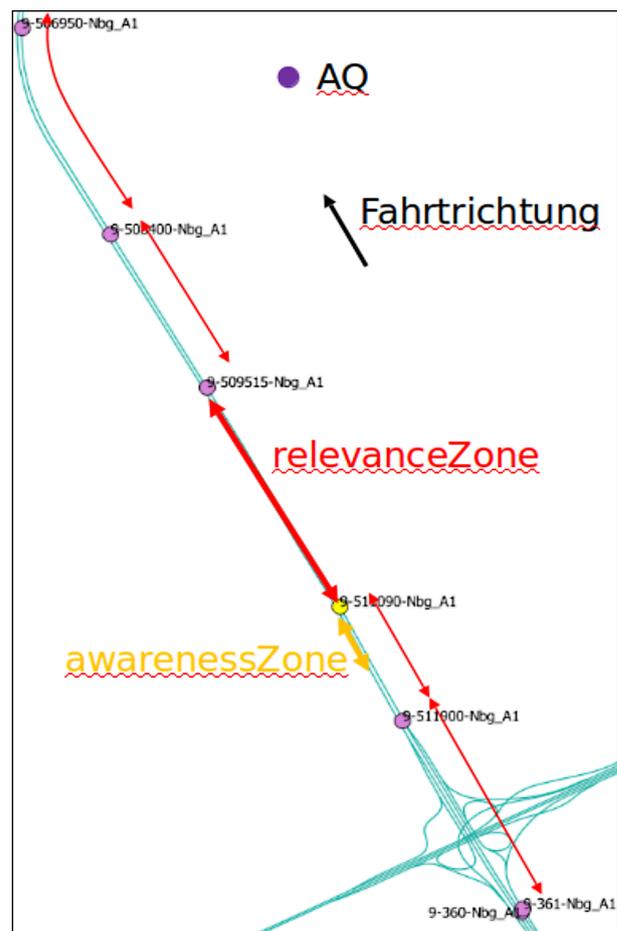


Bild 25: Statische Kopplung der C2I-Relevanzzonen an VBA-Gültigkeitsbereiche (rote Doppelpfeile, in einem Fall hervorgehoben inkl. Awareness zone)

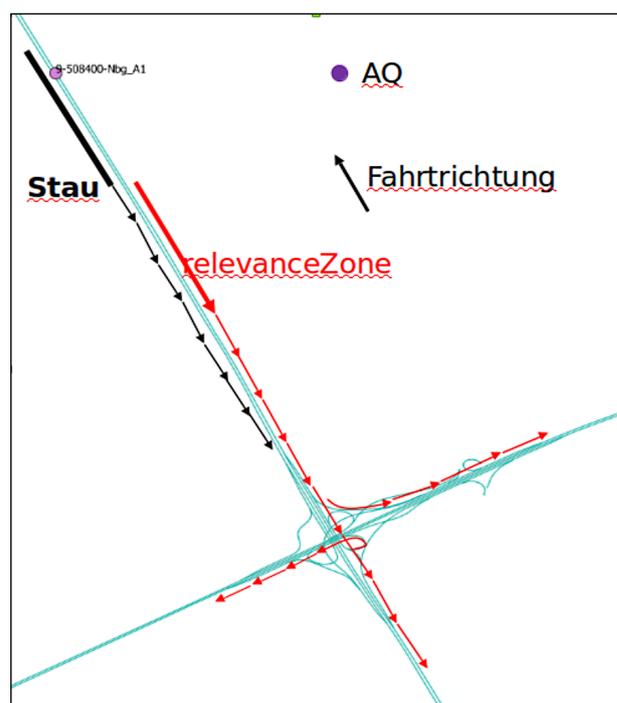


Bild 26: Räumlich-zeitlich dynamische Anpassung der Relevanzzonen an die Entwicklung des Ereignisses (dünne Pfeile zeitlich aufeinanderfolgend)

Maßnahmen vorzuhalten, die folgende Elemente enthält:

- Vorgefertigte IVI/DENM-Container entsprechend der Situationslage
- Priorisierung von zu übermittelnden Piktogrammen und Informationen in Form von aufeinander folgenden Relevanzzonen (vgl. Kapitel 5.3.4)
- Zuordnung von Piktogrammen und Textbausteinen, die auf dem HMI herstellerabhängig angezeigt werden (Text, Text-to-speech etc.)

Bild 27 illustriert diese Herangehensweise anhand des Szenarios „Sicherheitsdefizite zwischen den Fahrstreifen“.

Darüber hinaus bedarf es der Entwicklung geeigneter Applikationen zur Maßnahmenfindung für komplexe sich überlagernde Situationen, die sich aus der Datenvielfalt ableiten lassen.

Tabelle 11 listet die funktionalen Anforderungen an das System C2I.

5.3.4 Anforderungen an das HMI

Die in Kapitel 4.5 vorgeschlagenen Beeinflussungsstrategien enthalten viel relevante Information für den Fahrer, die nicht gleichzeitig auf dem HMI und

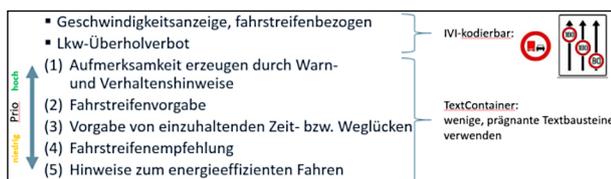


Bild 27: Restriktive Anzeigen und priorisierte Zusatzinformationen

evtl. zusätzlich über akustische Signale präsentiert werden kann. Dies könnte zu einer Informationsüberflutung mit sicherheitskritischen Auswirkungen auf das Fahrverhalten führen. Ziel sollte es sein, die Informationen im Vorfeld zu selektieren, zu priorisieren und dem Fahrer während des Durchfahrens einer Situation nacheinander zu übermitteln. Hierzu muss die zeitliche Abfolge der Präsentation der Nachrichteninhalte entweder kodiert werden, oder den einzelnen Inhalten müssen eigene Relevanzzonen, die entsprechend ihrer Priorisierung räumlich hintereinander angeordnet sind, zugeordnet werden. Die restriktiven Anzeigeelemente müssen dabei durchgehend und optisch hervorgehoben sichtbar sein.

Standardisierte Verkehrszeichen können in einer IVI kodiert werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, beliebige Textbausteine zur Präsentation auf dem HMI zu übermitteln. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass diese Information bei rein textueller und sich zeitlich verändernder Darstellung vom Fahrer nicht vollständig verarbeitet werden kann, wenn sich dieser im Fahrzeugfolgeverkehr befindet. Zielführender wäre es, für Anweisungsabfolgen wie z. B. „sparsam bremsen“, „Geschwindigkeit möglichst halten“, „Spur halten“, „jetzt beschleunigen“ neue, leicht verständliche visuelle Darstellungen zu entwerfen und eine Standardisierung anzustreben, z. B. für die Strategie „Shockwave Damping“: Hier müssten Anzeigen auf dem HMI entworfen werden, die den Fahrer auffordern zu bremsen, die Geschwindigkeit zu halten oder zu beschleunigen. Dies könnte z. B. über Anzeigen von Geschwindigkeitsbereichen im Tacho oder über Piktogramme erfolgen.

	Das System C2I muss:
AFO_C2I_akt_018	Gültigkeitsbereiche einer Maßnahme (Relevance Zones) räumlich und zeitlich dynamisch anpassen.
AFO_C2I_akt_019	Bereiche im Zulauf einer Maßnahme (Awareness Zones) räumlich und zeitlich dynamisch anpassen.
AFO_C2I_akt_020	Die Anzeigezonen regulativer Schaltungen starr an die Gültigkeitsbereiche der VBA-Schaltung koppeln, sofern noch keine Vollausrüstung des Fahrzeugkollektivs erreicht ist, oder eine VBA in Betrieb ist und Anzeigen schaltet.
AFO_C2I_akt_021	Die Anzeigehalte regulativer Schaltungen starr an die Inhalte der VBA-Schaltung koppeln, sofern noch keine Vollausrüstung des Fahrzeugkollektivs erreicht ist, oder eine VBA in Betrieb ist und Anzeigen schaltet.
AFO_C2I_akt_022	Anzeigeabfolgen (Zusatzinfos) für das Durchfahren einer Situation erzeugen und bereitstellen.
AFO_C2I_akt_023	Eine Priorisierung der Anzeigen durchführen (mehrere, zeitlich gestaffelte Anzeigen). Eine Priorisierung der Anzeigen wird auch in der Schaltbildermittlung des Systems VBA angewendet. Diese hat Vorrang und ist vom System C2I zu übernehmen. Das System C2I muss aber (z. B. im Betrieb evtl. im nachgeordneten Netz ohne dort vorhandene VBA) in der Lage sein, eine solche Priorisierung selbstständig durchzuführen.
AFO_C2I_akt_024	Dem System VBA Rückmeldung über erhaltene Steuerbefehle geben (Sicherstellung Anzeigekonsistenz).

Tab. 11 Funktionale Anforderungen an das System C2I

Über die Farbintensität und/oder Größe der Darstellung auf dem HMI kann eine weitere Gewichtung der Empfehlung erfolgen. Weiteres Potenzial zur Beeinflussung des Fahrers liegt auch in der Bereitstellung akustischer Signale (evtl. auch Text-to-speech), da der Fahrer hierbei nicht in der anwendungsfall-spezifischen Fahraufgabe gestört wird. Die Anforderungen an das HMI ergeben sich zwar aus den neu identifizierten Beeinflussungsstrategien, in der Umsetzung betrifft die Gestaltung neuartiger Anzeigen oder akustischer Signale aber das fahrerseitige Subsystem (V-ITS-S und insbesondere HMI), sodass es hier zu Berührungspunkten zwischen externer Information (Verkehrsbeeinflussung) und ADAS kommt. Es besteht gesonderter Forschungsbedarf, der im Bereich Ergonomie und psychophysische Wahrnehmung anzusiedeln ist. Tabelle 12 fasst die Anforderungen an das HMI zusammen.

5.4 Anforderungen an Forschungsbedarf

In den Kapiteln 5.2 und 5.3 wurden einige übergeordnete Anforderungen identifiziert, die sich aus fehlender bzw. unzureichender Standardisierung oder nicht vorhandener algorithmischer Basis ergeben. Diese sind in Tabelle 13 gelistet.

	Das HMI muss:
AFO_C2I_akt_025	standardisierte Anzeigen darstellen können
AFO_C2I_akt_026	neue, zu standardisierende Anzeigen darstellen können
AFO_C2I_akt_027	eine Text-to-speech-Funktionalität implementieren können
AFO_C2I_akt_028	aufeinander folgende Anzeigen/Piktogramme/Signale verständlich darstellen (Anzeigedauer) können
AFO_C2I_akt_029	die Fahrzeugposition auf die erhaltenen Awareness-/Relevance Zonen matchen
AFO_C2I_akt_030	restriktive/regulatorische Anzeigen durchgängig anzeigen
AFO_C2I_akt_031	die Wichtigkeit/Dringlichkeit verschiedener Anzeigen optisch/akustisch wahrnehmbar gestalten
AFO_C2I_akt_032	äußere Verkehrsbeeinflussung und aktive Sicherheit (ADAS) harmonisieren

Tab. 12: Anforderungen an das HMI

AFO_C2I_STD_001	Entwicklung zentralenseitiger Situationserkennungsverfahren auf Basis von Fahrzeugdaten im System VBA
AFO_C2I_STD_002	Qualitätssicherungsverfahren für eingehende Fahrzeugdaten und Situationserkennungsverfahren im System VBA
AFO_C2I_STD_003	Autarke Generierung von IVI in Bereichen ohne statische VBA, basierend auf einer geeigneten zentralen Maßnahmenermittlung
AFO_C2I_STD_004	International abgestimmte HMI-Symbolik
AFO_C2I_STD_005	Entwicklung verständlicher Piktogramme für die Umsetzung der Beeinflussungsstrategien zur Anzeige auf dem HMI

Tab. 13: Abgeleiteter Forschungsbedarf

6 Anforderungen an die Verkehrsbeeinflussung

6.1 Einführung

Das Kapitel 6 behandelt die Anforderungen an das System Verkehrsbeeinflussung, bestehend aus den Komponenten Außenanlage und Zentrale sowie Kommunikation, die sich aus den Potenzialen (s. Kapitel 3) und Anwendungsszenarien (s. Kapitel 4) ergeben. Im Zusammenspiel mit den Anforderungen an die C2I-Technologie (s. Kapitel 5) muss eine sinnvolle Integration der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation ermöglicht werden. Die Basis für solche Anforderungen liefern insbesondere die AP2 (Potenziale) und AP3 (Anwendungsszenarien).

Die Anforderungen an die Verkehrsbeeinflussung werden wie folgt strukturiert:

- Anforderungen an die Systemarchitektur unter Berücksichtigung der Schnittstelle zum C2I-Systemverbund (s. Kapitel 6.3)
- Anforderung an Applikationen zur Datenerfassung und -aufbereitung durch Übernahme neuer, ggf. spontaner Daten (s. Kapitel 6.4)
- Anforderung an Applikationen zur Situationserkennung durch Integration neuer, ggf. spontaner Daten (s. Kapitel 6.5)

- Anforderungen an den Maßnahmenkatalog mit Maßnahmen, die durch die erweiterte Situationserkennung möglich werden und ggf. auch durch externe Systeme, z. B. C2I, umgesetzt werden (s. Kapitel 6.6)
- Systemübergreifende Anforderungen an die Systeme VBA und C2I (s. Kapitel 6.7)

Die Anforderungen werden als High Level Spezifikation dokumentiert. Diese sind bei der konkreten Umsetzung zu detaillieren. Insbesondere bei den Anforderungen an die Situationserkennung (s. Kapitel 6.5) und den Maßnahmenkatalog (s. Kapitel 6.6) besteht zusätzlicher Forschungsbedarf.

Nach einer Ersterhebung der Anforderungen wurden diese in Experten-Workshops mit Verkehrsmanagement-Betreibern abgestimmt und konkretisiert.

6.2 Voraussetzungen für eine sinnvolle Integration von C2I in das System VBA

Damit ein sinnvolles Zusammenspiel der Systeme VBA und C2I gelingen kann, sollten mindestens folgende Aspekte beachtet werden. Diese werden in den nachfolgenden Unterkapiteln konkretisiert und in Anforderungen an das System VBA formuliert.

- Fachliche Einbindung von C2I-Daten (Verkehrsdaten, Umfelddaten, Ereignisdaten) in die bestehende Algorithmik
- Einfluss der Anpassung des Aggregationsintervalls lokal erfasster Daten und Integration von C2I-Daten in die bestehende bzw. zu entwickelnde Algorithmik
- Analyse des verkehrstechnischen Nutzens und der Interpretierbarkeit von Einzelfahrzeugdaten (Trajektorien) einer Teilmenge des Fahrzeugkollektivs in der Verkehrsbeeinflussung (vgl. Kapitel 5.2.4)
- Analyse des Einflusses von C2I-Daten (bidirektional; z. B. verkehrssicherheitsrelevanten Kenngrößen wie Time To Collision (TTC) oder Verhaltensinformationen in das Fahrzeug) auf die Verkehrssicherheit bei Nutzung in der Verkehrsbeeinflussung
- Erweiterung der Situationserkennung
- Qualitätssicherung der C2I-Daten mit VBA-Daten und umgekehrt

- Datenfusion mit der lokalen Datenerfassung der VBA zur Steigerung der Aktualität und Genauigkeit und inhaltliche Erweiterung
- Integration temporärer mobiler Aktorik durch C2I in die Schaltbildermittlung einer VBA
- Integration neuer Maßnahmen in die Verkehrsbeeinflussung (s. Kapitel 4)
- Konkretisierung des Beeinflussungsbereichs durch ortsgenaue Anzeige im Fahrzeug durch C2I und damit verbundene rechtliche Fragestellungen (Verordnung)
- Anpassungen/Ergänzungen der VBA-Infrastruktur, insbesondere Schnittstellenerweiterungen zur Übernahme von Daten und Weitergabe von Informationen

6.3 Anforderung an die Systemarchitektur von VBA-Systemen

Für eine sinnvolle Integration externer Informationen (z. B. C2I-Daten) sowie externer Aktorik (z. B. fahrzeugseitige Anzeige von Informationen) in die Verkehrsbeeinflussung eignet sich die Systemarchitektur nach MARZ 1999 [2] nur bedingt, da hier eine direkte Verknüpfung von Situationserkennung (verkehrstechnische Algorithmen, z. B. Harmonisierung, Staudetektion, Witterung) mit der Reaktion (Maßnahmen, z. B. Geschwindigkeitsreduzierung, Stauwarnung, witterungsbedingte Warnungen) besteht. Zusätzliche Steuerungsalgorithmen können daher in das derzeitige Steuerungsmodell nur schwer integriert werden. Einerseits fehlt dazu eine standardisierte Schnittstelle. Andererseits werden sämtliche Anforderungen an die Verkehrsbeeinflussung aufgrund der engen Bindung von Detektion und Maßnahme erst über Priorisierung der Schaltbilder miteinander abgeglichen, sodass mit jedem zusätzlichen Algorithmus bzw. mit jedem integrierten externen Verfahren die potenziellen Konflikte auf Schaltbildebene steigen und zu inkonsistenten Schaltbildern führen kann.

Darüber hinaus gibt es in der Systemarchitektur nach MARZ 1999 [2] eine strikte Trennung von Streckenbeeinflussung (SBA), Netzbeeinflussung (NBA) und Knotenpunktbeeinflussung (KBA). Aufgrund der Durchgängigkeit der C2I-Informationen sowie der Möglichkeit des kontinuierlichen Informationsaustauschs zwischen Verkehrszentrale und dem einzelnen Verkehrsteilnehmer ist diese Trennung zukünftig

nicht mehr zweckmäßig. Die Anforderung aus Sicht des Verkehrsteilnehmers ist vielmehr, dass der Verkehrsteilnehmer möglichst sicher, zuverlässig und schnell zu seinem Ziel gelangt. Dazu kann je nach Verkehrssituation ein Bündel aus allen Beeinflussungsarten (SBA, NBA, KBA) gleichzeitig erforderlich sein, wobei für den Verkehrsteilnehmer nicht relevant und ggf. auch nicht transparent wird, welche Beeinflussungsart derzeit auf ihn/sie wirkt.

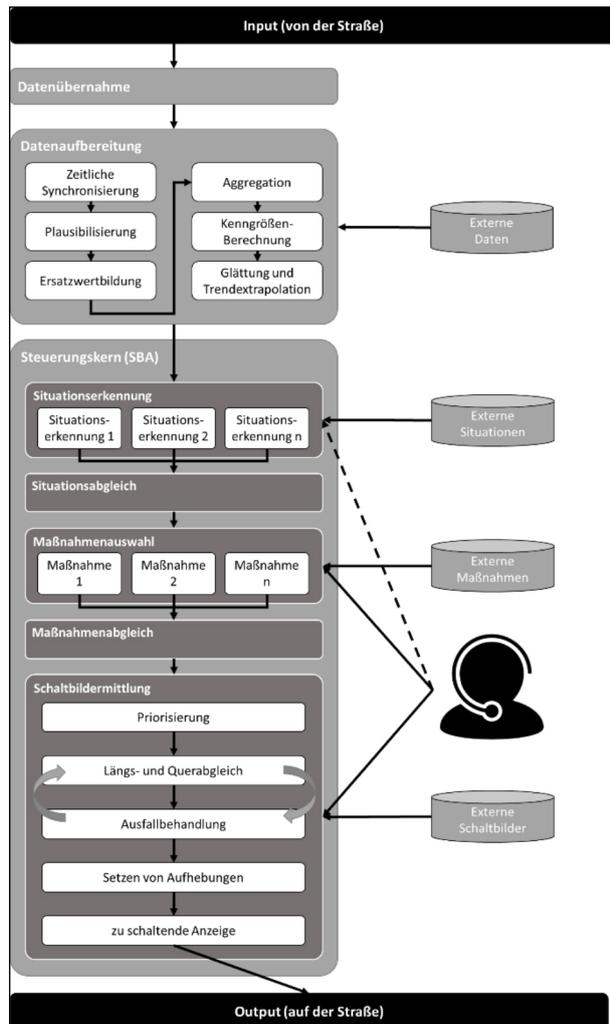


Bild 28: Aufbau des Systems VBA nach MARZ 2018 [39]

Voraussetzung für eine tiefe Integration von C2I ist daher die zentralenseitige Entkopplung von Situationen und Maßnahmen, die in den „Hinweisen zum Einsatz von Steuerungsverfahren in der Verkehrsbeeinflussung“ [3] beschrieben ist und im MARZ 2018 [39] aufgenommen wurde. Diese Entkopplung ist notwendig, da

- so die Ergebnisse in der VBA-Zentrale detektierten Situationen mit denen der kooperativen Zentrale abgeglichen werden können (Qualitätsverbesserung der Situationserkennung),
- so die strikte Trennung zwischen SBA-, NBA- und KBA-Situationserkennungsverfahren und -maßnahmen aufgehoben wird und die Bündelung aller Beeinflussungsarten ermöglicht wird,
- VBA-Maßnahmen mit Maßnahmen der C2I-Technologie miteinander verknüpft und gemeinsam betrachtet werden können,
- und Maßnahmen beider Systeme auf Maßnahmenebene abgeglichen werden können, um im Konflikt stehende Maßnahmen zu identifizieren und den Konflikt zu lösen.

Tabelle 14 enthält die Anforderungen an das System VBA hinsichtlich der Systemarchitektur. In Bild 28 ist der grundsätzliche Aufbau des Systems VBA schematisch dargestellt. Einen detaillierten Architekturentwurf enthält das MARZ 2018 [39]. Es besteht Forschungsbedarf, wie die Integration der C2I-Funktionalitäten in das System VBA und umgekehrt aus technischer, funktionaler und organisatorischer Sicht zu gestalten ist.

6.4 Anforderungen an die Datenerfassung und -aufbereitung

Durch die Nutzung der Daten und Informationen aus dem Fahrzeugapplikationen im C2I-Systemverbund, die entweder spontan oder innerhalb von kurzen Er-

AFO_VBA_001	Das System VBA muss spontan und zyklisch Daten (Verkehrsdaten, Umfelddaten, Ereignisse) aus dem System C2I übernehmen können.
AFO_VBA_002	Das System VBA muss spontan und zyklisch Informationen (Schaltzustände, Situationen, Maßnahmen, Ereignisse) an externen Systeme weitergeben können.
AFO_VBA_003	Das System VBA muss zwischen Situationserkennung und Maßnahmen trennen. Anmerkung: Dieses Prinzip wird im MARZ 2018 [39] näher spezifiziert.
AFO_VBA_004	Das System VBA muss für die erkannten Situationen pro Situationstyp (z. B. Verkehrszustand) einen Situationsabgleich durchführen. Anmerkung: Dieses Prinzip wird im MARZ 2018 [39] näher spezifiziert.
AFO_VBA_005	Das System VBA muss für die ausgewählten Maßnahmen einen Maßnahmenabgleich durchführen. Anmerkung: Dieses Prinzip wird im MARZ 2018 [39] näher spezifiziert.
AFO_VBA_006	Das System VBA sollte den Architekturentwurf gem. MARZ 2018 [39] umsetzen.

Tab.14: Anforderungen für den Themenbereich Systemarchitektur

fassungintervallen geliefert werden, sollte das Basiserfassungsintervall für die Sensorik des Systems VBA ebenfalls möglichst kurz sein. Zusätzlich muss das System VBA mit spontanen Meldungen umgehen können und den Berechnungszyklus von Datenaufbereitung bis hin zur Schaltbildermittlung und -umsetzung anstoßen können.

Weiterhin muss das System nicht nur mit bekannten, vorkonfigurierten Orten der lokalen Verkehrs- und Umfelddatenerfassung umgehen können, sondern auch dynamische Ortsreferenzierungen verarbeiten können.

Daten aus dem System C2I sollten vor der weiteren Nutzung im Kontext der Verkehrsbeeinflussung auf Konsistenz geprüft werden. Hierzu muss das Sys-

tem VBA Konsistenzprüfungen auf Basis der zeitlich unmittelbaren Vorgängerintervalle, der räumlich benachbarten Daten sowie der historischen Verläufe (Ganglinien) durchführen. Ebenso muss das System VBA den zugrunde liegenden Stichprobenumfang bewerten und den erfassten Kenngrößen des bewerteten Datensatzes eine Güte zuweisen.

Die Daten und Informationen aus dem System C2I können zur Plausibilisierung der Daten der VBA-Sensorik und umgekehrt genutzt werden. Dazu müssen entsprechende Algorithmen und Prüfroutinen definiert werden.

Tabelle 15 enthält die Anforderungen an das System VBA hinsichtlich der Datenerfassung und -aufbereitung.

AFO_VBA_007	Das System VBA sollte als Basis-Erfassungsintervall die eingehenden Daten in ausreichend kurzen Intervallen erfassen.
AFO_VBA_008	Das System VBA muss dynamischen Ortsreferenzierungen von Daten aus dem System C2I umgehen können. Hinweis: Dazu ist eine routingfähige, digitale Kartengrundlage notwendig, die im System VBA hinterlegt ist.
AFO_VBA_009	Das System VBA muss spontane Daten (z. B. Ereignismeldungen einzelner Fahrzeuge) übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_010	Das System VBA sollte Daten transportabler (aber für den Einsatzzeitraum ortsfester) Sensorik übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_011	Das System VBA sollte fahrzeugseitige, zeitlich in kurzen Intervallen aggregierte Verkehrs- und Umfelddaten auf Plausibilität prüfen können. Hinweis: Hierzu muss das System VBA Konsistenzprüfungen auf Basis der zeitlich unmittelbaren Vorgängerintervalle, der räumlich benachbarten Daten sowie der historischen Verläufe (Ganglinien) durchführen. Ein Zugriff auf historische Daten muss also in performanter Art und Weise möglich sein. Ebenso muss das System VBA den zugrunde liegenden Stichprobenumfang bewerten und den erfassten Kenngrößen des bewerteten Datensatzes eine Güte zuweisen.
AFO_VBA_012	Das System VBA sollte die fahrzeugseitigen, vorbewerteten Daten mit den Daten der lokalen Verkehrs- und Umfelddatenerfassung abgleichen.
AFO_VBA_013	Das System VBA sollte lokale Einzelfahrzeugdaten übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_014	Das System VBA sollte zeitlich und räumlich aggregierte Verkehrsdaten von kontinuierlichen Einzelfahrzeugdaten (Trajektorien) übernehmen und aufbereiten können.
AFO_VBA_015	Das System VBA sollte aus den zeitlich und räumlich aggregierten Verkehrsdaten von Fahrzeugtrajektorien die Kenngrößen Fahrzeit, Fahrzeitverluste und Fahrtgeschwindigkeit berechnen.
AFO_VBA_016	Das System VBA muss die Kenngrößen Stauwurzel, Stauende und Staulänge präzise auf dem Streckennetz verorten und zeitlich-räumlich verfolgen können.
AFO_VBA_017	Das System VBA sollte zeitlich und räumlich aggregierte Umfelddaten von fahrzeugseitig erfassten Witterungsdaten übernehmen und aufbereiten können.
AFO_VBA_018	Das System VBA muss Ereignismeldungen einzelner Fahrzeuge sowie aggregierte Ereignismeldungen mehrerer Einzelfahrzeuge übernehmen und aufbereiten können.
AFO_VBA_019	Das System VBA muss Verkehrslageinformationen im strategischen Netz inklusive des niederrangigen Straßennetzes übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_020	Das System VBA sollte Informationen über Fahrziele an Entscheidungspunkten des auf den Entscheidungspunkt zufließenden Verkehrs übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_021	Das System VBA sollte Informationen über die Routenbefolgung aus dem System C2I an Entscheidungspunkten des vom Entscheidungspunkt abfließenden Verkehrs übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_022	Das System VBA sollte von dem auf den Entscheidungspunkt zufließenden Kollektiv die Kenngrößen Fahrzeugtyp und Gewicht übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_023	Das System VBA sollte von dem auf den Entscheidungspunkt zufließenden Kollektiv die Emissionswerte übernehmen und verarbeiten können.

Tab. 15: Anforderungen für den Themenbereich Datenerfassung und -aufbereitung

6.5 Anforderungen an die Situationserkennung

Durch die zusätzlichen Daten, die das System C2I zur Verfügung stellen könnte, kann die Situationserkennung verbessert und erweitert werden. Zusätzlich werden durch das System C2I bereits Situ-

ationsergebnisse generiert und dem System VBA zur Verfügung gestellt. Diese externen Situationsergebnisse können mit den intern generierten Situationsergebnissen im Situationsabgleich zusammengeführt, konsolidiert und qualitätsgesichert werden. Durch die flächendeckend zur Verfügung stehende Information aus dem System C2I können auch Situ-

AFO_VBA_024	Das System VBA muss den ermittelten Situationen einen räumlichen Bezug (Punkt, Strecke, Netzausschnitt) zuordnen. Der räumliche Bezug muss das komplette in Verwaltung befindliche Straßennetz inkl. Rampen und Verflechtungsbereiche umfassen. Anmerkung: Dieses Prinzip wird im MARZ 2018 [39] näher spezifiziert.
AFO_VBA_025	Das System VBA muss Situationsergebnisse aus dem System C2I verarbeiten können und im Situationsabgleich berücksichtigen können. Anmerkung: Das MARZ 2018 [39] enthält in seiner aktuellen Fassung (Ausgabe 2018) keine Algorithmen, um die in diesem Projekt definierten zusätzlichen Situationstypen zu behandeln. Diese müssen zunächst wissenschaftlich erarbeitet werden.
AFO_VBA_026	Das System VBA muss für die Situationserkennung auch fahrzeugseitige Daten nutzen. Dazu sind entsprechende Situationserkennungsalgorithmen zu definieren und zu evaluieren. Hinweise: - Das System C2I generiert bereits Situationen (z. B. abschnittsbezogene Fahrtzeiten und Witterungsbedingungen sowie spontane Ereignisse) und publiziert diese. - Im System VBA sollten die bereits dort etablierten Algorithmen geprüft werden, ob sie mit den zusätzlich verfügbaren Daten sinnvoll erweitert werden können. - Für das System VBA sollten zusätzliche Situationserkennungsalgorithmen entworfen werden mit den Zielen, - präzisere Verkehrszustände im noch stabilen Verkehrsablauf zu generieren und - die aktuelle Verkehrssicherheit zu bewerten.
AFO_VBA_027	Das System VBA muss Situationen für den gesamten Betreuungsbereich der Zentrale verwalten können.
AFO_VBA_028	Das System VBA muss Rückstaus auf Ein- und Ausfahrtsrampen zuverlässig detektieren können. Hinweis: hierzu sind Situationserkennungsalgorithmen zu entwickeln, die trotz der geringen Fahrgeschwindigkeiten bei fließendem Verkehr auf der Rampe in der Lage sind, Störungen zu erkennen.
AFO_VBA_029	Das System VBA muss für den Verkehrsablauf kritische Infrastruktureigenschaften (Steigungs- und Gefällestrecken, Fahrstreifenreduktionen, enge Kurven z. B. in Rampen, kurze Einfädelungstreifen, Vorhandensein eines Seitenstreifens, Fahrbahnteiler) verwalten und mit Situationen aus aktuellen Verkehrs- und Witterungsdaten verschneiden können.
AFO_VBA_030	Das System VBA muss temporäre Änderungen der Verkehrsinfrastruktur (z. B. gesperrte Fahrstreifen, gesperrte Richtungsfahrbahnen, gesperrte Rampen, statische Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Überholverbote, Hindernisse) verwalten und mit Situationen aus aktuellen Verkehrs- und Witterungsdaten verschneiden können. Hinweis: Dazu sollten auch Daten aus dem Baustellenmanagement verwendet werden.
AFO_VBA_031	Das System VBA muss an hochbelasteten Einfahrten die Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken fahrstreifen genau auf der Hauptfahrbahn und der Rampe sowie dem Beschleunigungstreifen übernehmen und verarbeiten können. Hinweis: hierzu sind Situationserkennungsalgorithmen zu entwickeln, die in der Lage sind, kritische Verkehrsstärken/-dichten sowie optimale Fahrstreifengeschwindigkeiten zu ermitteln, um dann in der Maßnahmengenerierung Hinweise zu Fahrstreifenwechseln (Generierung von Einfahrlücken), Zuflussbeschränkungen und einzuhaltenen Geschwindigkeiten im Einfahrbereich zu generieren.
AFO_VBA_032	Das System VBA muss Fahrzeugpuls und deren Eigenschaften (Fahrstreifen, Anzahl der Fahrzeuge, Pulklänge in m, vorherrschende Fahrzeugklasse, mittlerer Fahrzeugabstand zwischen den gepulkten Fahrzeugen, Geschwindigkeit des Pulkführers, Abstand zum vorausfahrenden sowie zum nachfolgenden Fahrzeug) übernehmen und verarbeiten können.
AFO_VBA_033	Das System VBA muss Fahrzeugpuls zeitlich und räumlich verfolgen und propagieren können und so vorhersagen können, wann Fahrzeugpuls mit kritischen Geschwindigkeitsunterschieden auf dem gleichen und/oder benachbarten Fahrstreifen aufeinandertreffen.
AFO_VBA_034	Das System VBA muss Lkw-Pulks erkennen und vorhersagen können, wann diese auf einen Knotenpunkt treffen (und so die Ausfahrt von der Hauptfahrbahn sowie die Einfahrt erschweren).
AFO_VBA_035	Das System VBA muss Sondertransporte erkennen und verfolgen können. Hinweis: Dazu sollte eine Schnittstelle zu einem Verwaltungssystem implementiert werden, welches Sondertransporte erfasst und den Genehmigungsprozess verwaltet.
AFO_VBA_036	Das System VBA muss langsam fahrende Einzelfahrzeuge im fließenden Verkehr erkennen können.
AFO_VBA_037	Das System VBA muss Verkehrssituationen mit Informationen aus dem Baustellenmanagement sowie des Tunnelmanagements verschneiden können.

Tab. 16: Anforderungen für den Themenbereich Situationserkennung

ationen außerhalb von VBA-Gebieten erkannt werden. Als Ergebnis des Situationsabgleichs liegt dann eine flächendeckende, eindeutige Situation pro Situationstyp vor. Dabei ist zu beachten, dass derzeit noch keine Algorithmen bekannt sind, die mit fahrzeugseitig generierten Daten Situationserkennung betreiben können. Ohne diese kann aber das zusätzliche verkehrstechnische Potenzial nicht abgerufen werden, sodass hier dringender Forschungsbedarf besteht.

Tabelle 16 enthält die Anforderungen an das System VBA hinsichtlich der Situationserkennung.

6.6 Anforderungen an den Maßnahmenkatalog

Den vorliegenden konsolidierten Situationen werden Maßnahmen zugeordnet. Dabei sollten die klassischen Maßnahmen einer VBA, also die Vorgabe von Ver- und Geboten sowie Warnhinweisen über SBA-Anzeigequerschnitte und Zuflussregelungsanlagen sowie textuellen Informationen zu Ereignissen oder Routenempfehlungen über dWiSta und Wechselwegweiser, um zusätzliche verkehrstechnisch sinnvolle Maßnahmen, die nicht über die VBA-Aktorik umgesetzt werden können, erweitert werden. So können z. B. Empfehlungen zu einzuhaltenden Weg- und Zeitlücken sowie zum Fahrstreifenwechselverhalten weitergegeben werden (s. Kapitel 5.3.4).

Da für den gesamten Betreuungsbereich der Zentrale Daten und Situationen zur Verfügung stehen, können auch Maßnahmen außerhalb von VBA-Gebieten generiert werden. Diese können für den Fall, dass die fahrzeugseitige Aktorik des Systems C2I nicht rechtsverbindlich ist, als Information an die ausgestatteten Fahrzeuge weitergegeben werden.

Daraus ergibt sich, dass sich die räumliche Definition (Beginn und Ende) von Maßnahmen nicht mehr an der Lage der Anzeigequerschnitte orientieren muss. Ebenso ist es denkbar, dass auch im VBA-Bereich ortspräzise Maßnahmen (als Information für mit C2I ausgestattete Fahrzeuge) generiert werden und die rechtsverbindliche Anzeige von Ver- und Geboten an der Position des Anzeigequerschnitts beginnt und auch fahrzeugseitig angezeigt wird (virtuelle VBA).

Bei der Aufhebung von Streckenbeeinflussungsmaßnahmen wird verkehrstechnisches Potenzial

darin gesehen, dass die Verkehrsteilnehmer nicht mehr erst am nächsten AQ über die Aufhebung, sondern umgehend durch das HMI informiert werden. Dadurch kann erreicht werden, dass der nachfolgende Verkehr (der nicht mehr beeinflusst worden ist) nicht mehr auf einen aufgrund der Maßnahmen langsam fahrenden Pulk trifft.

Zudem ist es verkehrstechnisch nicht sinnvoll, eine Maßnahme dann aufzuheben, wenn sich alle an die Maßnahme halten (und damit die Einschaltbedingungen von klassischen Steuerungsverfahren nicht mehr erfüllt sind), sondern die den Eingriff initial auslösende Situation darf nicht mehr existieren. Dies ist die Vorgehensweise der Regelungslogik (s. dazu auch [46]).

Durch die Erweiterung der Situationen sowie der diesen zugeordneten Maßnahmen wird das Problem, dass sich Maßnahmen zeitlich/räumlich überlagern, größer. Der Maßnahmenabgleich muss sicherstellen, dass sich die Maßnahmen nicht widersprechen. Sich überlagernde Maßnahmen, die sich nicht widersprechen, müssen interpretierbar und erkennbar sein, auch wenn sie nur von einem bestimmten System (VBA oder C2I) angezeigt werden. Beispielsweise kann es vorkommen, dass auf der Aktorik des Systems VBA nur die höher priorisierte Maßnahme angezeigt werden kann, über das System C2I aber die überlagerte Maßnahme als zusätzliche Information publiziert wird.

Tabelle 17 enthält die Anforderungen an das System VBA hinsichtlich des Maßnahmenkatalogs.

6.7 Systemübergreifende Anforderungen an die Systeme VBA und C2I

Über die Anforderungen an die Systeme C2I (s. Kapitel 5) und VBA hinaus gibt es auch systemübergreifende Anforderungen an beide Systeme, damit der fachliche Austausch von Informationen eindeutig definiert ist.

Für einen optimalen Mehrwert der Integration der C2I-Technologie in das System VBA ist eine gemeinsame Abstimmung von verschiedenen Aspekten wie ein gemeinsamer Situations- und Maßnahmenkatalog, erforderlich. Für eine solche Abstimmung sind geeignete Ansprechpartner bzw. Institutionen zu definieren, die die Rollen der verschiedenen internationalen Akteure auf der VBA- und C2I-Seite vertreten.

Im Situationskatalog müssen die Situationstypen (z. B. Verkehrszustand, Witterungszustand, s. auch [3] und [39]) sowie deren einzelne Ausprägungen definiert sein. Wenn eines der Systeme z. B. eine Situation mit dem Verkehrszustand „dichter Ver-

kehr“ meldet, muss es eindeutig und vergleichbar sein, was darunter konkret zu verstehen ist. Die Wichtigkeit und auch die Herausforderung dieser zentralen Anforderung zeigen die Ergebnisse des FE-Projekts FE 03.494 [40], in dem eine Harmoni-

AFO_VBA_038	Das System VBA muss den konsolidierten Situationen (Ergebnis des Situationsabgleichs) entsprechende Maßnahmen zuordnen. Anmerkung: Dieses Prinzip wird im MARZ 2018 [39] näher spezifiziert.
AFO_VBA_039	Das System VBA muss den Maßnahmen eine räumliche (Punkt, Strecke, Netzausschnitt) und zeitliche (Zeitpunkt, Zeitraum) Ausdehnung zuordnen.
AFO_VBA_040	Das System VBA muss Maßnahmen dynamische und von den Orten der Anzeigequerschnitte des Systems ggf. unabhängige räumliche Ausdehnungen zuweisen können.
AFO_VBA_041	Das System VBA muss auch Maßnahmen erzeugen und vorhalten können, denen ggf. kein adäquates Schaltbild über die VBA zugeordnet werden kann, um diese Maßnahmen an externe Systeme weiterzugeben.
AFO_VBA_042	Das System VBA muss Maßnahmen für den gesamten Betreuungsbereich der Zentrale verwalten können.
AFO_VBA_043	Das System VBA muss eigene Maßnahmen mit möglichen Maßnahmen von benachbarten Bereichen hinsichtlich Konsistenz und Interoperabilität abstimmen können, insbesondere an den Grenzen des Betreuungsbezugs.
AFO_VBA_044	Das System VBA muss Maßnahmen, die sich überlagern, publizieren können, auch wenn sie aufgrund dieser Überlagerung nicht auf der Aktorik des Systems VBA umgesetzt werden können.
AFO_VBA_045	Das System VBA muss zusätzliche Informationen zu den umzusetzenden Maßnahmen verwalten können, um diese zu erläutern. Hinweis: Durch diese zusätzlichen Informationen kann die Akzeptanz der umgesetzten Maßnahme gesteigert werden.
AFO_VBA_046	Das System VBA muss auf Basis der vorliegenden Situationsergebnisse fahrbahn- und fahrstreifenbezogene Geschwindigkeitsanordnungen und -empfehlungen sowie Überholverbote, ggf. in Abhängigkeit der Fahrzeugklasse, generieren können.
AFO_VBA_047	Das System VBA muss Informationen zu aktuellen und in der Zukunft liegenden Situationen bereitstellen können.
AFO_VBA_048	Das System VBA muss auf Basis der vorliegenden Situationsergebnisse fahrbahn- und fahrstreifenbezogene Empfehlungen für einzuhaltende Zeit- und Weglücken generieren können.
AFO_VBA_049	Das System VBA muss auf Basis der vorliegenden Situationsergebnisse fahrbahn- und fahrstreifenbezogene Empfehlungen für einzuhaltende Beschleunigungs- und Verzögerungsmanöver generieren können.
AFO_VBA_050	Das System VBA muss Maßnahmen generieren können, um die Verkehrsteilnehmer mit entsprechenden Verhaltensweisen bei der räumlichen Stauannäherung, beim Durchfahren einer Verkehrsstörung und beim Verlassen eines Staubereichs zu unterstützen.
AFO_VBA_051	Das System VBA muss auf Basis der vorliegenden Situationsergebnisse Empfehlungen bzw. Vorgaben für den zu wählenden Fahrstreifen generieren können.
AFO_VBA_052	Das System VBA muss auf Basis der vorliegenden Situationsergebnisse Empfehlungen bzw. Vorgaben für einen Fahrstreifenwechsel generieren können.
AFO_VBA_053	Das System VBA muss an Fahrstreifenreduktionen Informationen zur Unterstützung des Verkehrsablaufs generieren können.
AFO_VBA_054	Das System VBA muss im Falle einer Verkehrsstörung an einer Unfallstelle eine Information zur Bildung einer Rettungsgasse generieren können.
AFO_VBA_055	Das System VBA muss an kritischen Stellen des Straßennetzes sowie an akuten Gefahrenstellen eine Information zur Aufmerksamkeitssteigerung generieren können.
AFO_VBA_056	Das System VBA muss Informationen zu verfügbaren Park- und Rastplätzen generieren können.
AFO_VBA_057	Das System VBA muss Informationen zu einem durchgeführten Sondertransport generieren können.
AFO_VBA_058	Das System VBA muss kollektive Hinweise zum energieeffizienten Fahren generieren können.
AFO_VBA_059	Das System VBA muss ggf. fahrzeugklassenspezifische Routenempfehlungen generieren können.
AFO_VBA_060	Das System VBA muss in der Lage sein, Maßnahmen zeitlich-räumlich sinnvoll aufzuheben (alle Fahrzeuge, die eine Maßnahme gesehen haben, müssen auch die Aufhebung sehen, alle anderen Fahrzeuge nicht). Hinweis: Durch Anzeige der Aufhebung einer Maßnahme auf dem HMI eines Fahrzeugs können alle Fahrzeuge in einem Korridor stromabwärts nach dem AQ, auf dem die Maßnahme angezeigt wurde, angesprochen werden.
AFO_VBA_061	Das System VBA muss in der Lage sein, Maßnahmen erst dann aufzuheben, wenn es verkehrstechnisch sinnvoll ist (eine Maßnahme sollte erst dann aufgehoben werden, wenn die auslösende Situation bereinigt ist und nicht dann, wenn die Eingangsbedingungen der Situationserkennung nicht mehr gegeben sind). Das System VBA muss bei der Situationserkennung den Einfluss bereits aktiver Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen auf die Eingangsdaten beachten. Das System VBA muss bereits wirksame Schaltungen bei der Situationsbewertung beachten und bei der Aktualisierung von Maßnahmen berücksichtigen. Hinweis: Mit Ersetzen der momentanen Steuerung durch eine Regelung kann dies realisiert werden [46].

Tab. 17: Anforderungen für den Themenbereich Maßnahmenkatalog

AFO_VBA_062	Den Systemen VBA und C2I muss ein gemeinsamer Situationskatalog zugrunde liegen.
AFO_VBA_063	Den Systemen VBA und C2I muss ein gemeinsamer Maßnahmenkatalog zugrunde liegen.
AFO_VBA_064	Die Systeme VBA und C2I müssen sicherstellen, dass die Geoinformationen in beiden Systemen gleichzeitig referenziert werden.
AFO_VBA_065	Die Systeme VBA und C2I müssen im Störungs-, Fehler- bzw. Ausfall eines oder mehrerer Teilsysteme eine Rückfallebene besitzen, um stets einen verkehrssicheren Zustand des Gesamtsystems zu garantieren.
AFO_VBA_066	Das System VBA muss um Monitoringwerkzeuge erweitert werden, damit der Operator die zusätzlich verfügbaren Informationen sowie die Informationen außerhalb direkter Beeinflussungsgebiete sachgemäß verarbeiten kann. Für jedes manuell zu bearbeitende Ereignis muss das System VBA dem Operator einen Monitoring-Hinweis geben oder ihm eine Möglichkeit geben, in das entsprechende Monitoring-Werkzeug zu wechseln, wenn eine Verifikation (z. B. über Video) möglich ist.

Tab. 18: Zusammenstellung der systemübergreifenden Anforderungen



Bild 29: Interaktion zwischen den Systemen VBA und C2I

sierung und Definition von Verkehrszuständen erarbeitet wurde.

Ebenso essenziell ist die Abstimmung eines zentralen Maßnahmenkatalogs zwischen den Systemen VBA und C2I, damit die Publizierung der Maßnahmen des Systems C2I mit den Maßnahmen der VBA konsistent bleiben und damit auch ihre Wirkung entfalten können.

Tabelle 18 enthält die Zusammenstellung der systemübergreifenden Anforderungen.

6.8 Fazit

Durch die Integration der Daten/Informationen aus der fahrzeugseitigen Sensorik sowie durch die Möglichkeit, verkehrsrelevante Informationen direkt in

das Fahrzeug zu publizieren, ergeben sich zusätzliche Nutzen im Zusammenspiel der Systeme VBA und C2I.

Dazu muss die Systemarchitektur des Systems VBA entsprechend angepasst werden. Das MARZ 2018 [39] enthält hierzu bereits einen Architekturvorschlag.

Fachlich interagieren die Systeme VBA und C2I vor allem beim Austausch von Daten und Kenngrößen von (Verkehrs-)Zuständen und Situationen sowie von Maßnahmen und Schaltbildern bzw. Informationen (s. Bild 29). Dabei ist zu beachten, dass für verkehrsbehördlich angeordnete Verkehrsmanagementmaßnahmen (kollektive Verkehrsbeeinflussung) der Situationsabgleich sowie alle nachfolgenden Prozesse zwingend auf der Ebene der VBA durchgeführt werden müssen. Nur so ist sicherzu-

stellen, dass sich die aus verkehrsbehördlicher Sicht maßgebliche Situation(en) zur Umsetzung von Verkehrsmanagementstrategien durchsetzen und diese konsistent an die Verkehrsteilnehmer weitergegeben werden. Das System C2I fungiert in diesem Fall als zusätzliche wertvolle Datenquelle zur Vervollständigung der zeitlich-räumlichen Informationslage, zur Erweiterung der Informationslage (etwa durch neue, zusätzliche Kenngrößen zur Situationsbewertung) sowie zur Qualitätssicherung. Darüber hinaus kann das System C2I einen wichtigen Beitrag zur Informationsverbreitung umgesetzter Maßnahmen und Strategien fungieren, etwa durch die während des Fahrtverlaufs kontinuierliche Bereitstellung der Information und zur Erläuterung der getroffenen Maßnahme zur Akzeptanzsteigerung. Über das kollektive, verkehrsbehördlich angeordnete Verkehrsmanagement hinausgehende Strategien und individuell aufbereitete Informationen für die mit C2I ausgestatteten Fahrzeuge können auch ausschließlich über das System C2I erhoben und verbreitet werden. Für die Transparenz und Konsistenz von möglicherweise in Konkurrenz stehenden Informationen aus den beiden Systemen VBA und C2I ist ein Informationsaustausch solcher reiner C2I-Informationen an das System VBA sinnvoll.

Durch die zusätzlichen Informationen entstehen auch zusätzliche Aufgaben für das operative Personal. Damit diese zu bewältigen sind, müssen z. B. durch Workflow- und Monitoringwerkzeuge entsprechende Arbeitsschritte automatisiert werden, um das operative Personal zu entlasten.

Der Level der Datenaggregation sollte sich künftig eher an der Objektbildung und Objektverfolgung durch Zeit und Raum anstatt an zyklischen Zeit- und äquidistanten Raumintervallen orientieren. Dennoch sollten ein sinnvoller Grundzyklus und Raumabstand zur VBA-Konfiguration (insb. zu den AQ-Abständen) passen. Zudem ist eine angemessene Raumdiskretisierung festzulegen. Ein Denkansatz wäre, bei homogenen Dichten große Abtastrate zu wählen, bei vielen Dichtewellen kleine Abtastraten. Dabei ist die räumliche Diskretisierung auch von den Beeinflussungsmaßnahmen abhängig. Beim Thema Objektbildung und -verfolgung besteht Forschungsbedarf.

Das zusätzliche verkehrstechnische Potenzial aus Sicht des Systems VBA kann erst dann abgerufen werden, wenn die Algorithmen der Situationserkennung erweitert werden. Hier wird Forschungsbedarf

gesehen, entsprechende neue Algorithmen zu entwerfen, die mit fahrzeugseitig generierten Daten operieren können, und vorhandene Algorithmen ggf. gezielt zu erweitern und zu verbessern.

Für einige vorgeschlagene Maßnahmen bzw. Maßnahmenenerweiterungen wird empfohlen, zunächst wissenschaftlich zu untersuchen, ob sich der erwartete Vorteil tatsächlich erzielen lässt. Beispielsweise sollte geklärt werden, welcher Effekt erzielt werden kann, wenn Geschwindigkeitsvorgaben statt in 20 km/h-Schritten zukünftig in 10 km/h-Schritten umgesetzt werden.

Ebenso sollte der Maßnahmenkatalog erweitert werden. Dieser kann auch Maßnahmen enthalten, die nicht über die Aktorik der VBA umgesetzt werden können. Auch hier besteht Forschungsbedarf, um zusätzliche, verkehrstechnisch sinnvolle und wirksame Maßnahmen zu konzipieren und geeignete Publikationsmöglichkeiten (z. B. über ein HMI, s. Kapitel 5.3.4) zu entwerfen.

7 Handlungsempfehlungen

7.1 Einleitung

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erarbeitet, ergeben sich einzigartige Vorteile durch die Ergänzung von VBA durch C2I-Systeme. Durch die Nutzung der C2I-Technologie stehen einerseits weitere Datenquellen für ein Bild der Verkehrslage zur Verfügung und andererseits bietet diese Technologie weitere und neue VBA-Maßnahmen für einen effizienteren Verkehrsfluss.

Basierend auf konkreten Ankündigungen der Fahrzeughersteller steht die Verfügbarkeit vernetzter Fahrzeuge unmittelbar bevor. Daher ist jetzt der Zeitpunkt zu handeln und den Ausbau zu zielgerichtet zu beginnen. In diesem Kapitel werden nun Handlungsempfehlungen für den Aufbau zukünftiger VBA und C2I-Systemen (s. Bild 29) erarbeitet, mögliche nächste Schritte in der Umsetzung ausgewählt sowie noch offene Forschungsfragen diskutiert. Die Handlungsempfehlungen basieren dabei auf den Anforderungen für das System C2I aus dem Kapitel 5 und die Anforderungen für das System VBA aus dem Kapitel 6. Kapitel 7.2 beinhaltet Handlungsempfehlungen für die Umsetzung von Anforderungen, für die bereits Standards oder Spezifikationen bestehen, auf die in der Umsetzung zurückgegriffen werden kann. Kapitel 7.3 betrachtet darü-

ber hinausgehende, allgemeinere Handlungsempfehlungen. Kapitel 7.4 enthält Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Anwendungsszenarien mit dem höchsten Potenzial. In dem darauf folgenden Kapitel 7.5 werden die Anwendungsszenarien aus Kapitel 4 ihrer zeitlichen Umsetzbarkeit zugeordnet. In Kapitel 7.6 werden die Minimalanforderungen aufgezählt um die ersten Anwendungsszenarien umsetzen zu können. Die schrittweise Integration der Handlungsempfehlungen wird in Kapitel 7.7 in einer Roadmap festgehalten. Kapitel 7.7 diskutiert noch offene Forschungsfragen.

7.2 Handlungsempfehlungen aus Anforderungen

In den Kapiteln 5 und 6 wurden insgesamt 161 Anforderungen formuliert. Von diesen sind für das System C2I im Bereich Sensorik 59 Anforderungen und im Bereich Aktorik 32 Anforderungen erarbeitet worden. Des Weiteren sind für das System C2I 5 übergeordnete Anforderungen formuliert worden. Für das System VBA wurden insgesamt 66 Anforderungen aufgestellt. Auf dieser Basis ergibt sich eine Gruppe von Handlungsempfehlungen, um die Umsetzung der zentralen Anforderungen insbesondere bzgl. der Anwendung bereits existierender Standards und Spezifikationen sicherzustellen, wie in den Kapiteln 7.2.1 bis 7.2.3 weiter detailliert, sowie die daran anschließenden Handlungsempfehlungen in den Kapiteln 7.2.4 und 7.2.5.

7.2.1 Einhaltung des ETSI-ITS Standards

Im Bereich Sensorik des Systems C2I sind 34 der 59 Anforderungen bereits im ETSI-ITS G5 Standard enthalten. Für diese Anforderungen gibt es daher in der C2I-Kommunikation bereits spezifizierte Nachrichten, welche die geforderten Datenelemente beinhalten. Einige der Datenelemente müssen nach ETSI verpflichtend in der jeweiligen C2I-Nachricht enthalten sein. Die anderen Datenelemente können optional in den C2I-Nachrichten vorhanden sein. Für die optionalen Datenelemente ist mit den Fahrzeugherstellern zu klären, dass diese Datenelemente auch serienmäßig in ihren C2I-Nachrichten verschickt werden. Auch wenn die 34 Anforderungen in C2I-Nachrichten standardisiert sind, so muss immer noch das empfangende C2I-System mit den passenden Algorithmen ausgestattet sein, um diese Datenelemente zu interpretieren.

Im Bereich Aktorik des Systems C2I sind 17 der 32 Anforderungen bereits über ETSI standardisiert. Für den Bereich Aktorik bedeutet dies, dass C2I-Nachrichten spezifiziert sind, die die geforderten Datenelemente enthalten. Um diese 17 Anforderungen zu erfüllen, sind Datenschnittstellen im System C2I so umzusetzen, dass die Sensordaten aus der Aktorik in den C2I-Nachrichten übermittelt werden.

Der ETSI-ITS G5 Standard eröffnet also sowohl im Bereich Sensorik als auch im Bereich Aktorik die Erfüllung zahlreicher formulierter Anforderungen und die Kommunikation mit allen (mit C2X ausgerüsteten) Fahrzeugen, unabhängig von Hersteller oder Fahrzeugtyp. Daher ergibt sich die Handlungsempfehlung:

Die Erfüllung der ETSI-ITS Standards auf technischer und insbesondere auch auf datenstruktureller Seite sollte für die C2I-Systeme sichergestellt werden.

7.2.2 Aktive Mitarbeit an Standards zur Ergänzung von C2I-Anforderungen

Die Anforderungen für das System C2I enthalten 15 Anforderungen an Datenelemente, welche noch nicht standardisiert sind. Um diese Informationen per C2I-Kommunikation zu erhalten, sind daher größtenteils Absprachen mit den Fahrzeugherstellern notwendig. Bilaterale Absprachen zwischen verschiedenen Organisationen oder Ländern und allen Fahrzeugherstellern bergen das Risiko von Interoperabilitätsproblemen, wenn gleiche oder verwandte Inhalte leicht unterschiedlich umgesetzt werden. Ein wertvoller Beitrag dazu wird bereits im Projekt C-Roads geleistet, in dem die Erprobung und Harmonisierung von C-ITS-Diensten auf (schwerpunktmäßig) europäischer Ebene gefördert wird. Im Projekt sind bereits die BAST sowie deutsche VBA-Vertreter engagiert.

Um solche Interoperabilitätsprobleme zu vermeiden, sollten weitere Anforderungen von VBA Herstellern und VRZ Betreibern vollständig über eine Standardisierungsorganisation wie ETSI in das System C2I eingebracht werden. Da es weiterhin die Fahrzeughersteller (und -zulieferer) sind, die die geforderten Informationen über C2I-Kommunikation liefern, ist insbesondere darauf zu achten, dass die Fahrzeughersteller sich an der Standardisierung der ergänzend benötigten C2I-Nachrichten beteiligen. Wichtig ist bei diesem Dialog zunächst das Ziel einer Funktion zu definieren, um nicht für jeden

Anwendungsfall oder zu übertragene Nachricht neue C2I-Nachrichten zu definieren, sondern um mögliche Synergien in der Definition genauer C2I-Nachrichtentypen für verschiedene Zwecke ausnutzen zu können.

Die aktive Mitarbeit von VBA-Stakeholdern in entsprechenden Standardisierungsgremien bietet darüber hinaus den allgemeinen Vorteil eines besseren Einblicks über zukünftig geplante Änderungen, so dass zukünftige VBA und die an diese gestellten Anforderungen frühzeitiger angepasst werden können. Die Handlungsempfehlung lautet daher:

VBA-Hersteller und VRZ-Betreiber sollten aktiv in C2I-Standardisierungsgremien mitarbeiten und alle entsprechenden Anforderungen vollständig dort einbringen. Bilaterale Protokoll-Ergänzungen mit Fahrzeugherstellern sind zu vermeiden.

7.2.3 Umsetzung der MARZ 2018 Spezifikation für das System VBA

Im System VBA sind 6 der 66 formulierten Anforderungen bereits näher in der MARZ 2018 spezifiziert. Der Architektorentwurf des MARZ 2018 ermöglicht grundsätzlich die Integration kooperativer Systeme. Die Handlungsempfehlung lautet daher:

Die Einhaltung der MARZ 2018 Spezifikation sollte für alle neuen VBAs sichergestellt werden.

7.2.4 Integration von Programmen zur Verkehrsanalyse in die VRZ

Die Verkehrsrechnerzentrale (VRZ) muss die zusätzlichen verfügbaren Daten aus C2I-Nachrichten prozessieren, zielgerichtet auswerten und Maßnahmen zur Verkehrsbeeinflussung ableiten können. Auf diesen bedeutenden Bereich entfallen 19 Anforderungen auf das System C2I und sogar 40 Anforderungen auf das System VBA. In den Anforderungen geht es darum, wie das System C2I bzw. das System VBA die Informationen verarbeiten sollen.

Die Systeme C2I und VBA müssen dabei eng abgestimmt zusammenarbeiten. So können Daten teilweise auch errechnet werden und müssen nicht direkt von den Fahrzeugen zur Verfügung gestellt werden, wie beispielsweise die Bestimmung eines Stauendes aus CAM Nachrichten der Fahrzeuge. Es ist Fahrzeugen theoretisch möglich, über eine DENM Nachricht den Ereignisort eines Stauendes mitzuteilen. Zudem kann aus den Bewegungspro-

filen aller Fahrzeuge das Stauende aktueller sowie im zeitlichen Verlauf leichter errechnet werden.

Die enge Verknüpfung der Anforderungen der beiden Systeme C2I und VBA zeigt sich auch an folgendem Beispiel: Im C2I-System sollen Detektions- und Aggregationszonen fahrstreifenfein räumlich variabel und zeitlich dynamisch angepasst werden (AFO_C2I_sens_044). Das VBA-System soll mit dynamischen Ortsreferenzierungen von Daten aus dem System C2I umgehen können (AFO_VBA_008). Wenn nur eine dieser Anforderungen umgesetzt ist, kann beispielsweise ein dynamisches, fahrstreifenfeines Stauende entweder nicht erkannt oder nicht verwaltet bzw. in der Verkehrssteuerung zu Warnungen oder Situationsempfehlungen verarbeitet werden.

Zentral ist daher die Erkenntnis, dass durch diese enge Kopplung von Aufgaben Anforderungen für die Teilsysteme C2I und VBA nicht willkürlich und unabhängig voneinander ausgewählt, modifiziert oder verworfen werden können. Sonst werden dadurch das Zusammenspiel und die Kompatibilität der Teilsysteme gefährdet. Zudem adressieren sechs der oben genannten 59 Anforderungen sowie fünf weitere Anforderungen aus Kapitel 6.7 direkt die Zusammenarbeit der Programme in den Systemen C2I und VBA. Die Handlungsempfehlung lautet daher:

VBA-Hersteller und Entwickler von VRZ-Software müssen die Systeme C2I und VBA integriert betrachten und auch bei der Softwareentwicklung die Gesamtheit aller Anforderungen betrachten und im Bedarfsfall nur integriert weiterentwickeln.

7.2.5 Herstellung eines Regelungs- und Rechtsrahmens für die Übermittlung kollektiver Informationen in Fahrzeuge

Entscheidend für die Wirksamkeit von VBAs ist die Berücksichtigung der bereitgestellten Informationen im Verkehr und die Umsetzung von Empfehlungen und Vorgaben in den einzelnen Fahrzeugen. Es ist wichtig, dass die Empfehlungen und Vorgaben der VBAs dem Fahrer so dargebracht werden (visuell auf Displays sowie ggf. akustisch und haptisch untermauert), dass der Fahrer sie wahrnimmt und berücksichtigt.

Für die Interaktionsgestaltung mit dem Fahrer ist eine ausreichende Vereinheitlichung der Interakti-

onsprinzipien notwendig, damit der Fahrer beim Wechsel von Fahrzeugen keinen Missverständnissen unterliegen kann. Ebenfalls ist sicherzustellen, dass die von der VBA ausgesandten und vom Interaktionsdesign dargestellten Informationen zeitlich miteinander synchronisiert sind.

Die effektive Umsetzung beschränkt sich dabei nicht nur Geschwindigkeitsvorgaben, sondern umfasst beispielsweise auch Verhaltensvorgaben bei Gefahr durch Straßenschäden, Stauenden, Unfällen oder Falschfahrern, zur Unterstützung von Rettungskräften, für kooperatives Verhalten bei Umleitungsempfehlungen oder in dichtem Verkehr sowie der Befolgung von dynamischen Fahrstreifenzuordnungen.

Daher ist es wichtig, dass die VRZ-Betreiber, die BASt und die Verkehrsministerien darüber abzustimmen, welche Informationen, Empfehlungen und Vorgaben wie dargestellt und umgesetzt werden, damit eine effektive und einheitliche Reaktion der Verkehrsteilnehmer erfolgt.

Darüber hinaus ist es aber vor allem wichtig, dass bestimmte von VBAs beispielsweise über IVIM Nachrichten versandte Informationen einen bindenden Charakter erhalten können. Erst dies ermöglicht in Zukunft eine effektive Verkehrsbeeinflussung auch ohne physische Anzeigetafeln, bzw. in einem Detaillierungsgrad wie er auf Anzeigetafeln nicht abbildbar ist. Die Handlungsempfehlung lautet daher:

VRZ-Betreiber sollten die politische Abstimmung zur Umsetzung von Verhaltens-Empfehlungen und Vorgaben in Fahrzeugen suchen. Vorschriften und Gesetze sollten so angepasst werden, dass auch bestimmte von VBAs versandte Nachrichten sowie Interaktionselemente im Fahrzeug, zur Anzeige dieser Informationen, einen bindenden Charakter erhalten können.

7.3 Weitere Handlungsempfehlungen

Während Kapitel 7.2 konkrete Handlungsempfehlungen auf Basis der in Kapitel 5 und 6 definierten Anforderungen adressiert, werden in den folgenden Kapiteln 7.3.1 bis 7.3.6 darüber hinaus gehende, allgemeinere Handlungsempfehlungen adressiert.

7.3.1 Ausrüstung mit ITS-G5 beginnen und Kombinationsmöglichkeiten mit Mobilfunk 5G planen

In der Welt des Mobilfunks wird vom 3rd Generation Partnership Project (3GPP), welches eine Kooperation von Standardisierungsgremien ist, an der Entwicklung des 5G-Mobilfunk-Standards gearbeitet. Mit diesem Standard sollte es auch möglich sein, C2I-Nachrichten wie CAM und DENM zu Fahrzeugen zu verschicken und von Fahrzeugen zu empfangen. Eine Mobilfunklösung bietet den Vorteil, dass auch auf Streckenabschnitten ohne extra verbaute lokale Kommunikationshardware Informationen mit Fahrzeugen austauscht werden könnten.

Marktreif wird der 5G Mobilfunk-Standard voraussichtlich im Jahr 2020 sein, während der ITS-G5 Standard für C2I-Kommunikation bereits in Produkten verfügbar ist und seitens der Fahrzeughersteller feste Planungen für die serienmäßige Einführung bereits ab 2019 gibt. Auch daher sind bzgl. 5G Mobilfunk noch einige Nachteile und Unsicherheiten zu bedenken. Der serienmäßige Empfang von C2I-Nachrichten über den Mobilfunk-Standard 5G wird wahrscheinlich nicht direkt nach der Markteinführung der Fall sein, sondern noch etwas Zeit in Anspruch nehmen. Zudem ist für den Mobilfunk-Standard das Betreibermodell noch unklar. Der Standard schreibt vor, wie die Technologie aussieht, aber welcher Teil des Standards durch die Betreiber umgesetzt und zu welchen Konditionen er angeboten wird, wird sich erst bei Markteinführung herausstellen.

Eine wichtige Einschränkung bei Mobilfunk ist außerdem, dass es aktuell und auch auf absehbare Zeit Streckenabschnitte ohne ausreichende oder garantierte Netzabdeckung aller Mobilfunkanbieter gibt. Um sicher lokal an wichtigen Streckenabschnitten Informationen mit Fahrzeugen austauschen zu können, sollten die VBA-Betreiber auf den ETSI ITS-G5 Standard setzen.

Derzeit arbeiten die Automobil- und Telekommunikationshersteller an der Entwicklung einer 5G Lösung, die auch in Fahrzeugen verbaut werden kann. Es wurden auch Konsortien gegründet, um eine Entwicklung voranzutreiben [51].

Der Unterschied zwischen den beiden Standards liegt vereinfacht gesagt in der physikalischen Ebene, wie diese Standards jeweils Nachrichten austauschen. So ist es nicht möglich, dass ein Fahr-

zeug mit der einen Technologie direkt mit einem Fahrzeug kommuniziert, in dem nur die andere Technologie verbaut ist. Allerdings können die Programme des Systems C2I, welche die Informationen aus den C2I-Nachrichten des ETSI ITS-G5 Standards verarbeiten, auch die Informationen aus den C2I-Nachrichten des Mobilfunk-Standards 5G verarbeiten. Da beide Standards die gleichen C2I-Nachrichten verschicken können, ergibt sich eine Kombinationsmöglichkeit der Standards, wodurch das System C2I sowohl mit Fahrzeugen kommunizieren, welche den Standard ETSI ITS-G5 verstehen, als auch mit solchen, welche den 5G-Mobilfunk-Standard sprechen. Die Handlungsempfehlung lautet daher:

Die VBA Hersteller sollten die Erweiterbarkeit bzw. Kombinierbarkeit mit 5G Mobilfunk in der Planung und Umsetzung von Hardware und Software berücksichtigen.

7.3.2 Integration bereits vorhandener Systeme in die VRZ

Im heutigen Fahrzeugmarkt finden bereits Systeme Anwendung, für die eine Integration in die VRZ denkbar und sinnvoll ist. Hierzu zählt zum Beispiel das E-Call System, das im Falle eines Verkehrsunfalls automatisch eine Unfallmeldung, in der Informationen über die Unfallzeit, die aktuelle Position und Fahrtrichtung des Fahrzeugs enthalten sind erzeugt und an eine Notrufzentrale versendet. Diese Informationen könnten an die VRZ weitergeleitet werden und so automatisiert eine Unfallwarnung an den vorgelagerten Anzeigequerschnitten erzeugen. Weitere Informationen, die in die VRZ integriert werden können, sind Floating Car Data (FCD) Nachrichten. Diese beinhalten ähnlich dem E-Call System einen Zeitstempel sowie die Position des Fahrzeugs. Zusätzlich können die Verkehrsdaten des Mobilitätsdatenmarktplatzes (MDM) zur Anreicherung der VRZ genutzt werden.

Die Auswertung der genannten Informationen ermöglicht der VRZ ein verbessertes Bild der Verkehrslage zu erhalten. Daher lautet die Handlungsempfehlung:

VRZ-Betreiber sollten bisherige Systeme wie E-Call, FCD sowie den MDM in die VRZ integrieren.

7.3.3 Effiziente Updatefähigkeit von Systemen im Betrieb sicherstellen

Software erfordert regelmäßige (zyklische) sowie teilweise auch kurzfristige und wenig planbare Updates durch Hersteller. Es ist zu beobachten, dass Updatezyklen sich dabei zunehmend verkürzen. Ein Update ist dabei beispielsweise notwendig, wenn Nachrichtentypen sich verändern, aktuelle PKI-Zertifikate eingespült werden müssen, neue Firmenupdates der C2I-Sendehardware vorliegen, neue Funktionen unterstützt werden sollen oder aber wenn Sicherheitslücken entdeckt werden und ein dringendes Softwareupdate erfordern.

Aufgrund der Updates können im Laufe der Lebensdauer einer VBA auch die Anforderungen an Hardware steigen, so dass auch Hardwareupdates bzgl. Rechenleistung notwendig sind. Dadurch könnte der Austausch der Hardware gegenüber normalen Verschleißprozessen verstärkt notwendig sein.

Bezüglich steigender Rechenanforderungen zahlt sich eine angepasste Systemarchitektur aus, die beispielsweise vorsieht, dass manche Prozessierungsschritte nicht lokal in der VBA, sondern möglicherweise in zentralen Hintergrundsystemen ausgeführt werden, die leicht zu aktualisieren oder zu erweitern sind.

Neben der technologischen Machbarkeit von Updates, sind auch angepasste interne Prozesse und Verwaltungssysteme notwendig, um Updates zeit- und kosteneffizient durchführen zu können. So ist es zwingend notwendig, eine Fernwartung und Remote-Updates durchführen zu können, damit keine vor-Ort Begehung aller Anlagen für jedes Update notwendig ist. Ferner gilt es angemessene interne Prozesse zu erstellen, die zyklische Updates vorsehen und auf kurzfristige Sicherheitsupdates reagieren können und den Roll-out neuer Updates bzgl. der dann unterstützten Standards und Funktionen sowie der Ausfallzeiten während der Updates sauber mit allen Betroffenen abzustimmen. Daher lautet die Handlungsempfehlung:

VBA-Hersteller und -Betreiber müssen durch ausgewählte Technologie und angepasste betriebliche Prozesse zeit- und kosteneffiziente Updatefähigkeit der Systeme sowohl zyklisch geplant als auch kurzfristig aus Sicherheitsgründen sicherstellen.

7.3.4 Mehrwert für die Fahrzeugwelt durch den C2I-Informationsaustausch erarbeiten

Um die gewünschten Daten für die Anwendungsszenarien aus Kapitel 4 von der Fahrzeugwelt zu bekommen, ist es nicht ausreichend, die formulierten Anforderungen an die Fahrzeugwelt aus Kapitel 5 und 6 den Fahrzeugherstellern mitzuteilen. Ein ernsthafter Austausch und das Wahrnehmen der Interessen der kollektiven Verkehrsbeeinflussung durch die Automobilindustrie als maßgebliche Treiber der C2I-Technologie wird aber erst dann erfolgen, wenn der Mehrwert einer solchen Kooperation für die Automobilindustrie ersichtlich ist. Deswegen ist einer der ersten wichtigen Schritte, um solche Daten zu erhalten, den Mehrwert für die Fahrzeughersteller durch den Austausch von Informationen über C2I wie beispielsweise Informationen zur Verkehrslage zu ermitteln und zu vermitteln.

Dieser Mehrwert und der Mehrwert durch C2I in der kollektiven Verkehrsbeeinflussung, welcher in Kapitel 7.5.4 zusammengefasst wird, sollten sowohl für die Fahrzeughersteller als auch für die VRZ-Betreiber zu einem jeweils besseren Verständnis der anderen Welt führen. Der daraus entstehende C2I-Informationstausch stellt einen Mehrwert für beide Seiten dar.

Dadurch kann der aktive Austausch mit den Fahrzeugherstellern, wie im folgendem Kapitel 7.3.5 erwähnt wird, besser funktionieren und sollte somit auch zum einem regelmäßigen sowie besserem Austausch zwischen VBA-Betreiber und Fahrzeughersteller auf europäischer Ebene wie beispielsweise in den Standardisierungsgremien führen, s. Kapitel 7.2.2. Für eine Zusammenarbeit ist auch ein geeignetes Kooperationsmodell zwischen den beteiligten Partnern zu entwickeln bzw. zu wählen. Mögliche Kooperationsmodelle für diesen Anwendungsfall können auf den Ergebnissen des Projekts SOCRATES 2.0 [48] aufbauen.

Deshalb lautet die Handlungsempfehlung:

VRZ-Betreiber sollen den Mehrwert für die Fahrzeughersteller durch den Austausch von Informationen über C2I erarbeiten, um besser die eigenen Anforderungen der Systeme C2I und VBA umsetzen zu können. Für die Zusammenarbeit muss ein geeignetes Kooperationsmodell gewählt werden.

7.3.5 Erfahrungsgewinn in Testfeldern nutzen

Es gibt in Deutschland und darüber hinaus in Europa und weltweit aktuell eine wachsende Anzahl an

Testfeldern für Vernetzungstechnologien und automatisiertes vernetztes Fahren. Dabei entsteht gerade lokal ein großer Erfahrungsschatz für den Aufbau und Betrieb von C2I-Systemen, der sich von einsetzbaren Technologien, über die Lebensdauer von Hardware bis hin zu betrieblichen Erfahrungen und aktualisierten Kostenschätzungen erstreckt. Diese Erfahrungen sollten beim Aufbau von VBA mit C2I-Erweiterung genutzt werden.

So ist es beispielsweise hilfreich, Erfahrungen bzgl. der tatsächlich erwartbaren Reichweite im Realverkehr für spezifische Hardwarekomponenten zu haben, um eine ausreichende Vollabdeckung im geplanten Abdeckungsbereich sicherstellen zu können. Um nur ein Minimum an notwendigen Infrastrukturarbeiten durchführen zu müssen, ist es hilfreich, die notwendige Qualität der Datenanbindung der Anlagen im Feld untereinander sowie mit Hintergrundsystemen im Zusammenhang mit dem Entwurf einer geeigneten Netzwerkarchitektur einschätzen zu können.

Zusätzlich erfordern auch neue VBA-Systeme aufgrund steigender Systemkomplexität einen zunehmend hohen Testaufwand zur Sicherstellung eines störungsfreien, sicheren Betriebs (auch bei Systemupdates).

Daher lautet die Handlungsempfehlung:

VBA-Hersteller und VRZ-Betreiber sollten Kooperationen mit geeigneten Testfeldern eingehen, um Erfahrungen für eingesetzte C2I-Systeme zu gewinnen und wechselseitig Anforderungen und Erkenntnisse auszutauschen.

7.4 Handlungsempfehlungen für geplante Anwendungsszenarien und mögliche nächste Schritte

Durch die absehbar zunehmende Vernetzung der Verkehrsteilnehmer ergeben sich zahlreiche Potenziale neuer Funktionalitäten und einer erhöhten Wirksamkeit für Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBAs). Vor diesem Hintergrund wurden in Kapitel 4 zukünftige Anwendungsszenarien zusammengestellt und in Kapitel 5 und 6 die Anforderungen an zukünftige C2I- und VBA-Systeme ausgearbeitet, die zur Realisierung dieser Anwendungsszenarien erfüllt werden müssen.

Kapitel 7.4.1 betrachtet daher allgemeine Aspekte der voraussichtlichen Entwicklung der Fahrzeugausstattung mit C2I-Kommunikation.

Kapitel 7.4.2 – 7.4.4 beleuchten erste sinnvolle Anwendungsszenarien, Funktionen und nächste Schritte der Umsetzung. Dabei wird die in Kapitel 4 bzw. Anhang 2 erarbeitete Sammlung und Struktur geplanter Beeinflussungsstrategien zugrunde gelegt. Die Einzelmaßnahmen sind ferner in die Kategorien Streckenbeeinflussung, Netzbeeinflussung, Knotenpunktbeeinflussung, Anpassung des Fahrverhaltens sowie individuelle Informationen eingeteilt. Kapitel 7.4.2 – 7.4.4 diskutieren diese Kategorien der Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen bzgl. ihrer Sinnfälligkeit für unterschiedliche Phasen der C2I-Einführung bzw. unterschiedliche Ausstattungs-raten.

7.4.1 Timeline C2I-Einführung berücksichtigen

Da sich aktuell erst sehr wenige Fahrzeuge mit C2I-Ausstattung auf der Straße befinden und der Einsatz erst für zukünftige Fahrzeuge geplant ist, lohnt es sich näher zu betrachten, wie sich Verfügbarkeiten voraussichtlich entwickeln.

Aktuell sind eher nur Prototypen und Sonderfahrzeuge mit C2I-Kommunikationsausstattung auf der Straße. Dies wird sich allerdings in naher Zukunft ändern. Volkswagen hat beispielsweise angekündigt, alle Fahrzeuge der neuen Reihe Golf 8, die ab 2019 verfügbar ist, mit C2I-Kommunikation auszustatten. Auch weitere Hersteller haben eine entsprechende Markteinführung geplant. Auf Basis empirischer Erhebungen der Prognos AG und des Fraunhofer ISI wurde eine Durchdringung im Neufahrzeugbereich von 10 % (C2I- sowie C2C-Kommunikation) für das Jahr 2020 und 65 % (C2C-Kommunikation) bzw. 45 % (C2I-Kommunikation) für das Jahr 2030 antizipiert [47]. Hinzu kommt die Anzahl aller Gebrauchtwagen, so dass sich selbst bei 100 % Ausstattungsrate bei Neufahrzeugen ohne verpflichtende Nachrüstung noch mindestens zwanzig Jahre ein Mischverkehr von ausgestatteten und nicht ausgestatteten Fahrzeugen ergibt. Daher ergibt sich die allgemeine Handlungsempfehlung:

VBA-Hersteller und VRZ-Betreiber sollten sich schon jetzt auf die Herausforderungen einer steigenden C2I Verfügbarkeit vorbereiten, in dem sie und die benötigten Softwarebausteine der Systeme VBA und C2I entwickeln und die Anpassung betrieblicher Abläufe auf häufigere

Software und Protokollaktualisierungen vorbereiten. Sie sollten dabei beim Rollout neuer Funktionen den graduellen Hochlauf der voraussichtlichen Durchdringungsrate mit C2I-Systemen in der Fahrzeugflotte berücksichtigen.

7.4.2 Anfangsphase mit geringer Ausstattungsrate

Für die Anfangsphase mit einer noch sehr geringen Ausstattungsrate steht die Frage im Vordergrund, was schon bei wenigen ausgestatteten Fahrzeugen funktioniert und sich verkehrstechnisch lohnt.

Bei wenigen ausgestatteten Fahrzeugen stehen zunächst C2I-unterstützte VBAs im Vordergrund, da diese in ihrer grundlegenden Funktionsfähigkeit nicht vom C2I-System abhängen.

Sehr wenige von der VBA über C2I empfangene Informationen aus CAM-Nachrichten wie Geschwindigkeit, Position oder Fahrtrichtung eines Fahrzeugs tragen voraussichtlich noch keinen signifikanten Mehrwert bei. Hier sind in der Anfangsphase die Daten der C2I-Technologie ggf. für Plausibilitätsprüfungen und zur Ergänzung der Daten der konventionellen Datenerfassung der VBA zu nutzen, wie bereits zum Teil durch andere Systeme in Kapitel 7.3.2 vorgeschlagen wird.

Zuerst sollten die C2I-Funktionen umgesetzt werden, die die individuelle oder kollektive Sicherheit erhöhen. Dies betrifft insbesondere ortsgebundene Gefahrenwarnungen wie beispielsweise bei Seitenwind, einem Unfall oder einer Ölspur.

Auch bei einigen anderen Streckenbeeinflussungsmaßnahmen wie Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Überholverböten kann eine Zusatzinformation (zur Begründung der Maßnahme) via C2I-Nachricht zu einer besseren Befolgungsrate führen und könnte einen Sicherheitsgewinn bewirken.

Bei Maßnahmen zur Netzbeeinflussung und Knotenpunktbeeinflussung haben zusätzliche C2I-Nachrichten hingegen voraussichtlich nur sehr geringen Zusatznutzen. Beispielsweise hat eine Routenangabe bei wenigen Fahrzeugen noch keinen Netz-entlastenden Effekt, und auch Spurwechselempfehlungen in Verflechtungsbereich sind für einzelne Fahrzeuge von sehr begrenzter kollektiver Wirkung.

Reine C2I-Systeme zur Verkehrsbeeinflussung ohne eigene Detektorquerschnitte oder Anzeigegele-

mente (z. B. außerhalb von VBA-Gebieten) haben bei einer geringen Ausstattungsrate keine Wirkung. Hinzu kommt, dass die unterschiedliche Informationslage in ausgestatteten Fahrzeugen und nicht ausgestatteten Fahrzeugen sogar zusätzliche Probleme verursachen könnte. Daher sollen VRZ-Betreiber in dieser Phase bestehende VBA mit C2I ausstatten und keine reinen C2I-Systeme aufstellen.

Ortsgebundene Gefahrenwarnungen sind aus gleichem Kalkül wie zuvor möglich und sinnvoll. Das Gleiche gilt für Maßnahmen zur Anpassung des Fahrverhaltens, die zu einer Gefahrenabwehr beitragen wie beispielsweise eine Falschfahrerwarnung, Rettungsgassenhinweise oder Informationen zu Sondertransporten.

Unter den Maßnahmen zur Anpassung des Fahrverhaltens, die nicht einer direkten Gefahrenabwehr dienen, könnten ggf. einige wenige bereits hilfreich sein, wie das Shockwave Damping, wo schon wenige Fahrzeuge erste Effekte erzielen können.

Zusammenfassend lässt sich als Handlungsempfehlung festhalten:

In der Anfangsphase sollte der Fokus auf der Generierung und Übermittlung von lokalen Gefahrenwarnungen über C2I ausschließlich auf Strecken mit bestehender VBA-Infrastruktur liegen.

7.4.3 Wachstumsphase mit zunehmender Ausstattungsrate

In dieser Phase gewinnt die Datenerhebung via C2I-Kommunikation an Bedeutung, da nun spezifische Verkehrslagen und Ereignisse wie Stauenden zunehmend zuverlässig aus den Fahrzeugdaten ermittelt werden können. Unter Verwendung der Informationen, die Fahrzeuge über ihre Umgebung wahrnehmen, kann schnell weiterer Mehrwert gewonnen werden. Als Beispiel ist hierbei die schnelle und sichere Detektion und Übermittlung von Unfällen, Witterungsproblemen oder Falschfahrern zu nennen. Die Quantifizierung der verbleibenden Unsicherheiten in der Datenlage bei variierenden Ausstattungsraten und deren Effekte auf spezifische Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen erfordert teilweise weitere Forschung.

Die in Kapitel 4 erarbeiteten Maßnahmen zur Netz-, Knotenpunkt- und Streckenbeeinflussung sowie zur

Anpassung des Fahrverhaltens wirken sich mit steigender Ausstattungsrate zunehmend aus. Als entsprechende Beispiele hierfür sind Routenangaben, Kooperatives Fahren oder Falschfahrer-Warnungen zu nennen.

Daher lautet die Handlungsempfehlung:

Gewonnene Erfahrungen von Simulationen in der Anfangsphase in Bezug auf die neu entwickelten Algorithmen für VBA Maßnahmen mit unterschiedlicher C2I-Ausstattungsrate, müssen während der Wachstumsphase an einzelnen realen VBA validiert werden.

7.4.4 Fernziel Vollaussstattung

Bei einer erreichten Vollaussstattung der Fahrzeugflotte mit Kommunikationstechnik (Bestandsfahrzeuge sind ggf. nachrüstbar), können die Vorteile von C2I-basierten Verkehrsbeeinflussung des gesamten Maßnahmenkatalogs maximal zur Geltung kommen. Unter den Beeinflussungsmaßnahmen, die rein auf C2I-Basis und ohne VBA Detektionsquerschnitte und Anzeigeelemente wirken sollen, gibt es einige, die erst bei sehr hoher Ausstattungsrate oder sogar Vollaussstattung sinnvoll in Frage kommen. Dazu zählen Maßnahmen zur Streckenbeeinflussung, die eine hohe Befolgung erfordern wie die Fahrstreifenräumung und Fahrstreifenspernung.

Weitere Maßnahmen der Strecken- und Knotenbeeinflussung auf reiner C2I-Basis erfordern rechtliche Regelungen, die den Nachrichten einen bindenden Charakter geben, um durchsetzbar und ggf. sanktionierbar zu werden, wie beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Überholverbote, s. auch Kapitel 7.2.5.

Bei Vollaussstattung könnte die (kollektive) Verkehrsbeeinflussung auch über ein einziges System innerhalb einer kooperativen Verkehrszentrale betrieben werden, die fahrzeugbezogene übernimmt, aufbereitet, Situationen detektiert, Maßnahmen vorschlägt und diese an die Fahrzeuge übermittelt. Da sämtliche getroffene Maßnahmen dann auch ins Fahrzeug übertragen werden, könnte auch ein Rückbau von VBAs erfolgen, um die Kosteneffizienz zu erhöhen (s. Bild 30). Es ist zu betrachten, aus welchem Grund eine VBA aufgebaut wurde und was passieren könnte, wenn doch ein nicht ausgestattetes Fahrzeug auf der Straße ist und dem Fahrer nun die vorher vorhandene Information fehlt.

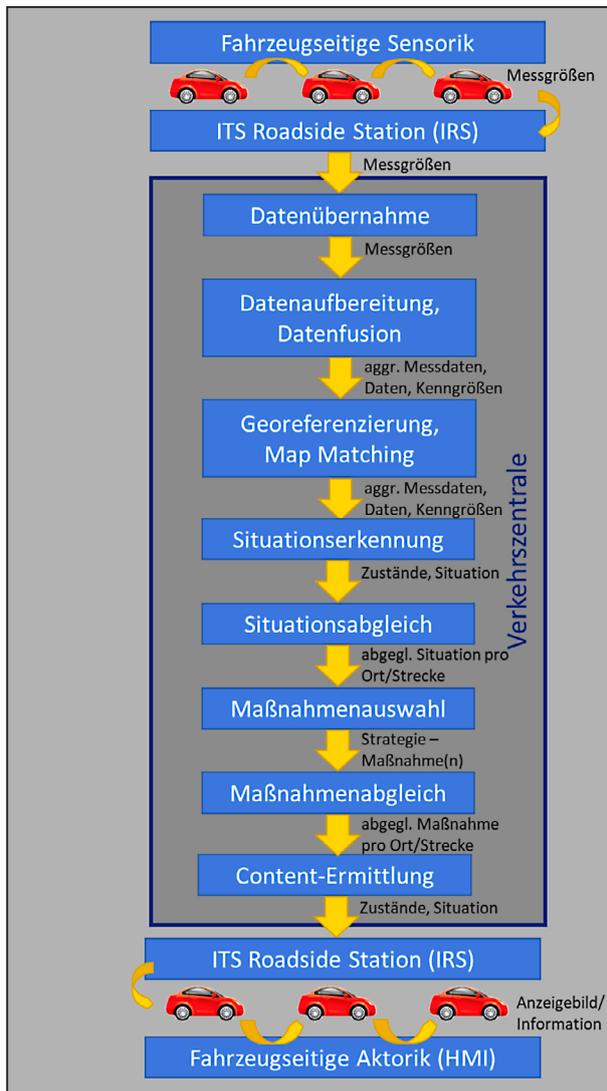


Bild 30: Mögliche Systemarchitektur bei Vollausstattung von C2I

Beispielsweise könnten situationsabhängige lokale Gefahrenwarnungen problematisch zu ersetzen sein, wenn sie vorher beispielsweise an einem Gefahrenschwerpunkt notwendig erscheinen. Daher ergibt sich die Handlungsempfehlung:

Bei erreichter Vollausstattung sollte die rechtliche Basis für eine bindende, rein Nachrichtenbasierte Verkehrsbeeinflussung geschaffen sein.

7.5 Zeitliche Einsetzbarkeit der Anwendungsfälle

Wie in Kapitel 7.4 Handlungsempfehlungen zu dem Verlauf der Ausstattung von Fahrzeugen mit C2I genannt, werden in diesem Kapitel die Anwendungsszenarien aus Kapitel 4 der jeweiligen Phase von Anfangsphase bis zur Vollausstattung zugeordnet.

7.5.1 Anwendungsfälle der Anfangsphase

Die Anwendungsfälle der Anfangsphase für die kollektive Verkehrsbeeinflussung über C2I zeichnen sich besonders durch einen statischen Ort und längere Dauer des Ereignisses sowie den rein informativen Charakter der Kommunikation in Richtung der Fahrzeuge innerhalb von VBA-Gebieten aus.

Die Anwendungsfälle der Anfangsphase, welche durch die festen geografischen sowie baulichen Gegebenheiten oder Informationen von den Tunnel-Betreibern und dem Baustellenmanagement umgesetzt werden können, sind folgende:

- Verkürzter Einfädelungstreifen (7b)
- Kein Seitenstreifen nach dem Einfädelungstreifen (7c)
- Arbeitsstelle kürzerer Dauer (20)
- Arbeitsstelle längerer Dauer (22)
- Fahrstreifenreduktion (27)
- Tunneleinfahrt (31)
- Fahrbahnteiler (32)
- Fahrstreifenwahl an Ausfahrten (33)
- Gesperre Ausfahrt (35)
- Zufahrt zum Knotenpunkt (36)
- Vollsperrung eines Streckenabschnitts (39)
- Enge Kurve in Rampe (2)

Beteiligte Parteien sind für diese Anwendungsfälle insbesondere VBA-Betreiber, Tunnel-Betreiber, die Straßenbaumeistereien und das Baustellenmanagement.

Zusätzlich zu diesen genannten Anwendungsfällen können weitere Anwendungsszenarien in der Anfangsphase umgesetzt werden, die sich auf konventionell detektierte lokale Wetter- oder Verkehrslage beziehen. Allerdings ist gerade zu Beginn die Unsicherheit der Informationen von Fahrzeugen als Datenquelle groß und wird erst mit zunehmender Ausstattungsrate besser werden. Durch Abweichungen einzelner Fahrzeuge vom normalen Fahrverhalten bzw. Fahrattributen, welche von den aufgezeichneten C2I-Nachrichten hergeleitet werden, können die folgenden Anwendungsszenarien durchgeführt werden:

- Nässe/Glätte auf Rampe (3)

- Rückstau auf Rampe (4)
- Überlastungsstau auf der Hauptfahrbahn (12)
- Nasse Fahrbahn (16)
- Geringe Sichtweite (17)
- Glatte Fahrbahn (18)
- Seitenwind auf Brücke (19)
- Unebene Fahrbahn, Ölspur (28)
- Rückstau an Ausfahrten (34)

7.5.2 Anwendungsfälle der Wachstumsphase

Die zusätzlichen Anwendungsfälle der Wachstumsphase zeichnen sich dadurch aus, dass zunehmend Sensorinformationen von vernetzten Fahrzeugen verteilt und für die Infrastruktur und andere Fahrzeuge nutzbar gemacht werden. Dies betrifft unter anderem folgende Fälle:

- Statisches Hindernis auf Rampe (5)
- Bewegliches Hindernis auf Rampe (6)
- Langsam einfahrendes Fahrzeug (9)
- Fahrstreifenbezogener Stau (Spezialfall: Lkw-Stau) (13)
- Lkw-Kolonnen (14)
- Bewegliche Arbeitsstelle (21)
- Unfall (23)
- Sondertransport (24)
- Falschfahrer auf der Hauptfahrbahn (25)
- Steigungsstrecke (26)
- Statisches ungesichertes Hindernis (29)
- Bewegliches ungesichertes Hindernis (30)

An der Umsetzung beteiligte Parteien sind in der Wachstumsphase zunehmend die Fahrzeughersteller, die im Fahrzeug ausgewertete Sensorinformationen weiterkommunizieren und andersherum C2X-Informationen wieder mit bordeigener Sensorik abgleichen.

Zudem sind spätestens in dieser Phase Hersteller von Sonderfahrzeugen gefragt, diese mit C2X-Kommunikation auszustatten, um eine bessere Lenkung dieser Fahrzeuge und eine gute Information des umliegenden Verkehrs über die besonde-

ren Gefahren dieser Fahrzeuge sicherstellen zu können.

7.5.3 Anwendungsfälle der Vollausrüstung

Die zusätzlichen Anwendungsfälle bei hoher bzw. vollständiger Ausrüstungsrate zeichnen sich durch Kenntnisse über das Gesamtnetz bzw. die Vernetzung vieler Fahrzeuge und eine zunehmende Kooperativität aus, wodurch eine Erfassung der Verkehrslage auf der Haupt- und den Alternativrouten wichtig ist. Zudem ist es nun möglich, nicht nur Sensorinformationen zu verbreiten, sondern auch Handlungen wie Fahrmanöver kooperativ abzustimmen.

- Fahrstreifenreduktion auf Rampe (1)
- Einfädelungsmanöver – Einfahrende (7a)
- Einfädelungsmanöver – Hauptfahrbahn (7d)
- Einfahrpulk – Einfahrende (8a)
- Einfahrpulk – Hauptfahrbahn (8b)
- Verkehrssicherheitsdefizite auf einem Fahrstreifen (10)
- Verkehrssicherheitsdefizite zwischen den Fahrstreifen (11)
- Fahrstreifenwahl (15)
- Verflechtung (37)
- Überlastung der Hauptroute (40)
- Baustelle/Engstelle auf der Hauptroute (41)
- Großräumige Umleitung aufgrund einer LDC-Strategie (42)
- Ereignisbasierte Verkehrslenkungen (43)
- Fahrzeuggruppenspezifisches Routing (44)

In dieser Phase sind nun neben den Fahrzeugherstellern auch wieder Betreiber von Verkehrszentralen gefragt, um ein detailliertes Bild der Verkehrslage herzustellen und auf dieser Basis gezielt den Verkehr beispielsweise durch Fahrzeuggruppenspezifisches Routing zu steuern.

7.5.4 Mehrwert durch C2I in der kollektiven Verkehrsbeeinflussung

Der Mehrwert für Verkehrsbeeinflussungsanlagen durch die Nutzung von C2I-Kommunikation besteht prinzipiell in einem Informationsgewinn sowie zu-

sätzlichen Möglichkeiten der Verkehrsbeeinflussung.

Der Informationsgewinn besteht zunächst darin, Informationen zur Verkehrslage und Gefahren ab einer gewissen Ausstattungsrate der Fahrzeuge deutlich detaillierter und teilweise aktueller zur Verfügung zu haben. Darüber hinaus stehen aber auch neue Informationen aus einem größeren Erfassungsbereich sowie über VBA-basiert nicht erkennbare Gefahren oder Ereignisse zur Verfügung:

- Fahrzeuge liefern über C2I den genauen Ort sowie Ereignistyp. Über die VBA ist keine automatische Erfassung von Gefahren möglich. Es wird ein wesentlicher Zeitgewinn hinsichtlich der Detektionszeit erwartet.
- In Gebieten, in denen keine umfassende Erfassung (z. B. auf jedem Segment) durch die VBA erfolgt, kann das Verkehrslagebild deutlich präzisiert werden und Entscheidungsprozesse unterstützt werden.
- Genaue Lokalisierung von Ereignissen und Störungen, auch außerhalb von VBA-Gebieten.
- Durch die Kenntnis anonymisierter Zielinformationen, welche durch die Handlungsempfehlung in Kapitel 7.2.2 in den Standard übernommen werden kann, werden Verkehrsströme vorhersehbarer. Das Umleitungspotenzial von Verkehrsmanagementmaßnahmen kann deutlich besser abgeschätzt werden.

Im Bereich der Verkehrsbeeinflussung bietet sich vor allem die Möglichkeit, deutlich individuellere Vorgaben zu machen und dadurch Vorteile für die Gesamtverkehrslage oder Sicherheit zu erzielen:

- Vorgabe individualisierter Routenempfehlungen für Fahrzeuggruppen, so dass Verkehrsströme sinnvoll aufteilbar sind und Spezifika wie Fahrzeugtypen ggf. sogar berücksichtigt werden können.
- Überwachung und Vorgabe sicherer Zeit- bzw. Weglücken sowie von angemessenen Beschleunigungen bzw. Verzögerungen als eine neue Art der kollektiven Verkehrsbeeinflussung für einen besseren Verkehrsfluss und verbesserte Sicherheit.

7.6 Minimalanforderungen der Anfangsphase

Zu den Minimalanforderungen, welche neben der infrastrukturseitigen Errichtung von R-ITS-Stationen an den relevanten Positionen wie Tunneleinfahrten oder Arbeitsstellen bestehen, gehören einerseits die Anforderungen, welche den ETSI-ITS Standard erfüllen, und andererseits die Anforderungen, welche die MARZ 2018 Spezifikation umsetzen. Zusätzlich zu diesen Anforderungen sind mindestens die Anforderungen zu erfüllen, welche den grundlegenden Austausch zwischen den System C2I und VBA regeln. Diese Anforderungen sind zu erfüllen, damit die Systeme untereinander reibungslos kommunizieren können und somit nicht die Verkehrssicherheit beeinträchtigt wird. Die 18 Minimalanforderungen für die Zusammenarbeit der Systeme C2I und VBA sind im Folgenden aufgelistet:

- AFO_C2I_akt_020
- AFO_C2I_akt_021
- AFO_C2I_akt_023 bis AFO_C2I_akt_025
- AFO_C2I_akt_028 bis AFO_C2I_akt_030
- AFO_VBA_001 und AFO_VBA_002
- AFO_VBA_008
- AFO_VBA_012 und AFO_VBA_013
- AFO_VBA_062 bis AFO_VBA_066

Weitere Minimalanforderungen, die zur Umsetzung der Anwendungsfälle der Anfangsphase notwendig sind, gehören zur Datenerfassung oder erfassen eine Schnittstelle zum Informationsaustausch wie beispielsweise für Arbeitsstellen zum Baustellenmanagement:

- AFO_C2I_sens_50
- AFO_C2I_sens_51
- AFO_VBA_29
- AFO_VBA_30
- AFO_VBA_37

7.7 Ausbau in Phasen als Roadmap

Die in Kapitel 7.5 dargestellten Anwendungsfälle bedingen den zunehmenden Ausbau von C2I-Kommunikation, wie einer Übersichts-Roadmap in Bild 31 dargestellt. Die Maßnahmen in der Roadmap

sind in die gleichen Phasen gegliedert wie in Kapitel 7.5.

7.7.1 Aufgaben der Anfangsphase

Das Hauptziel der Anfangsphase ist es die in Kapitel 7.5.1 beschriebenen Anwendungsfälle an ersten ausgewählten Orten zu ermöglichen und entsprechende I2C-Nachrichten zu versenden.

Zu diesem Zweck muss C2I-Kommunikation, bestehend aus einzelnen RSU, in ausgewählte VBA integriert werden. Da sich der Markt der C2I-Kommunikationstechnik stark entwickelt, ist es aktuell schwer Kosten für eine Budgetplanung abzuschätzen. Trotzdem sollte eine Budgetabschätzung für die Ausstattung aller VBAs mit C2I durchgeführt werden, um einen groben Richtwert für eine Kosten-Nutzen-Rechnung zubekommen.

Bei den VBA-Betreibern muss zudem die notwendige Systemsoftware erstellt werden, die es den VBA-Betreibern ermöglicht, Nachrichten an die Fahrzeuge im I2C-Versand als VBA-Unterstützung zu übermitteln. Zudem muss bei den VBA-Betreibern eine Systemsoftware entwickelt werden, welche die C2I-Daten verarbeiten kann, damit diese Daten als Detektionsunterstützung dienen können. Hier muss darauf geachtet werden, dass beim Erstellen der Software alle Minimalanforderungen, die bereits näher in Kapitel 7.6 beschrieben wurden, eingehalten werden.

Als erste Ausbauorte sollten am besten VBAs ausgewählt werden, die bereits in einem Testfeld für

vernetztes Fahren liegen, wie beispielsweise auf der A2 oder A39 innerhalb des Testfeldes Niedersachsen, dem C-Roads Testfeld in Hessen oder auf der A9 innerhalb des Digitalen Testfelds Autobahn. Dies hat der Vorteil, dass durch Kooperation mit einem Testfeld und die dort vorhandene Messtechnik und Expertise die einfachste Möglichkeit einer kontinuierlichen Evaluation der Effekte stattfindet. Daher sollten VBA Betreiber entsprechende Kooperationsverträge mit den betroffenen Testfeldern abschließen, um Mehraufwand für eigene Erhebungen zu vermeiden.

Eine weitere Aufgabe in der Anfangsphase liegt in der Erstellung von Simulationen (sofern noch nicht vorhanden), anhand derer zukünftige Zusatzfunktionen entwickelt und simulativ bewertet werden können. Auch hier können Kooperationen mit entsprechenden Unternehmen, Universitäten oder Forschungseinrichtungen lohnend sein, um auch vorhandenen Verkehrs- und Vernetzungssimulationen aufzubauen.

7.7.2 Aufgaben der Wachstumsphase

Das Ziel der Wachstumsphase ist es die Anwendungsfälle dieser Phase zu unterstützen, s. Kapitel 7.5.2 und den vollen Funktionsumfang für den Zeitpunkt der (annähernden) Vollaussattung in der Fahrzeugflotte vorzubereiten. Dies bedeutet, dass nun alle existierenden VBA mit einer RSU ausgestattet werden sollten. Die entwickelte Systemsoftware der VBA-Betreiber muss so angepasst werden, dass für die Anwendungsfälle dieser Phase die

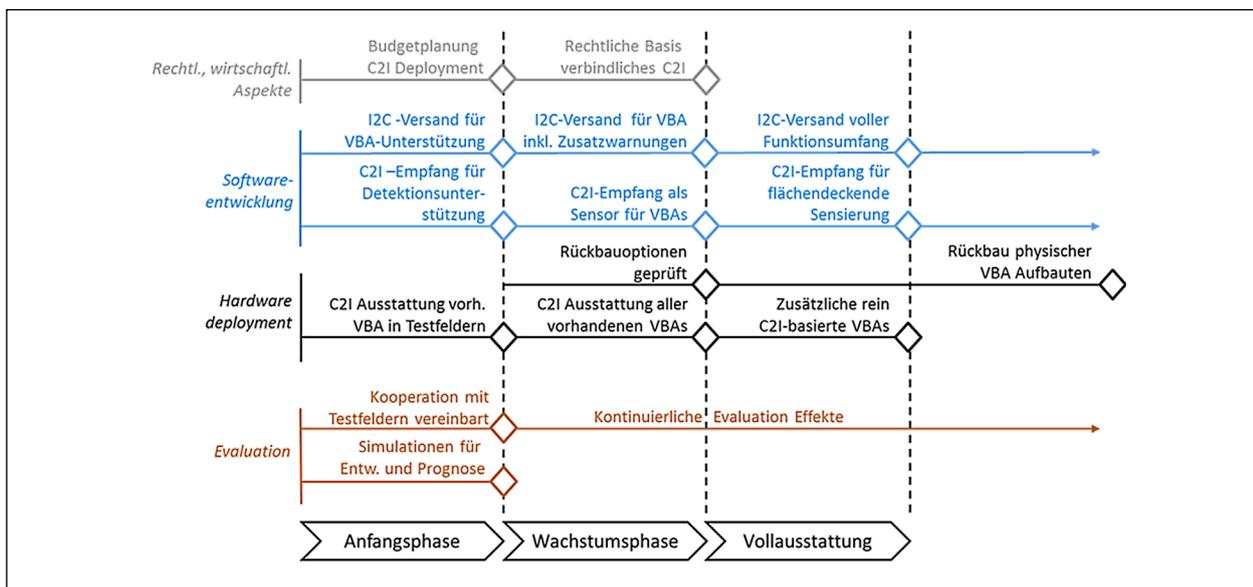


Bild 31: Übersicht Roadmap

benötigten Informationen versenden werden können und die zusätzlichen Sensorinformationen der Fahrzeuge genutzt werden kann. Des Weiteren muss die Software allen Anforderungen aus Kapiteln 5 und 6 erfüllen.

Weiterhin sollte nun auch die rechtliche Basis für eine bindende, rein nachrichtenbasierte Verkehrsbeeinflussung geschaffen werden. Zusätzlich sollte eine Überprüfung der Option des Rückbaus der VBA – hier explizit der Schilderbrücken und Anlagen – geprüft werden, da bei entsprechender rechtlicher Basis und Ausstattung der Fahrzeuge Anzeigetafeln nicht mehr notwendig sein müssen.

7.7.3 Aufgaben der Vollausstattungsphase

Nachdem alle existierenden VBA ausgestattet sind, können in dieser Phase zunehmend rein C2I-basierte VBA aufgebaut werden.

Um alle Anwendungsfälle dieser Phase wie in Kapitel 7.5.3 aufgelistet abbilden zu können, ist weiter Anpassung der Software notwendig, in der aus der Fusion aller C2I-Nachrichten sowie weiterer Informationsquellen eine flächendeckende Verkehrslage bestimmt wird und so eine gezielte Verkehrsbeeinflussung bis auf die Ebene einzelner Fahrzeuggruppen oder Einzelfahrzeuge koordiniert möglich wird.

Die kontinuierliche Evaluation der Effekte neuer Maßnahmen sollte auch hier fortgesetzt werden.

7.8 Offene Forschungsfragen

Auf Basis der betrachteten Anwendungsszenarien, geplanten Beeinflussungsstrategien und diskutierten Technologien ergeben sich zahlreiche offene Forschungsfragen. Einige dieser Forschungsfragen wurden bereits im Papier „Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren (AVF)“ [49] adressiert. Diese werden hier weiter konkretisiert und vor allem durch VBA-Anwendungsfälle mit Integration von C2I-Technologie ergänzt.

7.8.1 Offene Forschungsfragen der Anfangsphase

Die folgenden Forschungsfragen sollten noch zügig oder während der Anfangsphase geklärt werden:

- Wie kann eine Integration der Systeme VBA und C2I auf technischer, funktionaler und organisatorischer Sicht gestaltet werden?
- Wie können international abgestimmte einheitliche Symbole und Interaktionsstrategien im Fahrzeug in einem Zusammenspiel von VBA Maßnahmen und fahrzeuginternem Interaktionsdesign aussehen? Zum einen gibt es den Bedarf, alle Fahrer und Fahrzeuge gleichzeitig und gleichwertig zu informieren, zum anderen ist dies fahrzeugintern in ein konsistentes Interaktionsdesign zu integrieren und dabei die aktuelle Situation im Fahrzeug und Zustand des Fahrers zu berücksichtigen.
- Wie kann die Zielgruppe der Motorradfahrer in die Verkehrsbeeinflussung durch C2I und VBAs stärker integriert werden?
- Wie können die wachsenden Security Anforderungen adressiert werden, um zum einen Datenschutz zu gewährleisten und zum anderen insbesondere mögliche Cyber-Angriffe abzuwehren?
- Welche Möglichkeiten und Risiken bietet die Automatisierung der VBA im Zusammenhang mit C2I?
- Wie kann ein vollständiges Testprozedere aussehen, dass die korrekte Funktion und Interoperabilität sicherstellt? Dies bezieht sich auf formal verifizierte Software und die Einhaltung von C2I-Spezifikationen. Hier sollte nach langjährigen Erfahrungen im Bahnbereich mit ETCS-Tests insbesondere der Bereich des Conformance Testings adressiert werden.

7.8.2 Offene Forschungsfragen der Wachstumsphase

Während der steigenden C2I-Ausstattungsrate der Fahrzeuge sollten diese Forschungsfragen geklärt werden:

- Wie kann die Qualität und Korrektheit von eingehenden Fahrzeugdaten und erkannten Situationen sichergestellt werden?
- Wie kann die Datenaggregation anhand von Objektbildung und -verfolgung stattfinden?
- Wie können die verbleibenden Unsicherheiten in der Datenlage bei variierenden C2I-Ausstattungsraten quantifiziert und deren Effekte auf

spezifische Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen abgeleitet werden?

- Wie kann eine intelligente Datenfusion mehrerer Datenquellen beispielsweise aus C2I-Nachrichten, VBA-Detektionsquerschnitten, Wetterdiensten und einer Verkehrslage von Drittanbietern genutzt werden, um die Datenqualität zu erhöhen und Unsicherheiten zu reduzieren?
- Wie kann mit neuen Algorithmen die Situationserkennung aus fahrzeugseitigen Daten verbessert werden? Welche Möglichkeiten eröffnen hier lernende Systeme und KI-Algorithmen zur Mustererkennung?
- Wie kann die Verkehrslage auf Basis aktueller und historischer Daten präzise simulationsbasiert vorhergesagt werden?
- Wie können Maßnahmen aus den Situationen abgeleitet werden? Neue Algorithmen für neue und alte Maßnahmen.
- Wie kann eine Koordinierung aller Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen erfolgen, die auch Einflüsse außerhalb der VBAs berücksichtigt, wie beispielsweise Routenempfehlungen von Drittanbietern, Mobility-Pricing Konzepte, Reiseempfehlungen oder Koordinierung von Lichtsignalanlagen in angrenzenden Straßennetzen?
- Wie können simulationsbasiert verschiedene Beeinflussungsstrategien online in ihrer voraussichtlichen Wirkung auf die aktuelle und zukünftige Verkehrslage ausprobiert und so die optimale Kombination von Maßnahmen getroffen werden?
- Welche verkehrstechnischen Maßnahmen können über die Aktorik von C2I durchgeführt werden, welche nicht über die Aktorik von VBA weitergegeben werden kann?
- Welche Auswirkungen haben Informationsdiscrepanzen bei rein C2I-basierten Systemen in einem Mischverkehr aus teilweise ausgestatteten Fahrzeugen auf Fahrverhalten und Verkehrsfluss, wenn einige Fahrer nicht verstehen, warum andere Fahrzeuge sich anders verhalten?
- Wie kann der Nutzen der vorgeschlagenen Maßnahmen in der C2I-Erweiterung bestehender VBAs sowie neuer Maßnahmen auf reiner C2I-Basis vorausschauend sowie begleitend im Betrieb evaluiert werden?

7.8.3 Offene Forschungsfragen der Vollaustattung

Um das Potenzial der Vollaustattung ausschöpfen zu können, sollten folgende Forschungsfragen erörtert werden:

- Wie können der Anschluss und die Berücksichtigung angrenzender Straßennetze wie Bundesstraßen oder urbane Straßennetze erfolgen? Können C2I-basierte VBAs auf andere Straßentypen erweitert werden? Können angrenzende Straßen bzgl. der Kopplung im Verkehrsfluss und der prädierten Verkehrslage berücksichtigt werden?

8 Fazit und Ausblick

Das Forschungsprojekt hatte die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für die Integration von C2I-Technologie in die Verkehrsbeeinflussung und die Überführung in die Praxis zum Ziel.

Aufbauend auf einer Übersicht über die Technologien C2I und VBA wurde zunächst das Potenzial der C2I-Technologie hinsichtlich der Nutzung in der kollektiven Verkehrsbeeinflussung erhoben und dokumentiert. Zusammen mit Praxispartnern wurden Anwendungsszenarien erhoben und beschrieben, die das Potenzial einer Integration von C2I-Technologie in die Verkehrsbeeinflussung ausschöpfen.

Als wesentliche Anwendungen mit verkehrstechnischer Bedeutung und hohem Mehrwert für die VBA-Betreiber (kollektiver Nutzen) wird angesehen:

- Schnellere und zuverlässigere Ereignisdetektion sowie des Ereignisendes → Maßnahmen zur Absicherung des Ereignisses sowie zur Information des Verkehrsteilnehmers können schneller umgesetzt werden, umgesetzte Schaltungen werden nach Ereignisende zeitgerecht und ortspräzise aufgehoben
- Neue, unabhängige Datenquelle wird erschlossen → Daten aus C2I-Technologie können zur Qualitätssicherung der VBA-Daten sowie zur Datenvervollständigung und Datenfusion (zeitlich/räumlich) herangezogen werden
- Schnelle Informationsverbreitung → Kollektive Informationen können direkt ins Fahrzeug übertragen werden

- Direkte Kommunikation mit dem Verkehrsteilnehmer (Kunden) wird ermöglicht → dies schafft Transparenz und Vertrauen, indem Maßnahmen begründet und motiviert werden können
- Fahrzeugseitiges System schafft höhere Glaubwürdigkeit → damit höhere Akzeptanz und Befolgung kollektiver Maßnahmen, damit auch höhere Nutzeneffizienz
- Präzise Stauendewarnung (zeitlich/räumlich) → Steigerung der Verkehrssicherheit

Aufbauend darauf wurden Anforderungen an die Systeme C2I und VBA definiert, um die definierten Potenziale zu adressieren und die beschriebenen Anwendungsszenarien umzusetzen. Das Forschungsprojekt orientiert sich an den Vorgaben des MARZ 2018 [39] und der darin verfolgten Systemarchitektur für das System Verkehrsbeeinflussung. Die für die Umsetzung der Anwendungsszenarien erforderlichen verkehrstechnischen Erweiterungen des Systems VBA (insbesondere Situationserkennung und Maßnahmenkatalog) machen weiterführende Forschung hinsichtlich neuer Situationserkennungsalgorithmen mit fahrzeugseitigen Daten sowie Wirkung und Umsetzung neuartiger kollektiver Maßnahmen erforderlich. Zahlreiche Anforderungen an das C2I-System sind bereits in der vorhandenen Standardisierung definiert. Diese konzentrieren sich allerdings aktuell mehr auf individuelle Nutzen als auf die Unterstützung der kollektiven Verkehrsbeeinflussung, sodass hier Handlungsbedarf besteht.

Die Anforderungen an die Systeme C2I und VBA wurden in Handlungsempfehlungen strukturiert und zeitlich geordnet, sodass eine schrittweise Einführung der Integration von C2I-Technologie in die Verkehrsbeeinflussung möglich wird. Dies wird als sinnvoll angesehen, um zunächst mit einem überschaubaren Aufwand Erfahrungen sammeln zu können und die Integration anschließend zielgerichtet weiter umzusetzen. Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen beschreiben die erforderlichen Schritte für eine erfolgreiche Integration der C2I-Technologie in die kollektive Verkehrsbeeinflussung. Von großer Bedeutung ist dabei, in den Dialog zu treten und den Mehrwert herauszuarbeiten, der sich für beide Seiten durch eine Kooperation ergibt. Folgender grundsätzlicher Mehrwert einer Kooperation wurde im Projekt herausgearbeitet, der als Basis für eine Diskussion dient: Durch die Integration der C2I-Technologie in die kollektive Verkehrsbeeinflussung wird ein wertvoller Beitrag zur

Steigerung der Präzision der Situationserkennung, des Situations- und Maßnahmenpektrums kollektiver Verkehrsbeeinflussung und damit ein besseres Ausschöpfen vorhandener verkehrstechnischer und verkehrssicherheitstechnischer Potenziale geleistet werden. Für eine erfolgreiche Integration müssen Vertreter der VBA Technologie mit der Automobilindustrie als maßgebliche Treiber der C2I-Technologie in den Dialog treten. Für eine erfolgreiche Kooperation beider Technologien sind entsprechende Anreize zu schaffen und der Mehrwert einer solchen Kooperation für beide Seiten aufzuzeigen. Beispielsweise kann die C2I-Technologie maßgeblich von den in der VBA verfügbaren Daten (insbesondere Verkehrsstärke und Verkehrsdichte) sowie Informationen (z. B. aus dem Tunnel- oder Baustellenmanagement) profitieren. Es sind aber auch durch die Vertreter der VBA Technologie die erarbeiteten Minimalanforderungen an das System C2I zu kommunizieren, die für eine erfolgreiche Kooperation notwendig umgesetzt werden müssen. Schließlich müssen sich Vertreter der VBA Technologie aktiv in den Standardisierungsprozess der C2I-Technologie auf europäischer bzw. weltweiter Ebene einbringen, um die Belange der kollektiven Verkehrsbeeinflussung zu vertreten.

Die C2I-Technologie kann die VBA Technologie langfristig nicht ersetzen, da maßgebliche verkehrliche Kenngrößen wie Verkehrsstärke und Verkehrsdichte erst bei Vollausstattung nahezu aller Fahrzeuge mit C2I-Technologie zuverlässig erfasst werden können. Darüber hinaus wird die Kompetenz zur Beurteilung des Verkehrszustands und weiterer verkehrsbeeinflussender Bedingungen aus kollektiver Sicht weiterhin bei den Autobahnbetreibern liegen, insbesondere dann, wenn kollektive Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen umgesetzt werden, die verkehrsbehördlich angeordnet werden müssen. Die im C2I-System erhobenen Daten sowie die durch das C2I-System zur Verfügung stehenden Informationskanäle können aber die Effizienz kollektiver Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen maßgeblich steigern, sodass eine Integration beider Technologien befürwortet wird.

Literatur

- [1] RWVA, Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen, Ausgabe 1997, Verkehrsblatt 1997

- [2] Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ99), BASt 1999
- [3] Hinweise zum Einsatz von Steuerungsverfahren in der Verkehrsbeeinflussung, FGSV 2011
- [4] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, BASt 2012
- [5] C2C-CC Basic System Profile V1.1.0, C2CCC 2015
- [6] ETSI EN 302 665 V1.1.1, ETSI 2010
- [7] ETSI TS 102 894-2 V1.2.1, ETSI 2014
- [8] ETSI EN 302 637-2 V1.3.2, ETSI 2014 [9] ETSI EN 302 637-3 V1.2.2, ETSI 2014
- [10] Final Report, C-ITS Platform 2016
- [11] UseCases-Messages-v4.xlsx, C2CCC
- [12] State-of-the-Art Analysis of C-ITS Deployment, CODECS 2016
- [13] ETSI TS 103 301 V1.1.1, ETSI 2016
- [14] Erster Entwurf „Gesamtsystemarchitektur“ Version 2.0, C-ITS Corridor joint deployment 2014
- [15] Zentralenseitige Realisierung der kooperativen Dienste „Baustellenwarnung“, „Kooperative Verkehrslage“ und des Betriebsüberwachungsdienstes „Betriebsmeldungen“ – Systemüberblick und Schnittstellenspezifikation Version 01-06-00, C-ITS Corridor joint deployment 2016
- [16] Interface IRS-ICS Version 0.11, C-ITS Corridor joint deployment 2015
- [17] ECo-AT System Specification V3.6, ECo-AT Konsortium 2016
- [18] Roadmap between automotive industry and infrastructure organisations on initial deployment of Cooperative ITS in Europe Version 1.0, Amsterdam Group 2013
- [19] IVI white paper v3.1, Amsterdam Group 2016
- [20] Deliverable D5.5 V1.0, simTD 2013
- [21] System Design V1.0, NordicWay 2016
- [22] Triggering Conditions and Data Quality – Adverse Weather Conditions V3.2.0, C2CCC 2016
- [23] Triggering Conditions and Data Quality – Dangerous Situations V3.3.0, C2CCC 2015
- [24] Triggering Conditions and Data Quality – Stationary Vehicle Warning V3.2.0, C2CCC 2015
- [25] Triggering Conditions and Data Quality – Traffic Jam V3.3.0, C2CCC 2016
- [26] ETSI EN 302 931 V1.1.1, ETSI 2011
- [27] Cooperative Intelligent Transport Systems Standards in Europe, Andreas Festag 2016
- [28] Aufbau von kooperativen Verkehrszentralen, HÜBNER, SCHWIETERING, RIEGELHUTH 2014
- [29] A system for vehicle data processing to detect spatiotemporal congested patterns: the simtd-approach, KOLLER, ELSTER, REHBORN, KERNER 2012
- [30] Reconstruction quality of congested freeway traffic patterns based on Kerner’s three-phase traffic theory, PALMER, REHBORN, GRUT-TADAURIA 2011
- [31] ECo-AT Road Works Warning V4.0, ECo-AT Konsortium 2017
- [32] C-Roads – Testfeld des hessischen Piloten
- [33] ECo-AT In-Vehicle Information V4.0, ECo-AT Konsortium 2017
- [34] ECo-AT Overview on Use Cases V4.0, ECo-AT Konsortium 2017
- [35] <https://itscorridor.mett.nl/English/Project+details/Cooperative+services/collision+risk+warning/default.aspx>, Rijkswaterstaat (NL), aufgerufen am 14.11.2017
- [36] Spookfiles – Shockwave Traffic Jams A58, Province Noord-Brabant 2017
- [37] ECo-AT CAM Aggregation V4.0, ECo-AT Konsortium 2017
- [38] HEINRICH, T. et. al, 2017: Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage

- für Baustellen auf BAB; BASt-Bericht V 302, Bergisch Gladbach, 2018
- [39] Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ 2018), BASt, 2018
- [40] GEISTEFELDT, J., HOHMANN, S., HENSE, B., ESTEL, A.: Harmonisierung der Qualitätsdefinitionen von Straßenverkehrszuständen und Erstellen eines Klassifizierungsschemas für die Anwendung in intelligenten Verkehrssteuerungssystemen; Entwurf Schlussbericht des Projekts FE 03.0494/2012/IGB der BASt, 2015
- [41] POTI Whitepaper, C2CCC, 2013
- [42] TS 102 890-3, Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Part 2: Position and time facility specification, ETSI
- [43] Triggering Conditions and Data Quality – Exchange of IRCs V3.2.0, C2CCC 2016
- [44] ISO/TS 19321:2015, Dictionary of in-vehicle information (IVI) data structures, ISO 2015
- [45] ISO 14823:2017 – Intelligent transport systems – graphic data dictionary, ISO 2017
- [46] SCHWIETERING, C., MAIER, F., PYTA, L.: Ermittlung von Optimierungspotenzialen bestehender und zukünftiger Streckenbeeinflussungsanlagen; Zwischenbericht des FE 03.0523/2014/IGB; Bergisch Gladbach, 2018 (unveröffentlicht)
- [47] AUTOMATISIERTE. VERNETZTE. ELEKTRO. Potenziale innovativer Mobilitätslösungen für Baden-Württemberg, e-mobil BW GmbH, 2015
- [48] SOCRATES 2.0: Proposed Cooperation Framework & Bottlenecks; Activity 2 – deliverable, Juni 2018; https://socrates2.org/application/files/5415/3077/5353/Report_SOCRATES_Framework_Cooperation.pdf, abgerufen am 15.08.2018
- [49] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren – Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten; Berlin, September 2015; https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/broschue-re-strategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 15.08.2018
- [50] INFRAMIX Consortium: INFRAMIX – Road INFRAstructure ready for MIXed vehicle traffic flows; Deliverable D.2.1: Requirements Catalogue from the Status Quo Analysis; 2018; https://inframix.eu/wp-content/uploads/INFRAMIX_D2.1-Requirements-catalogue-from-the-status-quo-analysis.pdf, abgerufen am 15.08.2018

Bilder

- Bild 1: CAN-Bus, fahrzeuginterne Sensorik
- Bild 2: Systemverbund aus CONVERGE
- Bild 3: Vernetzung von WVZ-Anlagen (aus [1])
- Bild 4: Funktionsebenen des VBA-Systems (aus [2])
- Bild 5: WZG an Verkehrszeichenbrücken über dreistreifigen Richtungsfahrbahnen (aus [1])
- Bild 6: VBA Bestand in Deutschland, Stand 2015 (Quelle: BASt)
- Bild 7: Fachlicher Ablauf und logischer Datenfluss Verkehrsbeeinflussung (aus [2])
- Bild 8: Eingesetzte Verfahren zur Situationsermittlung (aus [3])
- Bild 9: Eingesetzte Maßnahmen in der Verkehrssteuerung (aus [3])
- Bild 10: Abbildungsmatrix Situationen - Maßnahmen (aus [3])
- Bild 11: ITS station reference architecture/ITS-S host (aus [6])
- Bild 12: Protocol stack Release 1 für C-ITS in Europa (aus [27])
- Bild 13: Geometrische Formen zur Beschreibung eines geographischen Gebiets (aus [26])
- Bild 14: Funktionale Abläufe einer kooperativen Zentrale (aus [28])
- Bild 15: Day 1 Services im C-ITS Corridor (aus [18])

Bild 16:	Systemarchitektur (aus [36])	Tab. 3:	Sonderprogramme nach [2]
Bild 17:	SCOOP@F Systemarchitektur (Quelle: www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en)	Tab. 4:	Hemmnisse
Bild 18:	NordicWay Systemarchitektur (aus [21])	Tab. 5:	Eingangsdaten in die Verkehrssteuerung
Bild 19:	Prozessbild Systeme VBA und C2I	Tab. 6:	Maßnahmen in der Verkehrssteuerung
Bild 20:	Anwendungsfälle (Auszug aus [10])	Tab. 7:	Datenanforderungen für die Situationserkennung
Bild 21:	Zuordnung Anwendungsfälle zu Nachrichtencontainern („living document“, Quelle: C2CCC [11])	Tab. 8:	Zu verarbeitende DENM-Cause codes
Bild 22:	C-ITS Roadmap (Quelle: C2CCC)	Tab. 9:	Funktionale Anforderungen an das System C2I
Bild 23:	Systematische Sensorfehler der Längsbeschleunigung (orange), blau: Geschwindigkeit, Quelle: simTD-Datensatz, eigene Darstellung	Tab. 10:	Anforderungen an IVI- und DENM-Erzeugung
Bild 24:	Trajektorien (unten) und Sensormesswerte eines Fahrzeugs (oben) beim Durchfahren einer Situation (Stau Hauptfahrbahn), Quelle: simTD-Datensatz, eigene Darstellung	Tab. 11:	Funktionale Anforderungen an das System C2I
Bild 25:	Statische Kopplung der C2I-Relevanzzonen an VBA-Gültigkeitsbereiche (rote Doppelpfeile, in einem Fall hervorgehoben inkl. Awareness zone)	Tab. 12:	Anforderungen an das HMI
Bild 26:	Räumlich-zeitlich dynamische Anpassung der Relevanzzonen an die Entwicklung des Ereignisses (dünne Pfeile zeitlich aufeinanderfolgend)	Tab. 13:	Abgeleiteter Forschungsbedarf
Bild 27:	Restriktive Anzeigen und priorisierte Zusatzinformationen	Tab. 14:	Anforderungen für den Themenbereich Systemarchitektur
Bild 28:	Aufbau des Systems VBA nach MARZ 2018 [39]	Tab. 15:	Anforderungen für den Themenbereich Datenerfassung und -aufbereitung
Bild 29:	Interaktion zwischen den Systemen VBA und C2I	Tab. 16:	Anforderungen für den Themenbereich Situationserkennung
Bild 30:	Mögliche Systemarchitektur bei Vollaustattung von C2I	Tab. 17:	Anforderungen für den Themenbereich Maßnahmenkatalog
Bild 31:	Übersicht Roadmap	Tab. 18:	Zusammenstellung der systemübergreifenden Anforderungen

Tabellen

Tab. 1:	Priorisierung von WZG im Konfliktfall laut [1]
Tab. 2:	Automatikprogramme nach [2]

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2018

V 300: Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoff-rückhalt und Standfestigkeit von Banketten

Werkenthin, Kluge, Wessolek

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 301: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung

Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 302: Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB

Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 303: Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer

Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter,

Jeschke, Skottke € 19,50

V 304: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015

Fitschen, Nordmann € 31,00

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

V 305: Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen

Hartmann, Londong € 16,00

V 306: Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest

Lippold, Wittig

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 307: Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung

Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50

V 308: Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)

Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 309: Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand

Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50

V 310: Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie

Wang, Oeser, Steinauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 311: Feldversuch mit Lang-Lkw

Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf,

Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 312: Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2019

V 313: Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen

Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50

V 314: Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten

Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou,

Haug, Spangler € 18,50

V 315: Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung

Kappich, Westermann, Holst € 15,50

V 316: Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände

Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50

V 317: Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen

Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00

V 318: Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen

Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50

V 319: Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verdichtungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen

Lippold, Vettors, Ressel, Alber

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 320: Einsatzbereiche und Entwurfs Elemente von Rad-schnellverbindungen

Malik, Lange, Andriess, Gwiasda, Erler,

Stein, Thiemann-Linden € 18,00

V 322: Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren

Hausmann € 18,00

V 323: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016

Fitschen, Nordmann € 31,50

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

2020

V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

Diegmann, Wurstthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00

V 324: Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA

Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 325: Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete

D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 326: Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen

Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50

V 327: Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse

Frenken, Mahmoudi € 16,50

V 328: Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen

Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 329: Streckenbezogene Glättevorhersage
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

V 330: Führung des Radverkehrs an Landstraßen
Baier, Leu, Rittershaus
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 331: Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

V 332: Räumliche Linienführung von Autobahnen
Lippold, Zösch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 333: Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit
Hänisch, Heidebrunn € 17,00

V 334: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

V 335: Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

V 336: Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten
Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50

V 337: Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

2021

V 338: Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs
Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 339: Aktualisierung der Datenbank MARLIS
Schneider, Turhan, Pelzer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 340: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017
Fitschen, Nordmann € 31,00

V 341: Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen
Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 342: Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz
Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00

V 343: Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit
Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50

V 344: Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen
Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes € 21,00

V 345: Aufbau einer Datenbank zur Berechnung exemplarischer Lärmsituationen mit Geräuschemissionsdaten der Straße und meteorologischen Daten

Liepert, Skowronek, Eberlei, Crijenkovic, Müller, Schady, Elsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 346: Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen
Müller, Huth, Liepert € 15,00

V 347: Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation
Schwietering, Löbbeling, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

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.