

Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 370

bast

Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg

von

Marcel Vierkötter
David Mischnick

TÜV Rheinland Consulting GmbH
Köln

Matthias Spangler
Fabian Fehn

Lehrstuhl für Verkehrstechnik
TU München

Marcus Gerstenberger

gevas humberg & partner
München

Nebenautoren

Sarah Windmann (BASt, Kap. 4.6)

Malte Nedkov (TÜV Rheinland, Kap. 4.11)

Birte Emmermann (LfE - TU München, Kap. 4.11)

Ulrich Haspel (Landesbaudirektion Bayern, Kap. 4.12)

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 370

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 03.0541
Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds
auf der A9 zwischen München und Nürnberg

Fachbetreuung
Karen Scharnigg

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 978-3-95606-731-0

Bergisch Gladbach, April 2023

Kurzfassung – Abstract

Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg

Die Digitalisierung ist ein weltweiter Megatrend, der Wirtschaft und Gesellschaft beeinflusst und grundlegend verändert. Auch im Verkehrs- und Mobilitätsbereich geht damit in vielerlei Hinsicht ein Wandel einher.

Das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) bietet die Möglichkeit in einem realen Umfeld neue technologische Entwicklungen im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie der intelligenten Straßeninfrastruktur zu erproben. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat das DTA gemeinsam mit dem Freistaat Bayern, dem Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) und dem Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom) im Jahr 2015 initiiert. Die Maßnahmen, die auf dem DTA durchgeführt werden, sind den zwei thematischen Bereichen „Automatisiertes und vernetztes Fahren“ und „Intelligente Infrastruktur“ zugeordnet.

Das Projekt „Wissenschaftliche Begleitung für das Digitale Testfeld auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ untersucht, begleitet und unterstützt den Bereich „Intelligente Infrastruktur“. Der Abschlussbericht gibt einen Überblick über die Erkenntnisse und Ergebnisse, die im Rahmen des DTA erzielt worden sind. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Maßnahmen, die dem Teilbereich der „Intelligenten Infrastruktur“ zuzuordnen sind. Jede der Maßnahmen wird zunächst für sich betrachtet und bewertet bevor abschließend ein Gesamtresümee gezogen wird. Die Darstellungstiefe geht von der einfachen Beschreibung inklusive einer Bewertung, teilweise basierend auf den maßnahmeninternen Evaluationsergebnissen, bis hin zur vertieften Darstellung mit eigens für die Maßnahmen aufgesetzten, wissenschaftlich fundierten Evaluierungs- und Bewertungsarbeiten. Durch die vorgenommenen Evaluierungsarbeiten an den einzelnen Maßnahmen konnten einerseits Effekte für verkehrliche Wirkungen aufgezeigt und andererseits weitere Erkenntnisse für die Weiterverfolgung bzw. Umsetzung der Maßnahmenideen gewonnen werden. Ergänzend erfolgt eine übergreifende Betrachtung über alle Maß-

nahmen hinweg, u.a. hinsichtlich Synergien und Wechselwirkungen. Ebenfalls sind neue Projektansätze, Ideen bzw. Technologien, die im Zusammenhang mit den Themen im Bereich Intelligente Infrastruktur stehen, im Rahmen des wissenschaftlichen Begleitungsprojekts betrachtet und bewertet worden.

Scientific support for the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg

Digitalization is a global megatrend that fundamentally is influencing and changing the economy and society. This is also changing the transport and mobility sector, in many respects.

The Digital Motorway Test Bed (DTA) offers the opportunity to test new technological developments in the field of automated and connected driving as well as intelligent road infrastructure in a real environment. The Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) has set up the DTA together with the Free State of Bavaria, the German Association of the Automotive Industry (VDA) and the Federal Association of Information Technology, Telecommunications and New Media e.V. (Bitkom) in 2015. The measures carried out at the DTA are assigned to the two thematic areas of „Automated and Connected Driving“ and „Intelligent Infrastructure“.

The project „Scientific support for the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg“ investigates, accompanies and supports the area of „Intelligent Infrastructure“. The final report provides an overview of the realizations and results achieved within the framework of the DTA. The focus is on measures that can be assigned to the subsection of „Intelligent Infrastructure“. Each of the measures is first considered and evaluated separately before an overall summary is drawn. The depth of presentation ranges from a simple description including an assessment, partly based on the internal evaluation results of the measures, to a more in-depth presentation with scientifically based evaluation and assessment work set up specifically for the measures. The evaluation work carried out on the individual measures made it possible on the one hand to identify effects on traffic and on the other

hand to gain further knowledge for the further pursuit or implementation of the ideas for the measures. In addition, a comprehensive analysis of all measures is carried out, among other things with regard to synergies and interactions. New project approaches, ideas and technologies that are related to the topics in the area of Intelligent Infrastructure were also considered and evaluated as part of the scientific support project.

Summary

Scientific support for the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg

1 The Digital Motorway Test Bed

The Digital Motorway Test Bed (DTA) is located on an approximately 140 km long section of the A9 motorway between Nuremberg and Munich. The DTA was initiated by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) together with the Free State of Bavaria, the German Association of the Automotive Industry (VDA) and the German Association for Information Technology, Telecommunications and New Media e.V. (Bitkom). The joint signing of the Innovation charter on 4 September 2015 laid the foundation for the DTA.

The targets of the DTA are to promote digital innovations, to support research and development, to create acceptance for new technologies and to shape the infrastructure of the future. The overarching goals of the Federal Government to make transport more efficient, safer and more sustainable are thus supported. With the modern infrastructure equipment, the different topologies as well as the typical on- and off-ramps, this motorway section on the A9 forms a generally valid reference for Germany. Together with the two traffic management centers (Northern and Southern Bavaria), a test area was created in which intelligent infra-

structure and automated and connected driving can be tested under ideal and real conditions.

The research and development activities carried out under the „umbrella“ of the DTA are divided into two sub-areas, connected and automated driving and intelligent infrastructure.

The sub-area „Connected and Automated Driving“ includes the developments of industry (automotive industry, supplier industry as well as IT and telecommunications providers) and science. Specific support for research activities is provided in the form of federal funding guidelines. Responsibility for individual projects and measures lies primarily on the side of the industry.

Innovations that make road traffic on motorways more efficient, sustainable and safer by means of infrastructure developments are allocated to the „Intelligent Infrastructure“ sub-area. All measures directly affect the road authority. A large proportion of the measures in the area of „Intelligent Infrastructure“ are therefore primarily the responsibility of the federal government or the federal states. This means that the measures or projects are mostly initiated, financed and supported by the federal government or the federal state Bavaria.

Even if the thematic location of the individual measures and projects is in one of the two sub-areas and they are not directly interdependent, there are thematic connections. Through the linking of the responsible offices, a good and continuous exchange has taken place, so that the information on the measures and projects does not remain in

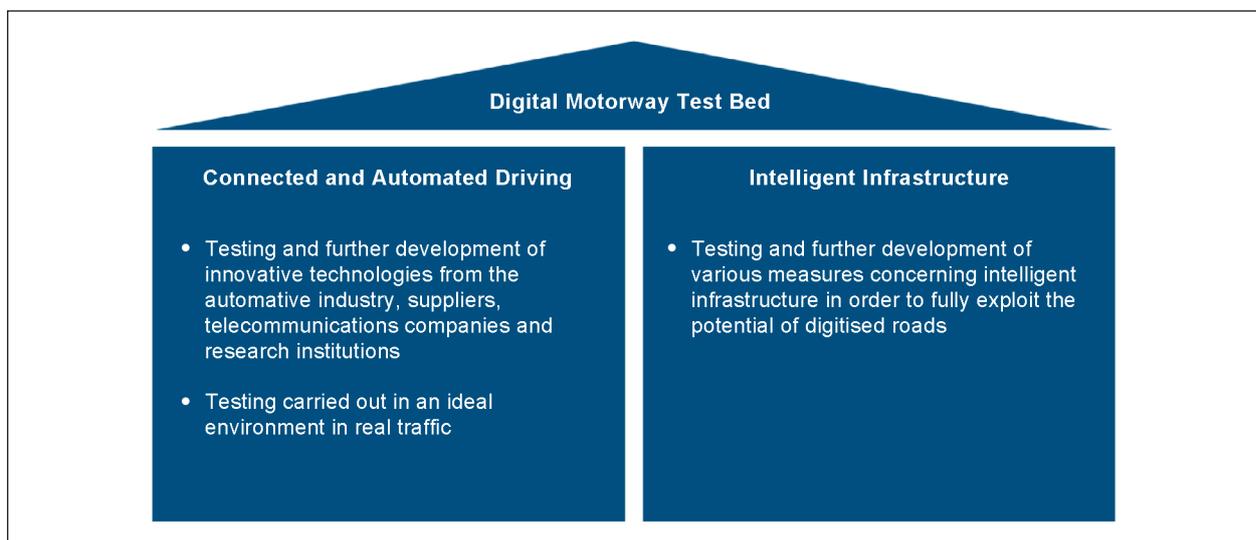


Fig. 1: Sub-areas DTA

one sub-area. So their potential can be exploited holistically.

This report on the project „Scientific support of the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg“ is assigned to the sub-area of Intelligent Infrastructure.

2 The project „Scientific support of the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg“

The project „Scientific support of the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg“ was an accompanying measure of the federal government and was designed for four years. It was commissioned by the Federal Highway Research Institute (BAST) and supports the test bed operation of the Intelligent Infrastructure on an organisational and scientific level. Further sub-objectives of the accompanying project were the continuous observation, processing, assessment and scientific evaluation of the infrastructure-related measures. In addition, within the framework of the accompanying project, new project ideas for the DTA with an infrastructure background were subjected to expert evaluations and, if necessary, supported in the implementation on the DTA. Additional activities related to the priority area of Intelligent Infrastructure, or which could be of particular interest in this regard, have been prepared and provided with an assessment for implementation on the DTA, such as the scientific study on the state of the art of weight-in-motion systems.

3 Intelligent infrastructure measures – Overview

A total of twelve measures in the area of „Intelligent infrastructure“ were carried out with the launch of the DTA (Figure 2). The measures differ not only thematically, but also from an organisational point of view. Individual measures consist of various public or industry-funded research and implementation projects. The measures represent a thematic frame under which several activities on one topic are subsumed. The activities and projects within the measures are then individually adapted to the respective specific challenges.

Accordingly, different evaluation approaches were also pursued for each measure, including in terms of depth and targets, within the framework of the accompanying project. The depth ranges from simple monitoring with the inclusion of the evaluation carried out in part within the measures to the presentation of the scientifically based evaluation and assessment concepts drawn up specifically for the measures, with their implementation and final evaluation and assessment. Furthermore, the evaluation work clearly demonstrates the scientific character of the accompanying project.

As it is not possible to go into detail on the initial situation, the targets, the implementation, the results and the conclusion within the framework of the short report, a brief overview of the 12 infrastructure measures on the DTA is given in Figure 2.

IRUTES2	INTELLIGENT SLIPPERINESS FORECAST
V2I: ROADWORKS WARNING	INTERNET PARKING
TELEMATIC WRONG-WAY DRIVER WARNING	MOTORWAY SERVICE AREA OF THE FUTURE
SUSTAINABLE ROADSIDE EMERGENCY TELEPHONE INFRASTRUCTURE	INTELLIGENT LANE REDUCTION
INNOVATIV TRUCK PARKING GUIDANCE	SAFE MOTORWAY EXIT FOR ROAD-SIDE CHECKS
SMART BRIDGE	C2VBA – VIRTUAL TRAFFIC CONTROL AND STRATEGIC ROUTING

Fig. 2: Overview of measures in the Intelligent Infrastructure sub-area

iRoute2 – Enhancement of traffic data collection

The aim of the measure was the development of an economic traffic situation detection and incident detection as well as generally applicable results for the use on motorways. Within this framework, technologies for local, route-related and mobile data acquisition were compared and evaluated for different route categories (conurbations with/without traffic data acquisition, outside conurbations). The results have provided significant progress in terms of traffic data collection.

V2I: roadworks warning

Within the framework of the initiative „Cooperative ITS Corridor“ (C-ITS Corridor), which emerged from the joint venture of the three European countries Germany, the Netherlands and Luxembourg, V2X services are to be established. The first application chosen for implementation is the installation of mobile barrier-tagging (FAT) with cooperative systems, also known as „Baustellenwarner“. As part of the scientific support for the DTA, it was investigated whether the introduction of cooperative FAT makes economic sense. As a result, a positive economic benefit could be shown.

Telematic wrong-way driver warning

The measure telematic wrong-way driver warning pursued the goal, with the help of modern detection systems to detect wrong-way drivers automatically and reliably in the area of interchanges and to warn wrong-way drivers in a targeted manner. Furthermore, in a next step, the warning was to be forwarded to traffic participants on the main lane. For the implementation of the measure, different technical concepts (radio field, combination of radar and induction loop, tracking radar) were investigated and evaluated at three junctions of the A9. Due to the results of the investigations and technological progress, telematic wrong-way driver warning systems on the infrastructure side are currently not being pursued further with regard to a network-wide implementation on slip roads.

Sustainable roadside emergency telephone infrastructure

Since the number of incoming emergency calls via the emergency call pillar infrastructure is declining

sharply, increased consideration is being given to whether and how this infrastructure can be used also for other applications and services in the future. Within the framework of the measure, two projects have been implemented: „Preparation of the emergency call pillar infrastructure for changed requirements“ and „ANIKA II – Upgrade of the emergency call pillar remote network infrastructure for V2X communication on motorways“. The investigations have thereby revealed the diverse challenges for the use of the existing infrastructure.

Innovative truck parking guidance

Truck freight traffic sometimes leads to overcrowded or congested truck parking spaces on and along federal motorways. The aim of the measure „Innovative truck parking guidance“ is to use truck parking space capacities more efficiently by informing those who are looking for parking spaces trucks about available parking spaces in real time with telematic support. After the installation of the 22 systems of the truck parking guidance system, an impact analysis has also been carried out. The analysis showed that the parking guidance systems are positively evaluated by the truck drivers, and that a solution with signs as an essential and easily accessible source of information was favored over a smartphone APP.

Smart bridge

The objective of the measure was the realization, demonstration and further development of solution approaches developed within the framework of the BAST research focus „Smart Bridge“ on a new bridge construction in the motorway junction Nuremberg (BAB A3/A9). The equipment includes a structure information system, instrumented bearings and roadway crossings as well as a wireless sensor network. A total of four research projects have been carried out on the basis of the above-mentioned measuring systems: Investigation program; Synchronization of sensor systems and automated evaluation of measurement data; Data acquisition strategies and data analysis for intelligent spherical plain bearings; Measurement acquisition of traffic data based on instrumented roadway crossings. Three of the four research projects are already successful finished. The last research project will be finished by the end of 2021.

Intelligent Slipperiness Forecast

The aim of the measure was to develop a procedure for determining an „Intelligent Slipperiness Forecast“ using general weather forecasts and data directly from the road. The implementation was carried out within the framework of the two research projects „Route-related Slipperiness Forecast“ and „Automatically controlled spreading of gritting material“. The two research projects have shown that the quality of the forecasts can be increased by using mobile sensors. However, there are challenges to be solved, such as improving the non-contact measurement of road surface parameters. Since the actual technical design of a corresponding system was not part of the projects, a detailed research into this challenge is considered useful.

Internet parking

A basic requirement for further digitalization is fast internet access. The aim of the „Internet parking“ measure was to provide road users on the DTA with free high-speed internet access via WLAN at car parks with sanitary facilities. In addition, scientific data were collected as part of an accompanying evaluation project, including the extent to which traffic participants take advantage of the offer. It should be noted in this context that the technological implementation has worked very well and the offer has also been accepted by traffic participants. However, due to the ever-improving data offers of the mobile network operators (including speed and data volume), the interest of users in free WLAN offers at car parks is decreasing.

Motorway service area of the future

The aim of the measure was to implement a first innovative filling and rest area of the future at the Fürholzen West rest area in the direction of Munich. Sub-targets of the measure included compliance with the Energy Plus Standard, the installation of electric fast-charging stations and a hydrogen filling station in addition to the offer of all fuels including LPG/CNG, as well as the operation of the rest area and charging infrastructure from renewable energies. The refueling and service area was successfully implemented and achieved the envisaged energy target. The results of the measure can therefore be used for future construction of service stations.

Intelligent lane reduction

The optimization of traffic flow in advance of lane reductions is a suitable medium of avoiding unnecessary braking operations and maintaining the capacity of the motorway longer or avoiding congestion. However, a corresponding practical implementation on the DTA did not take place, because no suitable working point was set up on the A9 during the project period. Within the scope of the report, the scientific study „Development of a lane reduction control system for roadworks on highways“ is discussed, which explains the theoretical basis. On the basis of the study, an improvement of the traffic flow in certain situations can be concluded. Against the background of a steadily growing traffic volume as well as the expected necessary rehabilitation measures, the use of a corresponding system is fundamentally to be considered reasonable. For the further design of the system and for the clarification of the still open questions, a practical trial should be aimed at.

Safe motorway exit for road-side checks

The manual discharge of vehicles on motorways by the Federal Office for Goods Transport (BAG) is associated with a certain potential danger. In order to increase the work safety of the inspectors and general road safety, the aim of the measure „Safe motorway exit for road-side checks“ was to design and test a safe and efficient discharge method. In addition, an accompanying system evaluation was carried out, in which traffic engineering studies, a technical evaluation of the discharge technology, ergonomic studies and studies on the area-wide expansion of the technology, future vehicle networking and automation and control adjustments were carried out. The implementation and evaluation of the measure has shown that safe discharge is a good development, which has been positively evaluated by the BAG staff as well as by the truck drivers. Optimization approaches as well as future aspects, which should be considered in the future implementation, could be elaborated and pointed out.

C2VBA – Virtual traffic control and strategic routing

Traffic guidance strategies of the public authorities are currently not available for commercially available

navigation systems. However, since these can contribute to the traffic safety of traffic participants, a corresponding technical implementation makes sense. The aim of the measure was to provide the switching states of variable message signs, as used in route guidance systems on German motorways, as well as the switching states of change guide signs for collective signposting on the mobility data marketplace (MDM) for selected sections on the Digital Motorway Test Bed. Measurements of latencies were also part of the project. The project was successfully implemented. Among other things, prototypical information from change guide signs were transmitted to vehicles and displayed to drivers in the information display. The approaches presented will be standardized within the framework of further projects and will then be available for a Germany-wide system for data provision.

In addition to the investigation, monitoring and support of the above mentioned measures as part of the „Scientific support of the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg“, further project approaches and technologies were considered or evaluated in varying depth with regard to potential implementation on the DTA. These included a further wrong-way driver warning system, a novel traffic monitoring approach and weight-in-motion systems.

4 Correlations and synergies between measures

One objective of the Digital Motorway Test Bed was to create an optimal public test area for digital technologies in the interaction between motorway, infrastructure and vehicle. In order to ensure that the project realizations do not remain in the measures carried out on a project-oriented basis, bilateral talks and meetings of the DTA supervisory group were held regularly during the project term. In addition, information on the measures were presented at BMVI events (e.g. Round Table Automated Driving, expert discussion on „Use of digital test beds for automated and connected driving“) and exchanged with the AVF sub-division.

In addition, the correlations and synergies of the measures of the Digital Motorway Test Bed were comprehensively analyzed within the framework of the scientific monitoring. As a result, direct relationships and indirect relationships could be

determined. The direct relationships result from the fact that measures can benefit directly from each other, e.g. through the transfer of data/results. Indirect relationships exist through the properties, system components or methods used as well as through the users and addressees of the measures. Taken as a whole, this results in a complex web of different correlations and synergies between the measures and beyond. In addition, the measures contribute individually and especially in their entirety to the realization of automated and connected driving as well as to the support of traffic participants and managers.

5 Overall result and outlook

With the establishment of the Digital Motorway Test Bed in 2015, a research and testing area was created as an ideal framework for the development of innovative technologies due to its topological conditions and modern equipment. Within the framework of the project „Scientific support of the digital test bed on the A9 between Munich and Nuremberg“, a total of 12 infrastructure-related measures were accompanied. As can be seen from the brief overview above, the results of the measures are varied. For example, scientifically based evaluations were able to determine positive effects as well as an economic benefit (truck parking guidance and V2I: roadworks warning). In the case of the measure „Virtual traffic control and strategic routing“, the topic is already being pursued on the basis of the positive project results and preparations are being made for its transfer to regular operation. On the other hand, the results also showed that in individual cases a further pursuit cannot be recommended („Telematic wrong-way driver warning“). In addition, the interrelationships and synergies of the measures among each other and beyond were intensively analyzed during the project period. The results have shown that measures are interconnected by direct and indirect relationships and can benefit from each other through synergetic effects. Furthermore, there are positive effects for the realization of automated and connected driving as well as for traffic participants and managers.

Overall, the DTA was able to contribute to the research and development of innovative technologies, to the acceptance of technological developments in society and to the realization of safe and efficient transport. The achieved results

and their proven positive effects form a good basis for transferring the completed projects beyond the research stage into regular operation. Individual projects in the measures that could not be completed during the period of scientific monitoring of the DTA should also be completed and assessed or evaluated in order to bring out the potential for the further development of the infrastructure.

In principle, the DTA should continue to be used as a nucleus for new developments, in addition to the additional test beds that have been created in the meantime, due to its reputation and good infrastructure. In the future, open and thematically broad-based funding programs could help to accelerate the further development of the infrastructure.

Inhalt

Abkürzungen	13	4.4.2 Zielsetzung	46
1 Ausgangslage und Motivation	15	4.4.3 Durchführung	46
2 Das Digitale Testfeld Autobahn (DTA)	17	4.4.4 Ergebnis	47
3 Teilbereiche des Digitalen Testfelds Autobahn	18	4.4.5 Bewertung und Ausblick	49
3.1 Automatisiertes und Vernetztes Fahren (AVF)	20	4.5 Innovatives Lkw-Parkleitsystem	50
3.2 Intelligente Infrastruktur	24	4.5.1 Ausgangssituation	50
4 Maßnahmen der Intelligenen Infrastruktur	25	4.5.2 Zielsetzung	51
4.1 iRoute2 – Erweiterung der Verkehrs- datenerfassung	26	4.5.3 Durchführung	51
4.1.1 Ausgangssituation	26	4.5.4 Ergebnis	55
4.1.2 Zielsetzung	27	4.5.5 Bewertung und Ausblick	58
4.1.3 Durchführung	27	4.6 Intelligente Brücke	59
4.1.4 Ergebnis	29	4.6.1 Ausgangssituation	59
4.1.5 Bewertung und Ausblick	32	4.6.2 Zielsetzung	60
4.2 V2I: Der Baustellenwarner	33	4.6.3 Durchführung	61
4.2.1 Ausgangssituation	33	4.6.4 Ergebnis	64
4.2.2 Zielsetzung	34	4.6.5 Bewertung und Ausblick	66
4.2.3 Durchführung	34	4.7 Intelligente Glättevorhersage	67
4.2.4 Ergebnis	37	4.7.1 Ausgangssituation	67
4.2.5 Bewertung und Ausblick	39	4.7.2 Zielsetzung	68
4.3 Telematische Falschfahrerwarnung ...	39	4.7.3 Durchführung	68
4.3.1 Ausgangssituation	39	4.7.4 Ergebnis	70
4.3.2 Zielsetzung	40	4.7.5 Bewertung und Ausblick	72
4.3.3 Durchführung	40	4.8 Internet-Parkplatz	72
4.3.4 Ergebnis	42	4.8.1 Ausgangssituation	72
4.3.5 Bewertung und Ausblick	44	4.8.2 Zielsetzung	72
4.4 Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur ..	45	4.8.3 Durchführung	73
4.4.1 Ausgangssituation	45	4.8.4 Ergebnis	74
		4.8.5 Bewertung und Ausblick	75
		4.9 Tank- und Rastanlage der Zukunft ...	76
		4.9.1 Ausgangssituation	76
		4.9.2 Zielsetzung	76
		4.9.3 Durchführung	77
		4.9.4 Ergebnis	79

4.9.5	Bewertung und Ausblick.	80	Die Anhänge 1, 3 – 6 zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter https://bast.opus.hbz-nrw.de abrufbar.
4.10	Intelligenter Reißverschluss – Baustellenoptimierung	81	
4.10.1	Ausgangssituation	81	Anhang 2 wird als eigenständiger Bericht (V 371) veröffentlicht.
4.10.2	Zielsetzung.	82	
4.10.3	Durchführung	83	
4.10.4	Ergebnis.	84	
4.10.5	Bewertung und Ausblick.	85	
4.11	Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen	85	
4.11.1	Ausgangssituation	85	
4.11.2	Zielsetzung.	87	
4.11.3	Durchführung	88	
4.11.4	Ergebnis.	90	
4.11.5	Bewertung und Ausblick.	93	
4.12	C2VBA – Virtuelle Verkehrsbeeinflussung und strategisches Routing.	94	
4.12.1	Ausgangssituation	94	
4.12.2	Zielsetzung.	95	
4.12.3	Durchführung	95	
4.12.4	Ergebnis.	97	
4.12.5	Bewertung und Ausblick.	98	
5	Untersuchte/Bewertete Maßnahmenideen für das Digitale Testfeld Autobahn (DTA)	99	
6	Zusammenhänge und Synergien zwischen den einzelnen Maßnahmen	103	
7	Weitere Aktivitäten im Kontext Digitales Testfeld Autobahn	112	
8	Gesamtergebnis und Ausblick	115	
	Bilder	118	
	Tabellen	121	

Abkürzungen

AID	Arbeitsstelle längerer Dauer	NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
ANPR	Automatic Number Plate Recognition	PLS	Parkleitsystem
AkD	Arbeitsstellen kürzerer Dauer	PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
AS	Anschlussstelle	PWC	Parkplatz mit WC
AVF	Automatisiertes und Vernetztes Fahren	RSU	Roadside Units
BAB	Bundesautobahn	SBA	Streckenbeeinflussungsanlagen
BAG	Bundesamt für Güterverkehr	SWIS	Straßenzustand- und Wetterinformationssystem
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	TIB	Technische Informationsbibliothek
BLE	Bluetooth Low Energy	UM	Unfallmuster
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
BVWP	Bundesverkehrswegeplan	VBZ	Verkehrs- und Betriebszentrale
BSZ	Beschleunigung- und Streifenwechselzone	VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems	VMZ	Verkehrsmanagementzentralen
DTA	Digitales Testfeld Autobahn	VRZ	Verkehrsrechnerzentrale
DWD	Deutscher Wetterdienst	VZ	Verkehrszentrale
FAT	fahrbare Absperrtafel	WLAN	Wireless Local Area Network
FCD	Floating Car Data	WZG	Wechselzeichengeber
FS	Fahrstreifen	WWW	Wechselwegweiser
FWS	Fahrstreifenwechselsignalisierung	ZDZ	Zurückhalte- bzw. Drosselungszone
GTZ	Geschwindigkeitstrichterzone		
IDM	Intelligent-Driver-Modell		
KOAF	Kommunikations- und Koordinierungs- plattform Automatisiertes Fahren im BMVI		
KVS	Kabelverteilerschrank		
LSA	Lichtsignalanlagen		
LTE	Long Term Evolution		
LWL	Lichtwellenleiter		
LZP	Langzeitparker		
MDM	Mobilitätsdaten Marktplatz		

1 Ausgangslage und Motivation

Die Digitalisierung ist ein weltweiter Megatrend, der Wirtschaft und Gesellschaft beeinflusst und grundlegend verändert. Allein die stetig steigende Zahl der Internetnutzer¹ zeigt, dass sich die Gesellschaft zunehmend digital vernetzt. In allen Wirtschaftsbereichen werden Prozesse zunehmend digitalisiert und vermehrt Werte aus der Digitalisierung geschöpft. Im Automobilsektor zeigt sich die Wertschöpfungsverschiebung beispielsweise daran, dass laut McKINSEY neue Angebote, wie Mobilitätsservices, autonomes Fahren und E-Mobilität 25 % der Erlöse bis 2030 ausmachen werden². Auch im weiteren Verkehrs- und Mobilitätsbereich eröffnet die fortschreitende Digitalisierung neue Möglichkeiten, um die Herausforderungen des Straßenverkehrs von Morgen zu bewältigen.

Insbesondere die weiterhin steigende Verkehrsleistung im Güter- und Personenverkehr erhöht das

Verkehrsaufkommen auf deutschen Straßen, belastet die Verkehrsinfrastruktur zunehmend und führt zu mehr Staus. Allein im Zeitraum von 2015 bis 2019 haben die Staustunden in Deutschland um etwa 52 % auf insgesamt 521.000 Stunden zugenommen (Bild 2)³ und der Fahrzeugbestand (Pkw) ist um insgesamt 6 % auf rund 47,7 Mio. (Bild 1)⁴ angestiegen. Im Jahr 2020 sind die Staustunden zwar stark zurückgegangen, jedoch ist dies durch die Covid-19-Pandemie bedingt und entspricht nicht dem eigentlichen Trend⁵. Der Fahrzeugbestand (Pkw) ist in 2020 um 1 % trotz der Pandemie weiter gestiegen⁶.

Da eine Ausweitung der Infrastruktur zur Bewältigung dieser Herausforderungen nur in sehr begrenztem Umfang möglich ist, rücken digitale Lösungen zur intelligenten Erfassung und Lenkung des Straßenverkehrs in den Fokus. In den vergangenen Jahren haben sich die Möglichkeiten der Erlangung und Verfügbarkeit von Informationen über den Verkehr und deren Infrastruktur in ungeahnter Weise verändert. Neue Informationswege zwischen

¹ Studie D21 DIGITAL INDEX 2018/2019, Jährliches Lagebild zur Digitalen Gesellschaft, https://initiated21.de/app/uploads/2019/01/d21_index2018_2019.pdf (Abruf 01/2021)

² The automotive revolution is speeding up, McKinsey Center for Future Mobility, Oktober 2017, <https://www.mckinsey.com/de/news/presse/autoindustrie-umsatze-verdoppeln-sich-bis-2030> (Abruf 01/2021)

³ ADAC Staubilanz, <https://www.adac.de/verkehr/verkehrsinformationen/staubilanz/> (Abruf 09/2020)

⁴ Kraftfahrtbundesamt, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/pseudo_bestand_node.html (Abruf 09/2020)

⁵ ADAC Staubilanz, <https://www.adac.de/verkehr/verkehrsinformationen/staubilanz/> (Abruf 03/2021)

⁶ Kraftfahrtbundesamt, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/bestand_jahresbilanz_node.html (Abruf 03/2021)

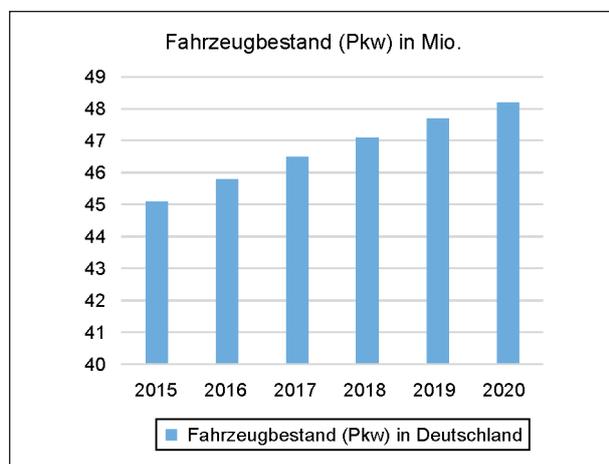


Bild 1: Fahrzeugbestand (Daten vom 1. Januar des Folgejahres), Quelle: KBA

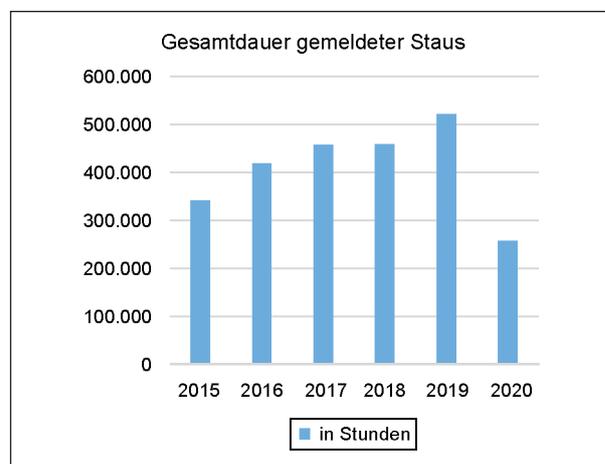


Bild 2: Staustunden, Quelle: ADAC

Infrastruktur und Verkehrsteilnehmern (kooperative Kommunikation) werden eröffnet, sodass Informationen schneller und zielgerichteter gewonnen sowie verteilt werden können. Schlussendlich geht es darum, den Verkehr von morgen durch die intelligente Nutzung dieser Informationen sicherer, flüssiger und effizienter zu gestalten.

Neben einer Reduzierung von Staus und Reisezeiten können so auch Energieaufwände verringert und damit Ressourcen geschont werden, was sich somit auch unmittelbar positiv auf die definierten Ziele der Energiewende (z. B. Reduktion der CO₂-Emissionen) auswirkt.

Zudem kann die Digitalisierung einen wesentlichen Beitrag zur Fortführung des positiven Trends zur Steigerung der Verkehrssicherheit und zur Zielerreichung der „Vision Zero – Null Verkehrstote“ leisten. Die Verkehrssicherheit konnte in den vergangenen Jahrzehnten durch ein wachsendes Risikobewusstsein und technologische Innovationen deutlich erhöht werden. Technische Meilensteine waren die Einführung von ABS und Airbag in den 1970ern und

des ESPs Ende der 1990er-Jahre. Auch dank dieser Systeme ist die Zahl der Verkehrstoten seit Anfang der 1970er-Jahre konstant rückläufig (Bild 3), ungeachtet steigender Jahresfahrleistungen.

Experten erwarten, dass die Digitalisierung des Straßenverkehrs und die Fahrzeugautomatisierung die Fahrzeugführer signifikant entlasten können. Laut dem Statistischen Bundesamt wurden zwischen 2015 und 2018 jeweils über 360.000 Unfälle mit Personenschäden registriert, die auf ein Fehlverhalten des Fahrenden zurückzuführen sind⁷. Die Ursachen ließen sich unter anderem auf einen ungenügenden Abstand, Fehlverhalten beim Überholen und einer zu hohen Geschwindigkeit zurückführen. Insgesamt gehen damit über 90 % der Unfälle mit Personenschäden auf menschliches Fehlverhalten zurück, die durch eine kluge Unterstützung

⁷ <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Tabellen/fehlverhalten-fahrzeugfuehrer.html> (Abruf 01/2021)

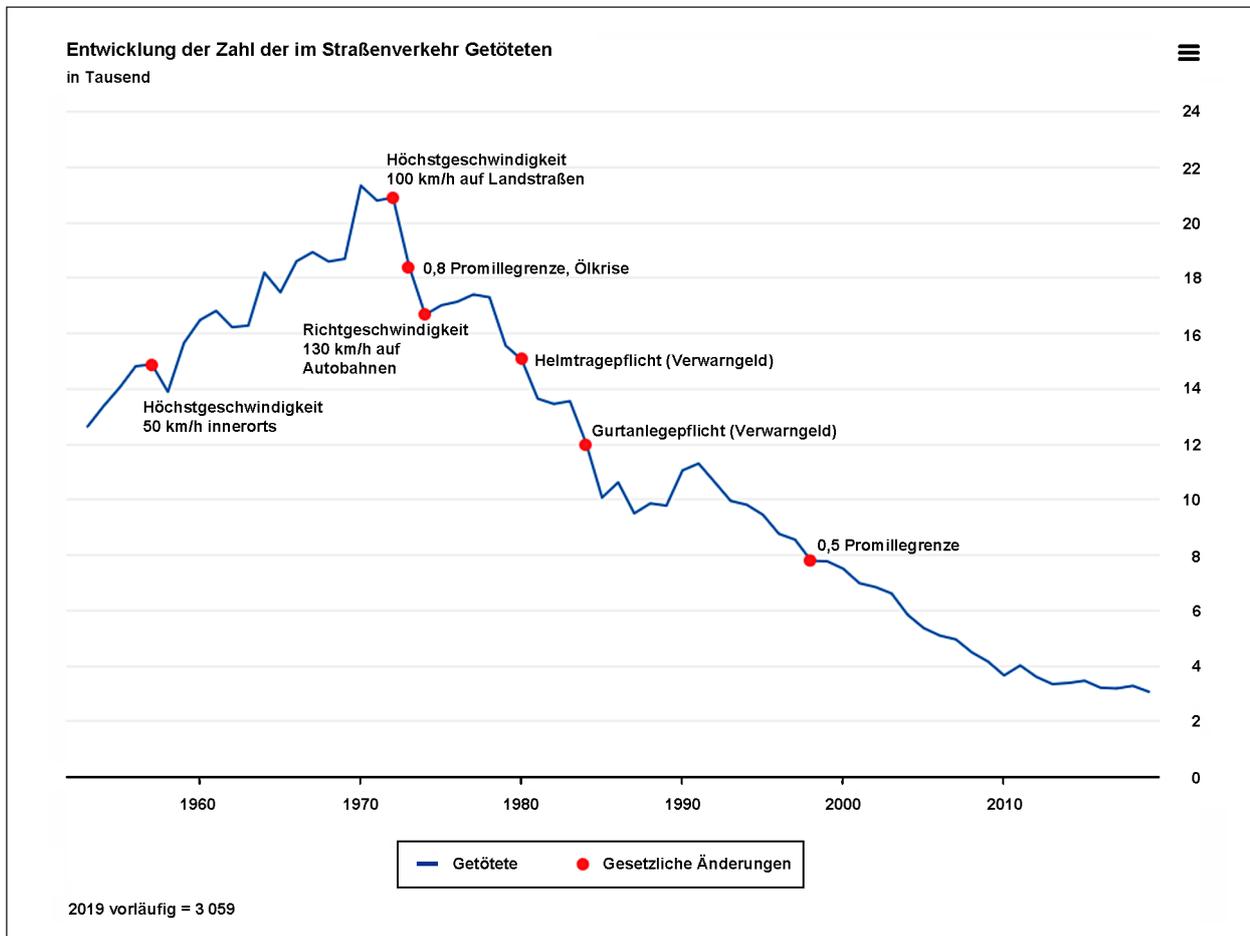


Bild 3: Getötete Straßenverkehr, Quelle: Statistisches Bundesamt

durch neue digitale Systeme reduziert werden können. Insgesamt bietet die Digitalisierung im Bereich des Individualverkehrs dem gesamten Wirtschaftsstandort Deutschland neue Chancen. Nicht nur die Automobil-, Zulieferer-, Telekommunikations- und Softwareindustrie können davon betriebswirtschaftlich profitieren, sondern die gesamte Gesellschaft im volkswirtschaftlichen Sinne durch die Optimierung und sicherere Gestaltung des Verkehrs. All diese Chancen stützt das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durch eine Reihe von Maßnahmen, u. a. die Einrichtung des Digitalen Testfelds Autobahn (DTA).

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass während der Projektlaufzeit der „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ die Autobahn GmbH die Verantwortung über die Planung, den Bau, die Erhaltung und den Betrieb sowie die Finanzierung und vermögensmäßige Verwaltung der Autobahnen übernommen hat⁸ (01.01.2021). In diesem Rahmen erfolgte die Eingliederung der Autobahndirektionen Nord- und Südbayern in die Autobahn GmbH, sodass diese folgend als Niederlassungen Nord- und Südbayern der Autobahn GmbH bezeichnet werden.

2 Das Digitale Testfeld Autobahn (DTA)

Mit dem DTA ist auf einem öffentlichen rund 140 km langen Bundesautobahnabschnitt der A9 zwischen Nürnberg und München die Möglichkeit geschaffen worden, Innovationen im Bereich der Digitalisierung und Automatisierung des Straßenverkehrs unter realen Bedingungen zu erproben, zu bewerten und weiterzuentwickeln (Bild 4). Aufgrund des zum großen Teil neu ausgebauten Autobahnabschnitts mit drei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung, der modernen infrastrukturseitigen Ausstattung, wie Wechselverkehrszeichen und temporäre Seitenstreifenfreigaben, sowie der unterschiedlichen Topologien (z. B. lange Geraden, kurvige Abschnitte in hügeliger Umgebung) mit typischen Auf- und Abfahrten sowie Autobahndreiecken und -kreuzen mit Verflechtungs-

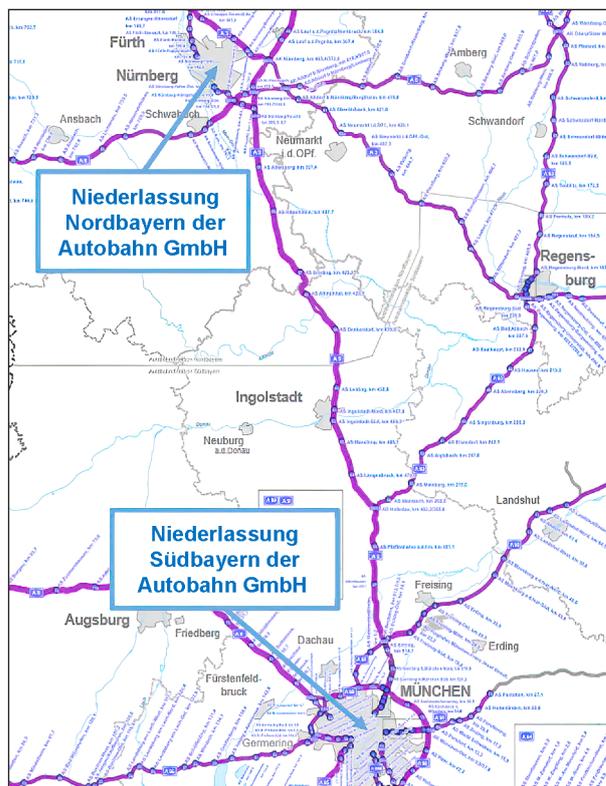


Bild 4: Ausschnitt BAYSIS-Karte mit den Standorten der Niederlassungen Nord- und Südbayern der Autobahn GmbH, Quelle: BAYSIS

verkehr stellt der Autobahnabschnitt auf der A9 eine für Deutschland allgemeingültige Referenz dar. Dafür tragen auch zwei moderne Verkehrsmanagementzentralen (im Bereich der Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH: Verkehrs- und Betriebszentrale (VBZ) Südbayern in Freimann; im Bereich der Niederlassung Nordbayern der Autobahn GmbH: Verkehrs- und Betriebszentrale (VBZ) Nordbayern in Nürnberg-Fischbach) Rechnung, die den gesamten Autobahnabschnitt des DTA mit verkehrstechnischen Systemen nach dem Stand der Technik überwachen und steuern. Das DTA bietet damit ein idealtypisches Umfeld, nahezu ein Labor unter Realbedingungen, um intelligente Infrastruktur wie auch das automatisierte und vernetzte Fahren erproben, bewerten und weiterentwickeln zu können.

Übergeordnet werden mit dem Digitalen Testfeld Autobahn die folgenden vier Ziele verfolgt (Bild 5):

- Förderung von Innovationen
Zur Stärkung des Innovationsstandorts Deutschland soll intelligente Infrastruktur sowie das automatisierte und vernetzte Fahren unter realen Bedingungen erprobt werden können, sodass eine volks- bzw. marktwirtschaftliche Verwertung zügig erreicht werden kann.

⁸ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2020/083-scheuer-start-fba-autobahn-gmbh.html> (Abruf 06/2021)

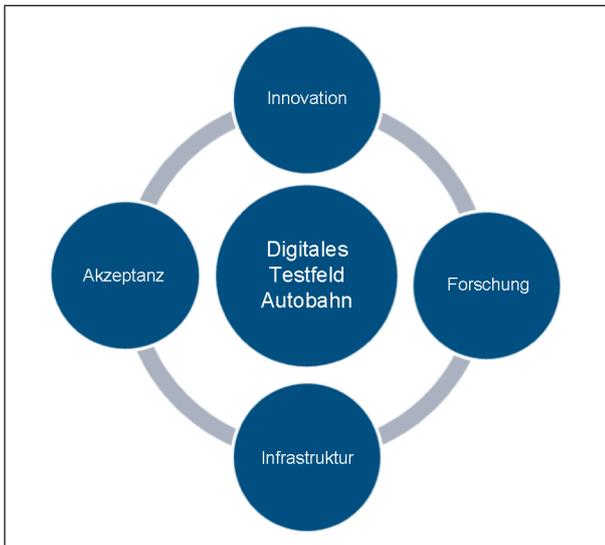


Bild 5: Ziele Digitales Testfeld Autobahn, Quelle: TRC

- **Förderung der Forschung**
Die Einrichtung des DTA ermöglicht die Umsetzung ausgewählter anwendungsnaher Forschungsvorhaben im Verbund von Wissenschaft, Industrie und öffentlicher Hand.
- **Schaffung von Akzeptanz**
Die Erprobung der Systeme im Realverkehr erhöht Sichtbarkeit und gesellschaftliche Akzeptanz.
- **Ausgestaltung der Infrastruktur**
Die Ergebnisse des DTA erlauben Rückschlüsse für eine zweckmäßige und zukunftsweisende Ausgestaltung der Infrastruktur.

Das DTA ist ein Angebot an Wissenschaft, Forschung und Industrie. Zudem bietet es dem öffentlichen Baulastträger die Möglichkeit mit den zuvor genannten Einrichtungen, Innovationen im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie den Bereich der intelligenten Infrastruktur gemeinsam zu erforschen, zu erproben und zukünftige Handlungsbedarfe in inhaltlicher und zeitlicher Hinsicht besser abschätzen zu können. Auf Seiten der Bevölkerung wird durch die gebündelte öffentliche Durchführung von verschiedenen Innovationen mehr Transparenz und Verständnis für neue Entwicklungen im Kontext des individuellen Straßenverkehrs geschaffen und damit ein Grundstein für eine höhere Akzeptanz gelegt. Folglich übernimmt das DTA eine zentrale Inkubatorfunktion für eine ganzheitliche Digitalisierung des Straßenverkehrs in Deutschland. Initiiert hat das DTA das BMVI ge-

meinsam mit dem Freistaat Bayern, dem Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA) und der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (Bitkom). Mit der gemeinsamen Unterzeichnung der Innovationscharta am 04.09.2015 ist der Grundstein für das DTA gelegt worden. Das BMVI hat federführend die organisatorischen sowie technologischen Grundlagen für das DTA geschaffen. Seitdem konnten diverse innovative Maßnahmen in den Bereichen intelligente Infrastruktur sowie automatisiertes und vernetztes Fahren erprobt und teilweise umgesetzt werden.

3 Teilbereiche des Digitalen Testfelds Autobahn

Das zeitgemäße und allgemein repräsentative Autobahnstück auf der A9, in der Kombination mit der maßgeblich durch das BMVI gemeinsam mit dem Freistaat Bayern geschaffenen, technologischen Ausstattung, macht das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) zu einem optimalen öffentlichen Erprobungsraum von digitalen Technologien im Zusammenspiel von Autobahn und Fahrzeug. Thematisch sind die auf dem DTA durchgeführten innovativen Maßnahmen den zwei Teilbereichen „Automatisiertes und Vernetztes Fahren“ (AVF) und „Intelligente Infrastruktur“ zugeordnet (Bild 6).

Im Teilbereich AVF werden die Entwicklungen der Industrie (Automobil-, Zuliefererindustrie sowie IT- und Telekommunikationsanbietern) und der Wissenschaft zum Thema Automatisiertes und Vernetztes Fahren verortet. Grundsätzlich können die Aktivitäten dabei neben einer baulich modernen und optimal gepflegten Autobahninfrastruktur auf eine sehr gute Basisausstattung von aktuellen Detektions- und Aktoriksystemen zur Verkehrsbeeinflussung nach dem Stand der Technik aufsetzen und diese als Vergleichsmaßstab nutzen. Zusätzlich ist das DTA auf Basis von Anforderungen der entwickelnden Industrie und Forschung erweitert worden (vgl. auch Kapitel 3.1), um so einen optimalen öffentlichen Erprobungsraum für das AVF auf Autobahnen zu schaffen. Durch finanzielle Fördermöglichkeiten in Form von Förderrichtlinien von Seiten des Bundes ist zudem ein Instrument geschaffen worden, um innovative Vorhaben im Bereich AVF auf dem DTA gezielt zusätzlich zu stützen. Zum Beispiel sind Projekte im Rahmen des „Forschungsprogramms zur Automatisierung und Vernetzung im

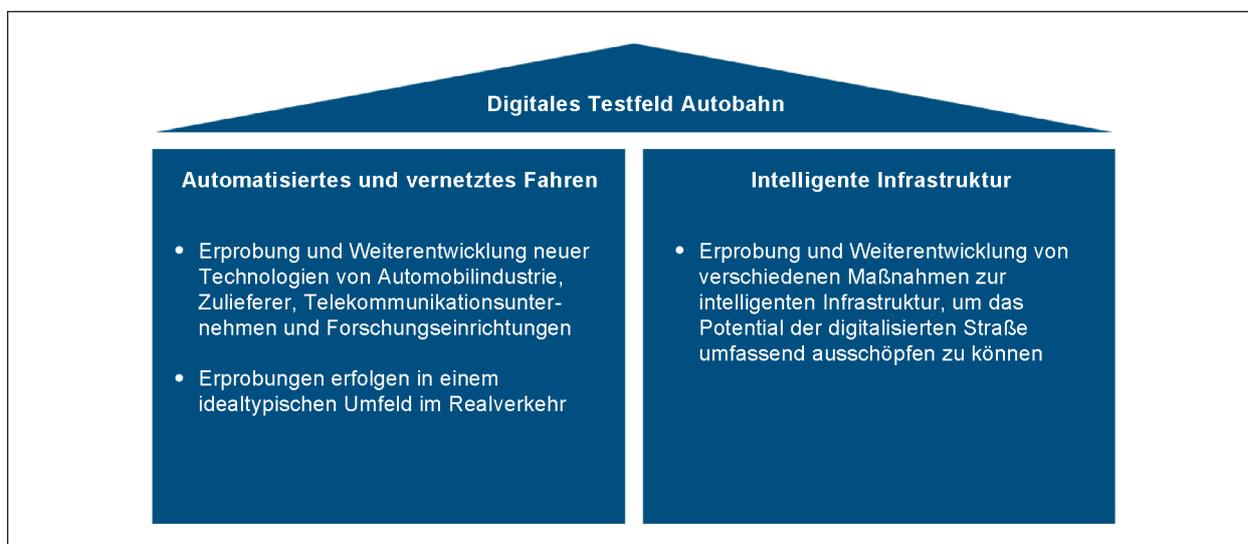


Bild 6: Teilbereiche DTA, Quelle: TRC

Straßenverkehr“⁹ (2016-2020) des BMVI mit seinen zwei Förderrichtlinien „Automatisiertes und vernetztes Fahren“ sowie „Automatisiertes und vernetztes Fahren auf digitalen Testfeldern in Deutschland“ gefördert worden. Ferner wird aktuell ein Projekt aus der Förderrichtlinie „Ein zukunftsfähiges, nachhaltiges Mobilitätssystem durch automatisiertes Fahren und Vernetzung“ gefördert. Die Initiative für die einzelnen Projekte und Maßnahmen in diesem Teilbereich liegt nicht bei der Straßenbauverwaltung. Als Ansprechpartner auf Bundeseite fungiert die durch das BMVI eingerichtete Kommunikations- und Koordinierungsplattform Automatisiertes Fahren (KOAF).

Dem Teilbereich der „Intelligenten Infrastruktur“ werden Innovationen zugeordnet, die den Straßenverkehr auf Autobahnen durch infrastrukturseitige Entwicklungen effizienter, nachhaltiger und sicherer gestalten. Alle Maßnahmen betreffen direkt den Straßenbaulastträger. Ein Großteil der Maßnahmen des DTA im Bereich der „Intelligenten Infrastruktur“ liegt daher primär im Verantwortungsbereich des Bundes bzw. des Freistaats Bayern. Das heißt, dass die Maßnahmen bzw. Projekte zumeist durch den Bund bzw. durch den Freistaat Bayern initiiert, finanziert und begleitet werden.

Das Projekt „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg“, in dessen Rahmen auch dieser Bericht entstanden ist, ist eine der begleitenden Aktivitäten von Seiten des Bundes. Das über vier Jahre angelegte und durch die BASt beauftragte Projekt unterstützt den Testfeldbetrieb auf Seiten der Intelligenten Infrastruktur auf organisatorischer und wissenschaftlicher Ebene. Der hier erstellte Bericht fokussiert daher im Wesentlichen auch auf die Aktivitäten auf Seiten der Intelligenten Infrastruktur. Über die Projektlaufzeit sind die infrastrukturseitigen Maßnahmen auf dem DTA kontinuierlich betrachtet, aufbereitet (u. a. in Form von Steckbriefen) und bewertet sowie teilweise vertieft wissenschaftlich evaluiert worden. Die Ergebnisse dieser Bewertungen finden sich im Kapitel 4 dieses Berichts wieder. Zudem wurden im Rahmen des Begleitungsprojekts neue Projektideen für das DTA mit infrastrukturseitigem Hintergrund fachlichen Begutachtungen unterzogen und bei Bedarf bei der Umsetzung auf dem DTA unterstützt. Weitere Aktivitäten mit Bezug zum Schwerpunkt Intelligente Infrastruktur, bzw. die dafür von besonderem Interesse sein könnten, sind aufbereitet und mit einer Einschätzung zur Umsetzung auf dem DTA versehen worden. Ein Forschungsprogramm für Antragsforschung, ausgestattet mit Fördermitteln, direkt für den Bereich „Intelligente Infrastruktur“ existiert nicht. Jedoch sind eine Reihe von beauftragten wissenschaftlichen Forschungsprojekten den Maßnahmen zuzuordnen sowie auch ein gefördertes Projekt im Rahmen des „Innovationsprogramms Straße“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

⁹ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/forschungsprogramm-avf.pdf> (Abruf 10/2020)

Auch wenn die thematische Verortung der einzelnen Maßnahmen und Projekte in jeweils einem der beiden Teilbereiche erfolgt und diese sich nicht direkt gegenseitig bedingen, bestehen thematische Zusammenhänge. Durch die Verknüpfung der zuständigen Stellen hat ein guter und kontinuierlicher Austausch stattgefunden, sodass die Informationen zu den Maßnahmen und Projekten nicht siloartig in einem Teilbereich verbleiben, sondern deren Potenziale ganzheitlich ausgeschöpft werden können. Unter anderem sind in Regelterminen zwischen der KOAF und der wissenschaftlichen Begleitung der Intelligenten Infrastruktur inhaltliche sowie übergeordnete Themen aus den beiden Teilbereichen ausgetauscht und diskutiert worden. Übergeordnet hat ein breiter Dialog mit Industrie und Forschung im Rahmen von mehreren Fachveranstaltungen und -gesprächen – organisiert vom BMVI – stattgefunden.

Zusätzlich zum inhaltlichen und übergeordneten Austausch zwischen den beiden Teilbereichen wurde ebenfalls der direkte Kontakt zu den Nutzern des DTA gesucht. In diesem Rahmen erfolgte beispielsweise ein Besuch mit den Mitgliedern des Betreuerkreises zum FE 03.0541/2015 der infrastrukturseitigen Maßnahmen des DTA bei einem Automobilhersteller. Ziel dieses Termins war u. a. ein besseres Verständnis über die Nutzung des Testfeldes und die damit verbundenen Anforderungen, u. a. hinsichtlich der Beschilderung, der Markierung sowie sonstigen Leitelementen, zu erhalten.

Weitere Informationen, insbesondere zur inhaltlichen Ausgestaltung der beiden Teilbereiche, befinden sich in den Kapiteln 3.1 Automatisiertes und Vernetztes Fahren (AVF) sowie 3.2 Intelligente Infrastruktur. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Bericht im Rahmen des oben genannten Projekts „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfeldes auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ entstanden ist, welches dem Teilbereich Intelligente Infrastruktur zuzuordnen ist. Entsprechend liegt auch der Schwerpunkt der Berichterstattung auf dem Teilbereich Intelligente Infrastruktur. Im Rahmen des Kapitels 4 erfolgt daher eine vertiefte Vorstellung der einzelnen Maßnahmen aus dem Bereich der Intelligenten Infrastruktur sowie in Kapitel 5 eine Vorstellung der im Rahmen des Begleitungsprojekts entstandenen vertieften Bewertungen und Evaluierungen zu Maßnahmenideen für das DTA.

3.1 Automatisiertes und Vernetztes Fahren (AVF)

Das automatisierte und vernetzte Fahren ist eine Zukunftstechnologie an der Schnittstelle von Mobilität und digitaler Wirtschaft¹⁰. Die Automatisierung der Fahrfunktionen soll zunehmend die fahrzeugführende Person entlasten und damit auch Fahrfehler verringern. Damit wirken die Funktionalitäten der im Kapitel 1 beschriebenen Hauptunfallursache (Fehlverhalten der fahrzeugführenden Person) entgegen und liefern somit einen Beitrag zur Steigerung der Verkehrssicherheit. Durch die vermehrte Integration von Kommunikationstechnologien in die Fahrzeuge wird eine Vernetzung zwischen den Fahrzeugen und der Infrastruktur ermöglicht. Damit können Informationen (z. B. Warnungen vor Hindernissen) weit über den Sichthorizont der Fahrzeuge hinaus übertragen und anderen Verkehrsteilnehmern zur Verfügung gestellt werden. Zudem können Informationen von den Fahrzeugen datenschutzkonform für andere verkehrliche Zwecke, wie beispielsweise zur Verkehrsbeeinflussung, übermittelt werden, was wiederum zu einer effizienteren Verteilung des Verkehrs und damit zu einer Reduzierung von Stauzeiten führen kann.

Zur optimalen Erprobung des automatisierten und vernetzten Fahrens auf dem Digitalen Testfeld Autobahn (DTA) sind zunächst Anforderungen an die Straßeninfrastruktur gemeinsam zwischen der Industrie und Forschung sowie dem BMVI und der bayerischen Straßenbauverwaltung entwickelt worden. Diese sind mit der bereits existierenden umfassenden Grundausstattung des Autobahnabschnitts des DTA, u. a. durchgehend gute Fahrbahnmarkierungen sowie aktuelle Detektions- und Aktoriksysteme zur Verkehrsbeeinflussung, abgeglichen worden. Auf Basis des Abgleichs sind weitere Ausstattungen und Maßnahmen vorgenommen worden, um eine möglichst gute Erprobungsgrundlage zu schaffen. So wurde u. a. durch die Bundesnetzagentur eine lückenlose Abdeckung mit LTE-Mobilfunk (4G) auf dem gesamten DTA nachgewiesen. Zudem wurde eine Highspeed-LAN-Anbindung

¹⁰ Quelle: Förderrichtlinie „Automatisiertes und vernetztes Fahren auf digitalen Testfeldern in Deutschland“ vom 22.06.2016, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

für die Industrie mit bis zu 1 Gbit/s an einer zentralen Anlaufstelle auf dem DTA (AM Greding) zur Übertragung von großen Datenmengen (z. B. eingefahrenen Messdaten) installiert.

Ebenfalls sind zwei Abschnitte des DTA hochpräzise mit einer Genauigkeit von +/- 2 cm vermessen worden. Die entsprechenden Daten des

- ca. 27 km langen Abschnitts zwischen der Anschlussstelle Langenbruck und der Anschlussstelle Allershausen und des

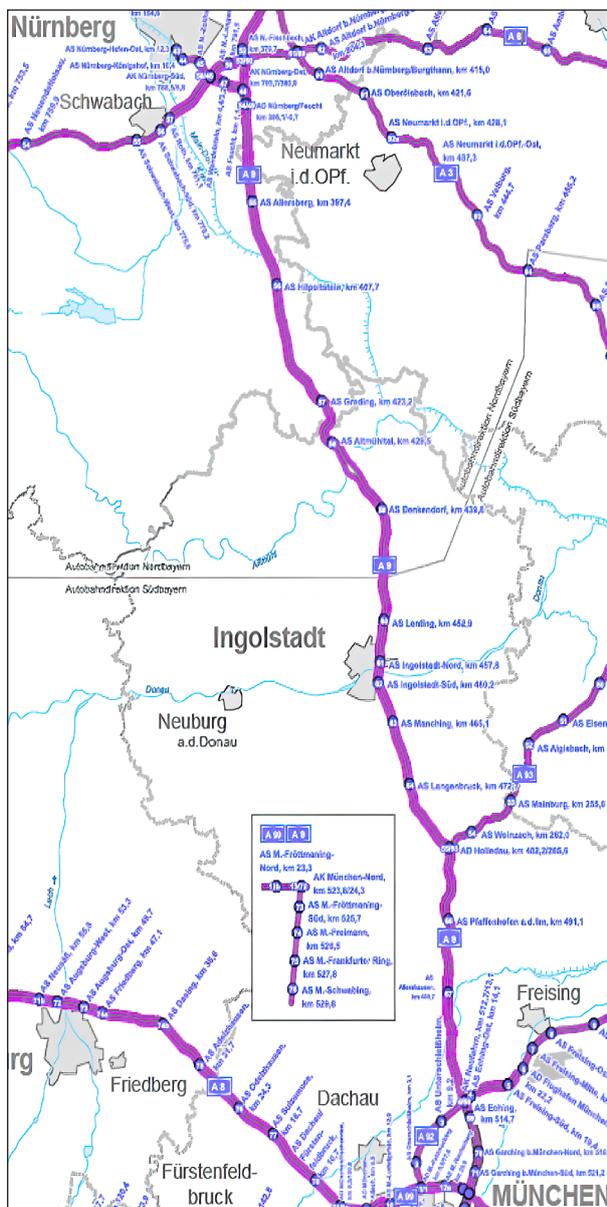


Bild 7: Ausschnitt BAYSIS-Karte, Quelle: BAYSIS

- ca. 25 km langen Abschnitt zwischen der Autobahnanschlussstelle Greding bis zur Trennung der Niederlassungen Nord- und Südbayern der Autobahn GmbH

stehen im OpenDrive-Format (1.4 (Version H)) für digitale Karten zur Verfügung. Sie können kostenlos über den Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM) abgerufen (<https://service.mdm-portal.de/mdm-portal-application/publDetail.do?publicationId=2594000&backDest=rechercheResult>) und so für die Erprobung von automatisierten Fahrfunktionen verwendet werden.

Als weitere Ausstattung sind in Abstimmung mit der Automobilindustrie in einem ca. 15 km langen Abschnitt des DTA, zwischen der Anschlussstelle Wolnzach der A93 im Norden über das Autobahndreieck Holledau bis zur Anschlussstelle Pfaffenhofen an der A9 im Süden in beiden Fahrtrichtungen weitere konventionelle Reflektoren an Leitpfosten und Schutzeinrichtungen zusätzlich zur Grundausstattung angebracht worden. Die Reflektoren dienen zur Unterstützung der eindeutigen Positionsbestimmung der Fahrzeuge auf der Fahrbahn. Zusätzlich sind Schilder mit einem markanten Muster auf dem Abschnitt aufgestellt worden, die ebenfalls durch die Kombination von Bildaufnahmen der fahrzeugseitigen Kameras und den erstellten hochgenauen digitalen Karten der hochgenauen Fahrzeugpositionsbestimmung dienen. Insgesamt wurden 13 Schilderpaare (jeweils eins links und rechts der Fahrbahn in beide Fahrtrichtungen) aufgestellt (Bild 9 und Bild 10).

Zentraler Ansprechpartner für den Teilbereich „Automatisiertes und Vernetztes Fahren“ im BMVI ist die KOAF, welche im Jahr 2015 eingerichtet wurde. Hauptaufgaben der KOAF im Kontext des DTA sind die Identifizierung von AVF-bezogenen Bedarfen

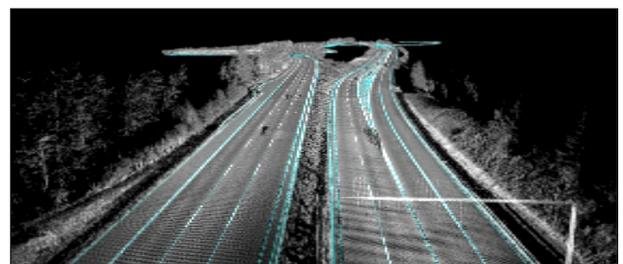


Bild 8: Punktwolke DTA, Quelle: 3D Mapping

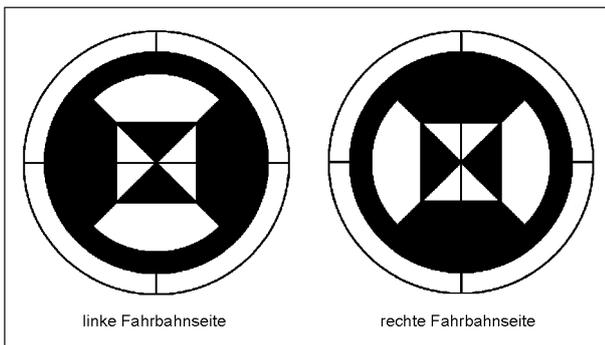


Bild 9: Positionsschilder, Quelle: Bundesanstalt für Straßenwesen



Bild 10: Schilderabschnitt, Quelle: Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH

sowie die Koordinierung der Projekte im Teilbereich AVF.

Insgesamt ist eine Vielzahl von Maßnahmen in Form von Projekten auf dem DTA zum automatisierten und vernetzten Fahren durchgeführt worden (Tabelle 1), zum Teil eigenfinanziert durch die Industrie. Hierbei ist ein großer Teil der Projekte im Rahmen von öffentlichen Förderprogrammen, u. a.

dem „Forschungsprogramm zur Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr“, welches aus der Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren¹¹ der Bundesregierung entstanden ist, umgesetzt worden.

Die Erprobung von Weiterentwicklungen im Bereich des Mobilfunks, hin zur neuen Mobilfunkgeneration (5G) für verkehrliche Anwendungen, stand dabei auf Seiten der Vernetzung im Fokus. Beispielhaft seien hier zwei Projekte für 5G genannt:

Zum einen ist das Projekt „Mobile Edge Computing“¹² der Deutschen Telekom zu nennen, welches gemeinsam mit Nokia, Continental und Fraunhofer ESK durchgeführt wurde. Das Projekt adressierte den Austausch von Gefahreninformationen zwischen Fahrzeugen mittels Mobilfunk (LTE). Von besonderer Bedeutung war, dass die Informationen (über die Gefahr) direkt in der Mobilfunk-Basisstation verarbeitet worden sind und nicht durch das ganze Funknetz geleitet werden mussten. Durch die Anwendung dieser sogenannten Edge-Computing Technologie konnten Latenzzeiten von rund 20 ms realisiert werden. Das heißt, dass dank der direkten Verarbeitung in der Basisstation mit Edge-Computing nur 20 ms vom Zeitpunkt der Gefahrenerfassung in dem einen Fahrzeug bis zur Informationsdarstellung im anderen Fahrzeug vergehen. Die Funktionsweise der entwickelten Edge-Technologie ist mit Demonstratorfahrzeugen auf dem DTA in 2015 erfolgreich präsentiert worden.

Zum anderen sei das Projekt „5G-Connected-Mobility“¹³ erwähnt, in welchem unter der Leitung von Ericsson in einem ca. 30 km langen Abschnitt zwischen den Anschlussstellen Nürnberg-Feucht und Greding, ein 5G-Mobilfunktestnetz auf dem DTA aufgebaut wurde. Zusammen mit weiteren Partnern aus dem Mobilfunkbereich, der Automobilindustrie und der Wissenschaft sind die Möglichkeiten und Grenzen der 5G-Technologie für automobiler Anwendungen praktisch erprobt und bewertet worden.

¹¹ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/broschuere-strategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.html> (Abruf 01/2021)

¹² <https://www.telekom.com/de/konzern/details/-digitales-testfeld-autobahn--350930> (Abruf 11/2020)

¹³ http://www.5g-connectedmobility.com/index_de.html (Abruf 11/2020)

Maßnahme	Inhalt	Projektpartner	Laufzeit
Mobile-Edge-Computing	Weiterentwicklung des Mobilfunknetzes durch die Anwendung „Mobile Edge Computing“ und Demonstration anhand von zwei Anwendungsbeispielen.	Deutsche Telekom AG, Nokia, Continental Fraunhofer ESK	2015
5G-Connected-Mobility	Schaffung einer Infrastruktur und einer realen Anwendungsumgebung, um Tests mit 5G-Technologie durchzuführen. Anwendungsbereiche: Fahrzeug-zu-Fahrzeug, Fahrzeug-zu-Infrastruktur, Digitalisierung der Eisenbahninfrastruktur	Ericsson GmbH, BMW AG, Deutsche Bahn AG, Telefónica Deutschland Holding AG, Vodafone GmbH, Deutsche Telekom AG, 5G Lab Germany an der TU Dresden, BAST und BNetzA	11/2016 – 12/2020
ConVeX – Connected Vehicle (V2X) of Tomorrow	Mobilfunkbasierte Lösungen und Verfahren für die direkte Geräte-zu-Geräte-Kommunikation und netzwerkgestützte 5G-Verbindungen. Im Rahmen des Vorhabens wird ein hybrides V2X-Referenzsystem entwickelt, dessen Kommunikationsmodule sowohl in Fahrzeugen als auch in straßenseitigen Stationen integriert werden. Es soll die Grundlage für ein erfolgreiches Ökosystem für vernetzte und (hoch-) automatisierte Mobilität erarbeitet werden.	AUDI AG, Ericsson GmbH, Qualcomm CDMA Technologies GmbH, SWARCO TRAFFIC SYSTEMS GmbH	12/2016 – 09/2019
Platooning-Projekt	Im Rahmen der „European Truck Platooning Challenge 2016“ der niederländischen Regierung wurde auf dem Digitalen Testfeld Autobahn ein Platoon-Prototyp im Realverkehr erprobt.	MAN Truck & BUS AG	02/2016 – 04/2016
EDDI – Elektronische Deichsel – Digitale Innovation	Im Vorhaben wird der Einsatz von Lkw-Platoons im Regelbetrieb über einen längeren Zeitraum im realen Straßenverkehr erprobt. Untersucht wird die Funktionssicherheit der Automatisierungs- und Vernetzungskomponenten unter unterschiedlichen Bedingungen. Darüber hinaus werden notwendige Anpassungen der Logistikprozesse erforscht. Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt darin, die Auswirkungen der neuen Technologie auf den Lkw-Fahrenden zu ermitteln. Hierbei werden das Situationsbewusstsein, die Reaktionsfähigkeit und die Fahrzeugkontrolle genauer betrachtet. Mit den Fahrten werden reale Transporte aus dem Logistiksystem von DB Schenker abgebildet.	DB Schenker AG, Hochschule Fresenius, MAN Truck & BUS AG	09/2017 – 03/2020
KoRa9 – Kooperative Radarsensoren für das digitale Testfeld A9	Erforschung, Anpassung und Übertragung von automotiven Radarapplikation in den Bereich der Infrastruktursensorik sowie deren Erprobung im komplexen Einsatzfeld der Autobahn. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Aggregation, Aufbereitung und Übertragung der Sensordaten zu einer zentralen Datenbank bzw. über Kommunikationsmedien (pWLAN und Mobilfunk) in Fahrzeuge. Ziel ist die Erweiterung des virtuellen Sichtbereichs der Fahrzeuge.	Siemens AG, Infineon AG, Intel Deutschland GmbH, Hochschule Augsburg und TU München	09/2017 – 03/2020
Providentia – Proaktive video-basierte Nutzung von Telekommunikationstechnologien in innovativen Autobahn-Szenarien	Umsetzung eines elektronischen Vorausblicks für mehr Sicherheit, Komfort und Durchsatz mittels 5G Kommunikation, Infrastruktursensorik (Kamera, Radar), Multidatenfusion aller Sensordaten aus Fahrzeugen und Infrastrukturen im Mischverkehr aus nicht-automatisierten und automatisierten Fahrzeugen. Ziel des Vorhabens ist es, dem Fahrenden – bei hochautomatisierten Fahrzeugen dem Fahrzeug selbst – einen möglichst umfassenden Vorausblick auf die Strecke zu geben, zuverlässig und robust, ohne Informationsüberfrachtung, situationsangepasst, bei Tag und Nacht, auch bei widrigen Umweltverhältnissen.	fortiss, BMW, Cognition Factory, Elektrobit, Huawei, IPG, Rohde & Schwarz, Telekom	12/2016 – 12/2019

Tab. 1: Auswahl von Projekten aus dem Teilbereich „Automatisiertes und vernetzten Fahrens“ auf dem DTA

Die Erkenntnisse können nun beim zukünftigen Aufbau der Netzwerkinfrastruktur Berücksichtigung finden. Da direkt neben dem 5G-Versuchsabschnitt des DTA eine ICE-Bahntrasse liegt, sind zusätzlich zu den rein straßenseitigen Aktivitäten auf dem DTA auch gemeinsam mit der Deutschen Bahn (DB) Untersuchungen zur Breitbandversorgung erfolgt.

Neben Vernetzung ist auch die Erprobung des automatisierten Fahrens an sich ein Schwerpunktthema auf dem DTA, wozu auch die elektronische Folgefahrt (Platooning) gehört.

Zum einen sind in dem Zusammenhang von MAN mehrere Testfahrten im Rahmen der „European

Truck Platooning Challenge“, die durch die Niederlande im Rahmen ihrer Ratspräsidentschaft im Jahr 2016 ausgerufen worden ist, absolviert worden. Die Ergebnisse ermöglichten MAN, die Truck Platooning Challenge mit dem Ziel in Rotterdam im Anschluss erfolgreich zu bestreiten. Zum anderen hat MAN gemeinsam mit DB Schenker und der Hochschule Fresenius, das durch das BMVI geförderte Forschungsprojekt „EDDI – Elektronische Deichsel-Digitale Innovation“¹⁴, auf dem DTA abschließen können. Ziel des Projekts war es, automatisierte Lkw-Platoons im realen Logistikeinsatz zwischen Nürnberg und München zu erproben. Um eine möglichst hohe Praxisnähe zu erreichen, sind real vorgesehene Logistiktransporte durch elektronisch gekoppelte Lkw auf dem DTA vorgenommen und bewertet worden. Die Fahrten haben wertvolle Erkenntnisse für die technologische Weiterentwicklung von Funktionen für die elektronische Folgefahrt sowie deren Einbindung in logistische Prozesse geliefert. Ebenfalls konnten Erfahrungen hinsichtlich der Auswirkungen der neuen Technologie auf den Lkw-Fahrenden gewonnen werden.

Zwei weitere auf dem DTA durchgeführte und durch das BMVI geförderte Forschungsprojekte haben die Vernetzung von Fahrzeugen mit infrastrukturseitigen Erfassungssystemen zum Schwerpunkt. Sie zeigen exemplarisch die Möglichkeiten des Zusammenspiels zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur auf. Im Projekt „Providentia – Proaktive Videobasierte Nutzung von Telekommunikationstechnologien in innovativen Autobahn-Szenarien“¹⁵ war ein Ziel mit infrastrukturseitigen Sensoren einen digitalen Zwilling von einem Abschnitt des DTA zu generieren, um automatisierten Fahrzeugen relevante Informationen über Mobilfunk zur Verfügung zu stellen.

Im Projekt „KoRA9 – Kooperative Radarsensoren für das digitale Testfeld A9“¹⁶ erfolgte in einem ersten Schritt die Installation von infrastrukturseitigen Radarsensoren auf dem DTA zur Verkehrsfluss-

fassung. Die daraus gewonnenen Informationen sind zentral aufbereitet und aggregiert worden, so dass sie zur Verkehrsbeeinflussung eingesetzt werden können. Die entsprechenden Verkehrsbeeinflussungshinweise sind dann wiederum prototypisch über Mobilfunk bzw. automotive WLAN (pWLAN) in Fahrzeuge auf dem DTA übertragen worden.

Im Teilbereich des „Automatisierten und Vernetzten Fahrens“ sind, wie zuvor in Auszügen dargestellt, eine Reihe von wertvollen und verwertbaren Erkenntnissen und Ergebnissen aus den Projekten entstanden. Deren tiefergehende Betrachtung und Bewertung ist nicht Teil dieses Abschlussberichts. Weitere Auskünfte zu den einzelnen Maßnahmen können über die KOAF¹⁷ angefragt werden. Übergeordnete Information zu den zuvor dargestellten Forschungsprojekten sowie weiteren Projekten zum Thema Automatisiertes und Vernetztes Fahren können zudem über die Internetseite <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/AVF-Forschungsprogramm/Projekte/avf-projekte.html> abgerufen werden.

3.2 Intelligente Infrastruktur

Auf Seiten der Intelligenten Infrastruktur kann, wie schon im Bereich der Digitalisierung, auf eine lange Historie zurückblickt werden. Mit der Einführung von Verkehrstelematik und intelligenten Verkehrssystemen wurden erste digitale Anwendungen in dem Bereich bereits früh etabliert, beispielsweise in Form von Wechselverkehrszeichen. Deren Anzeige basiert auf Daten, die über streckenseitige Sensoren erfasst, zu Unterzentralen übertragen und dort automatisiert ausgewertet werden. Zudem erfolgt über Verkehrszentralen eine strategische bzw. makroskopische Verkehrsbeeinflussung, in deren Rahmen beispielsweise entsprechende Informationen über Strecken- und Netzbeeinflussungsanlagen (z. B. dWiSta¹⁸) weitergegeben werden.

¹⁴ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/eddi.html> (Abruf 11/2020)

¹⁵ <http://testfeld-a9.de/> (Abruf 11/2020)

¹⁶ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/KoRA9.html> (Abruf 11/2020)

¹⁷ koaf@bmvi.bund.de

¹⁸ Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen

Auch der infrastrukturseitig betriebene Rundfunk, über den Verkehrsinformationen (Stau- und Gefahrenwarnungen) übertragen werden, zählt zu den frühen digitalen Anwendungen auf Seiten der Infrastruktur – zunächst mündlich über den Verkehrsfunk und später auch über RDS/TMC¹⁹ als digitales Signal. All diese Entwicklungen zählen zu den im Kapitel 1 formulierten Zielen (Steigerung der Verkehrssicherheit, Verbesserung des Verkehrsflusses, Erhöhung der Verkehrseffizienz sowie Verbrauchs- und Emissionsreduzierung) ein.

Darüber hinaus ist die Infrastruktur ein zentraler Standortfaktor der Wirtschaft; zugleich ist ihre Modernisierung mit hohen Kosten verbunden. Es liegt daher im volkswirtschaftlichen Interesse die geeignetsten Lösungen für eine Digitalisierung der Straßeninfrastruktur zu erproben. Hieraus lassen sich dann Rückschlüsse für die zweckmäßige und zukunftsweisende Ausgestaltung der Infrastruktur ziehen. Standardisierungsprozesse werden angestoßen und tragen dazu bei, Deutschlands Position im Bereich Forschung und Entwicklung international zu festigen.

Die Möglichkeit einer Erprobung neuer infrastrukturseitiger Lösungen im Realbetrieb wie auch die Infrastruktur in einem Testfeld dynamisch weiterzuentwickeln, bieten die Chance, den erfolgreichen Pfad der Digitalisierung der Straßeninfrastruktur fortzusetzen und deren Potenziale zu erschließen. Das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) schafft hierzu mit all seinen Facetten eine fundierte Grundlage.

¹⁹ RDS = Radio Data System, TMC = Traffic Message Channel

4 Maßnahmen der Intelligenten Infrastruktur

Insgesamt wurden mit Aufsetzen des Digitalen Testfelds Autobahn (DTA) zwölf Maßnahmen im Bereich der „Intelligenten Infrastruktur“ durchgeführt (Bild 11). Thematisch reichen die Maßnahmeninhalte von der Erprobung neuer infrastrukturseitiger Detektionstechnologien (Radar, Kamera, Bluetooth etc.) über die bessere Erfassung des Straßengeschehens (Verkehrsfluss, Gefahrensituationen, Straßenzustände, Wetter, Parkplatzbelegungen etc.) hin zur Optimierung der Verkehrsbeeinflussung sowie Information und Warnung der Verkehrsteilnehmer über unterschiedlichste Kommunikationswege (Schilder, WLAN, Mobilfunk). Als weiterer wichtiger Mosaikstein in diesem Kontext werden Fahrzeuge, die zunehmend mit kooperativen Systemen ausgestattet werden und damit z. B. selbständig erkannte Ereignisse wie Stauenden oder Pannen übermitteln können, als Informationsquelle mitberücksichtigt. Auch den Herausforderungen der Straßeninfrastruktur selbst wird auf dem DTA mit digitalen Lösungen begegnet. So sind Ideen eines effektiveren Erhaltungs- und Betriebsmanagements durch den Einsatz von digitaler Technik (Sensoren mit intelligenter Auswertetechnologie) zur Zustandsüberwachung und Schadensdetektion Teil der Maßnahmen. Ferner wurden Maßnahmen umgesetzt, bei denen untersucht wurde, inwiefern vorhandene Infrastruktur, wie Verkabelungen von Notrufsäulenstandorten bzw. Streckenfernmeldekanal, nachhaltig für zukünftige Zwecke verwendet werden können. Neue Technologien, die das Arbeiten von Personen auf Autobahnen (z. B. Straßenmeistern, Polizisten und Mitarbeitern des Bundesamts für Güter-

IROUTE/ROUTE2	INTELLIGENTE GLÄTTEVORHERSAGE
V2I: DER BAUSTELLENWARNER	INTERNET-PARKPLATZ
FALSCHFAHRERWARNUNG	TANK- UND RASTANLAGE DER ZUKUNFT
NOTRUFSAULEN	INTELLIGENTE FAHRSTREIFENREDUKTION
INNOVATIVES LKW-PARKLEITSYSTEM	SICHERES AUSLEITEN BEI STANDKONTROLLEN
INTELLIGENTE BRÜCKE	C2VBA (STRATEGISCHES ROUTING)

Bild 11: Überblick der Maßnahmen im Teilbereich Intelligente Infrastruktur, Quelle: TRC

verkehr auf Bundesautobahnen) aus Sicht des Arbeitsschutzes sicherer gestalten, sind ebenfalls untersucht worden.

All diese Maßnahmen haben einen direkten Bezug zu den Aufgaben des Straßenbaulastträgers. Sie wurden daher in enger Abstimmung mit dem Bund und dem Freistaat Bayern durchgeführt. Neben der unterschiedlichen thematischen Ausprägung der einzelnen Maßnahmen unterscheiden sich diese auch in organisatorischer Hinsicht. So bestehen einzelne Maßnahmen aus verschiedenen öffentlich oder industrieseitig finanzierten Forschungs- bzw. Umsetzungsprojekten. Diese Projekte sind abermals individuell auf die jeweiligen Herausforderungen angepasst und stellen eine thematische Klammer dar, unter der jeweils mehrere Aktivitäten zu einem Thema subsummiert werden. Des Weiteren werden je Maßnahme auch unterschiedliche Evaluierungsansätze, u. a. hinsichtlich Tiefe und Zielsetzung, verfolgt. Seit der Einrichtung des DTA konnten im Rahmen der Maßnahmen einige Projekte abgeschlossen werden, andere sind neu hinzugekommen. Mit dem Forschungsprojekt „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) sind, wie schon im Kapitel 3 eingehend erläutert, die zwölf Maßnahmen übergeordnet durch das Forschungsprojekt organisatorisch und wissenschaftlich begleitet worden. In der nachfolgenden Dokumentation der einzelnen Maßnahmen zeigt sich, dass die Begleitungstiefe unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Die Tiefe geht dabei von der einfachen Begleitung mit Aufnahme der teilweise maßnahmenintern vorgenommenen Evaluierung bis hin zur Darstellung der eigens für die Maßnahmen aufgestellten wissenschaftlich fundierten Evaluierungs- und Bewertungskonzepte, mit deren Durchführung sowie abschließenden Aus- und Bewertung. Die erfolgten Evaluierungsarbeiten zeigen auch nochmals deutlich den wissenschaftlichen Charakter des Begleitprojekts auf. In den folgenden Kapiteln werden die zwölf Maßnahmen des Teilbereichs „Intelligente Infrastruktur“ des DTA im Einzelnen vorgestellt und einer Bewertung unterzogen.

Trotz der weitestgehend unabhängigen Durchführung der einzelnen Maßnahmen bestehen untereinander sowie zum Teilbereich Automatisiertes und Vernetztes Fahren (AVF) Abhängigkeiten und Synergien, welche genutzt wurden und werden, um innovative digitale Technologien auf den Bundesautobahnen zu realisieren. Diese Vernetzung und Ver-

flechtung der Maßnahmen untereinander wird im Kapitel 6 bei der Beschreibung der Zusammenhänge und Synergien der einzelnen Maßnahmen thematisiert.

Zudem wurden neue Ideen im Bereich der intelligenten Infrastruktur bewertet, die während der Laufzeit des Forschungsprojekts Potenzial für eine Umsetzung auf dem DTA besaßen bzw. vorgeschlagen wurden. Unter anderem ist eine Idee zur Detektion des Verkehrsflusses mittels Lichtwellenleitern und ein System zur Falschfahrerwarnung begutachtet worden. Weitere Ausführungen dazu befinden sich in Kapitel 5.

4.1 iRoute2 – Erweiterung der Verkehrsdatenerfassung

4.1.1 Ausgangssituation

In den letzten Jahren ist eine Häufung von kapazitäts- und störfallbedingten Überlastungen auf Bundesfernstraßen festzustellen. Diese Entwicklung erzeugt sowohl unter volkswirtschaftlichen als auch unter ökologischen und sozialen Gesichtspunkten Handlungsbedarf. Weitere Verbesserungen auf den Gebieten der Verkehrsinformationen und Verkehrsbeeinflussung versprechen eine Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Bundesautobahnen. Vor diesem Hintergrund können netzweite Systeme zur flächendeckenden Störfallerkennung und Reisezeitermittlung die Datenbasis für folgende Maßnahmenaktivitäten schaffen:

- Ausbau der kollektiven Verkehrsbeeinflussung an Knotenpunkten, auf Strecken und in Netzen,
- Verbesserung der Information des Verkehrsteilnehmers über die Qualität des Verkehrsablaufs und Störfälle,
- Verbesserung der Datenbasis für Planungszwecke, Maßnahmenbewertung und Statistik sowie für die Qualitätssicherung und Anlagenoptimierung.

Eine notwendige Voraussetzung für eine optimale Wirkungsentfaltung der Maßnahmen ist eine ausreichende, zuverlässige und schnelle Erfassung des Verkehrsablaufs. Ziel ist eine detaillierte Kenntnis des aktuellen und prognostizierten Verkehrszustandes aller relevanten Streckenabschnitte, um so eine bestmögliche Information der Verkehrsteilnehmer zu erreichen und eine optimale Steuerung der

Verkehrsbeeinflussungsanlagen unterstützen zu können.

Das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) ermöglicht die vergleichende Untersuchung und Beurteilung verschiedener potenzieller Datenquellen. Das hier beschriebene und im DTA implementierte Projekt „iRoute2“ setzt dabei auf den Erkenntnissen des im Jahr 2012 abgeschlossenen Vorgängers „iRoute – Stufe 1“ auf. Dort wurden verschiedene Verfahren in einem eigens eingerichteten kleinräumigen Testfeld auf der BAB A9 untersucht. Hierbei wurden lokale Sensoren und Sensorkombinationen zusammen mit verschiedenen Verkehrsanalyseverfahren im Hinblick auf ihre Eigenschaften in der Störungserkennung und Reisezeitermittlung verglichen.

4.1.2 Zielsetzung

Zur Erfassung von Verkehrslage und Störfällen (Stau etc.) gibt es verschiedene Möglichkeiten, die aber aus wirtschaftlichen Überlegungen nicht flächendeckend zum Einsatz kommen können. Autobahnabschnitte mit Streckenbeeinflussungsanlagen sind im Vergleich zu peripheren Abschnitten ohne Anlagen im Allgemeinen gut mit Erfassungsmöglichkeiten ausgestattet. Dementsprechend qualitativ unterschiedlich sind die Erfassung und Darstellung von Verkehrslage und Störfällen im Straßennetz. In iRoute2 soll untersucht werden, welche Möglichkeiten es gibt, die Erfassung von Verkehrslage und Störfällen flächendeckend zu verbessern. Im Rahmen des DTA wurden erfolgversprechende Verfahren auf einen deutlich längeren Abschnitt angewandt und untersucht, u. a. um Erkenntnisse über geeignete Technologien für bisher nicht oder nicht gut ausgestattete Netzbereiche zu gewinnen. Die drei Erfassungstechnologien – lokale, mobile und streckenbezogene Erfassung – wurden im Projekt gegenübergestellt und bewertet. Ziel der Untersuchung war es, unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit Empfehlungen für den optimalen Einsatz und notwendigen Umfang der drei Erfassungstechnologien zu ermitteln, sodass eine flächendeckende Verkehrslageerfassung und Störfallerkennung gewährleistet werden kann.

Die Autobahn A9 ist als digitales Testfeld mit verschiedenen Erfassungsmöglichkeiten für Verkehrsdaten ausgestattet. Zum einen gibt es lokale Detektoren (überwiegend Überkopfdetektion), die u. a. die Anzahl an passierenden Fahrzeugen (q) wie auch deren lokale Geschwindigkeit (v) erfassen. Weiterhin gibt es auf dieser Strecke, überwiegend

im Verdichtungsraum Ingolstadt, Seitenradar als lokale Verkehrsdatenerfassungsmöglichkeit. Zusätzlich kann die Verkehrslage durch mobile Detektoren erfasst werden. Dazu zählen im Wesentlichen Floating-Car-Daten (FCD). Hierbei werden Positionsdaten durch ein Navigationsgerät in einem sich bewegenden Fahrzeug erfasst. Eine dritte Datenerfassungstechnologie auf der A9 sind Reisezeitmessungen. Bluetooth-Scanner registrieren hierbei ein vorbeifahrendes Bluetooth-Gerät an zwei räumlich getrennten Scannern und berechnen anhand der beiden Zeitstempel die Reisezeit zwischen diesen Orten. So lassen sich räumliche – streckenbezogene – Reisegeschwindigkeiten ermitteln.

4.1.3 Durchführung

In einem Analysezeitraum von 2 Monaten der durchgängigen Erhebung (Nettoumfang) wurde ein Vergleich der Erfassungstechnologien auf dem DTA durchgeführt. Zunächst werden alle drei Erfassungsmethoden – lokale, streckenbezogene und mobile Detektion – einzeln durch entsprechende verkehrstechnische Modelle (Datenverarbeitung) aufbereitet. Somit erhält man je Datenerfassung eine zeitlich-räumliche Darstellung der Verkehrslage, (sog. speed contour plot). Die Vorgehensweise ist in Bild 12 dargestellt.

Für die lokale Detektion wird die sog. adaptive smoothing method²⁰ (ASM, TREIBER/HELBING, 2002) verwendet. Die Geschwindigkeitswerte, die von den lokalen Detektoren gemessen werden, werden durch eine anisotrope Interpolationsmethode um die Bereiche zwischen den Detektoren erweitert. Auf diese Weise entsteht ein vollständiges raum-zeitliches Geschwindigkeitsbild. Die FCD sowie die Reisezeiten aus den Bluetooth-Scannern werden entsprechend mit den Methoden PSM²¹ respektive TUM-AID²² aufbereitet.

²⁰ TREIBER, M.; HELBING, D. (2002). Reconstructing the Spatio-Temporal Traffic Dynamics from Stationary Detector Data. Cooperative Transportation Dynamics 1, 3.1-3.24 (2002).

²¹ REMPE, F.; BOGENBERGER, K.; FASTENRATH, U. (2017): A Phase- Based Smoothing Method for Accurate Traffic Estimation with Floating Car Data . Transportation Research Board Annual Meeting (96., 2017, Washington, DC).

²² MARGREITER, M. (2016): Fast and Reliable Determination of the Traffic State Using Bluetooth Detection on German Freeways. 14th World Conference on Transport Research.

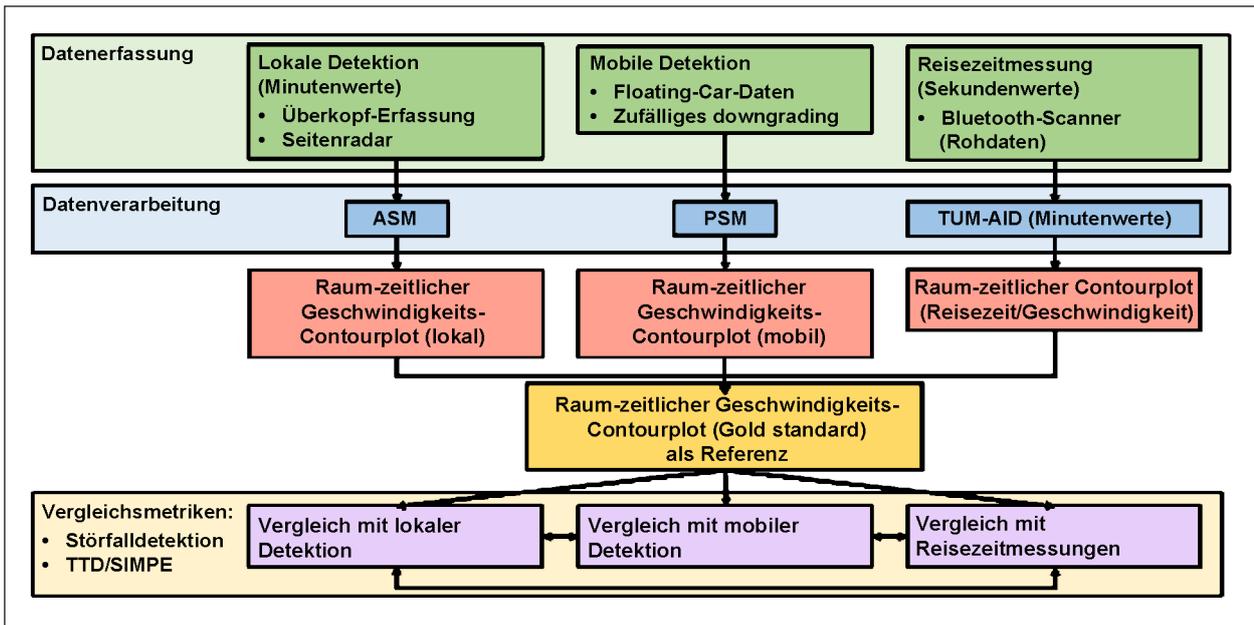


Bild 12: Projektablauf iRoute2, Quelle: Universität der Bundeswehr München bzw. TUM

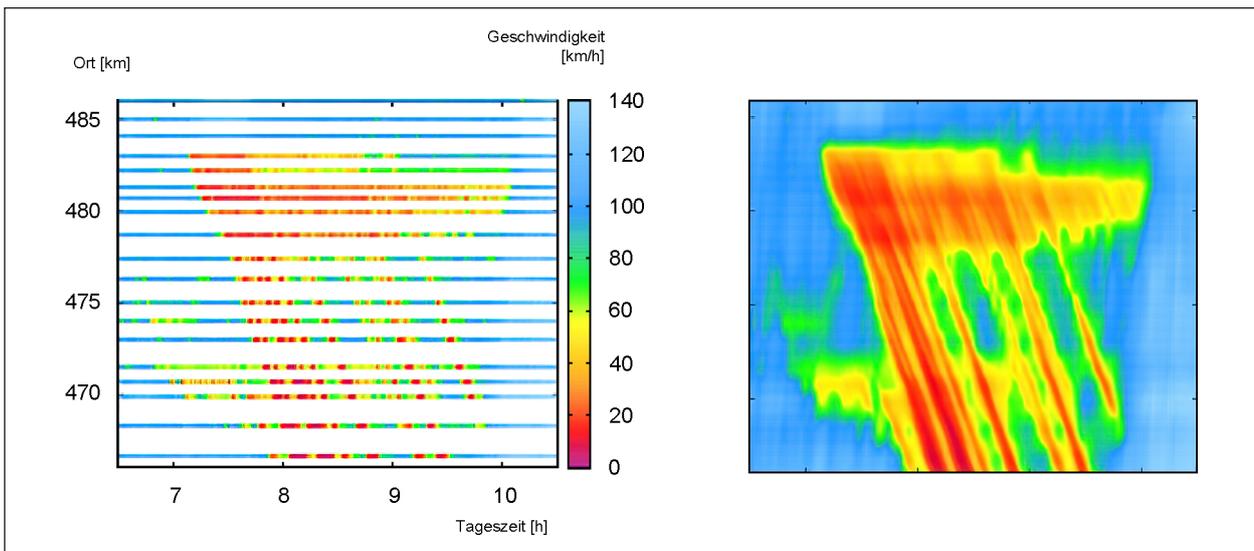


Bild 13: ASM als Interpolationsmethode für lokale Detektion (links: Rohdaten; rechts: interpolierte Daten), Quelle: Universität der Bundeswehr München

Durch die Zusammenführung der drei Datenquellen zu einem raum-zeitlichen Geschwindigkeitsmodell wird ein sog. Gold-Standard erzeugt, der als Referenz für die Bewertung einzelner Datenquellen dient.

Die Interpolationsmethode ASM verwendet zwei Glättungskerne, einen in stromabwärtiger Richtung, der Geschwindigkeitswerte in Fahrtrichtung mit der Freiflussgeschwindigkeit propagiert, und einen in stromaufwärtiger Richtung, der Geschwindigkeits-

werte gegen die Fahrtrichtung (in die Richtung der Stauausbreitung) propagiert. Beide Kerne werden abhängig von der Geschwindigkeit am Detektor kombiniert und ergeben ein raum-zeitliches Bild, wie in Bild 13 zu sehen. Gemessene Geschwindigkeitswerte gehen durch diese Glättung nicht verloren, sondern es werden Geschwindigkeitswerte zwischen Detektorpositionen interpoliert.

Für die mobilen Detektoren wird eine speziell für FCD entwickelte Glättungsmethode verwendet, die

sog. phase-based smoothing method²¹. Diese Interpolationsmethode versucht anhand der 3-Phasen-Theorie von Kerner die Phasen Freifluss, synchronisierten Verkehr und breiten, sich bewegendes Stau zu identifizieren und dementsprechend die Geschwindigkeiten zu propagieren. GPS-Trajektorien von FCD werden in Bereichen ohne Trajektorien interpoliert, bestehende GPS-Messungen werden nicht verändert.

Die sekundlichen Reisezeitmessungen aus den Bluetooth-Scannern werden mit einem Algorithmus (TUM-AID)²², der im Rahmen von iRoute 1 entwickelt wurde, in Geschwindigkeiten umgerechnet und zu minütlichen, abschnittsbezogenen Geschwindigkeitswerten aggregiert.

Die Verkehrslage, die raum-zeitliche Darstellung der Geschwindigkeit, wird im Anschluss an das data processing aus allen drei Quellen fusioniert zu einer sog. golden ground truth. Dies ist möglich, da für alle drei Datenquellen zeitlich-räumliche Geschwindigkeitsfelder erzeugt wurden. Dieses aus allen drei Datenquellen fusionierte Geschwindigkeitsfeld entspricht nun der bestmöglichen Verkehrsdatenlage für die jeweilige Verkehrssituation. Im Projekt wird dieser „gold standard“ als Referenz betrachtet. Im Anschluss erfolgen Vergleiche der einzelnen Erfassungsmöglichkeiten, sowohl bezüglich der Referenz als auch untereinander.

Die Methodik der Untersuchungen enthalten Typisierungen für Ausstattungsvarianten wie Strecken mit/ohne Ausstattung oder Ballungsgebiete. Die Unterteilung erfolgt in hochstörungsauffällige, teilweise störungsauffällige und nicht störungsauffällige Bereiche, definiert über die Anzahl an störungsauffälligen Ereignissen. Dies umfasst etwa, welche Kombinationen der Detektionstechnologien für die Störfallerkennung und die Verkehrslage aus wirtschaftlichen Gründen vorzusehen sind. Hierzu ist es erforderlich, Optima aus Straßenausstattung inkl. Betriebskosten und erzielbaren Reaktionszeiten herauszuarbeiten. Die Kostenansätze zur Ermittlung der Betriebskosten wurden u. a. aus den Angaben des Bluetooth-Gutachtens* übernommen (*BT-Gutachten im Auftrag der ABDS, 2018). Prognosen sind nicht vorgesehen. Ein Störfall ist dabei als ein Geschwindigkeitseinbruch unterhalb einer parametrierbaren Geschwindigkeit v_{crit} (Startwert: 40 km/h) definiert. Die Geschwindigkeit wird im zeitlich-räumlichen Verlauf verglichen.

4.1.4 Ergebnis

Auf Basis der drei Erfassungsarten wurde eine aggregierte Geschwindigkeit je raum-zeitlicher Zelle des Contourplots ermittelt (Gold-Standard). Die drei Erfassungsarten wurden sowohl untereinander als auch mit diesem Gold-Standard verglichen. Kern der Bewertung war dabei die Qualität der Erkennung verschiedener Stautypen und von daraus gebildeten Stauhäufungspunkten. Dabei wurden Daten des gesamten Abschnitts zwischen München und Nürnberg betrachtet, d. h. 90 km mit lokaler Detektion und jeweils 160 km mit mobiler und streckenbezogener Detektion.

Beispielsweise werden für einen Tag in der fusionierten Darstellung zehn Staumuster erkannt, 1 x Stauwelle (schwarz), 6 x Stop&Go (violett), 1 x Breiter Stau (türkis), 2 x Mega-Stau (weiß) (Bild 14). Bild 15 zeigt für diesen Beispieltag die identifizierten Cluster nach Datenquelle getrennt (SDD: lokale Verkehrserfassung, BT: streckenbezogene Verkehrserfassung, FCD: mobile Verkehrserfassung) und für die Fusion, ohne die zugrunde liegenden Geschwindigkeiten.

Basierend auf der Stautypen-Klassifikation einzelner Stauereignisse wurde eine Stautypen-Häufigkeits-Analyse implementiert. Für jedes Cluster wurde dabei ein eindeutiger Stautyp ermittelt und der Startzeitpunkt sowie der Startort des Staus berechnet. Somit konnte eine zeitliche (vgl. Bild 16), eine räumliche (vgl. Bild 17) und eine zeitlich-räumliche Verteilung (vgl. Bild 18) der Staubeginne dargestellt werden.

Die Identifikation der Stautypen-Hotspots dient dazu, zu entscheiden, welche Datenerfassung an welcher Stelle installiert werden sollte. Beispielsweise wird für die Detektion von Stop&Go-Verkehr dichtere (und daher ggf. günstigere) Erfassung benötigt. Auch fahrstreifenweise unterschiedlicher Stau mit den verschiedenen Staumustern kann so identifiziert werden.

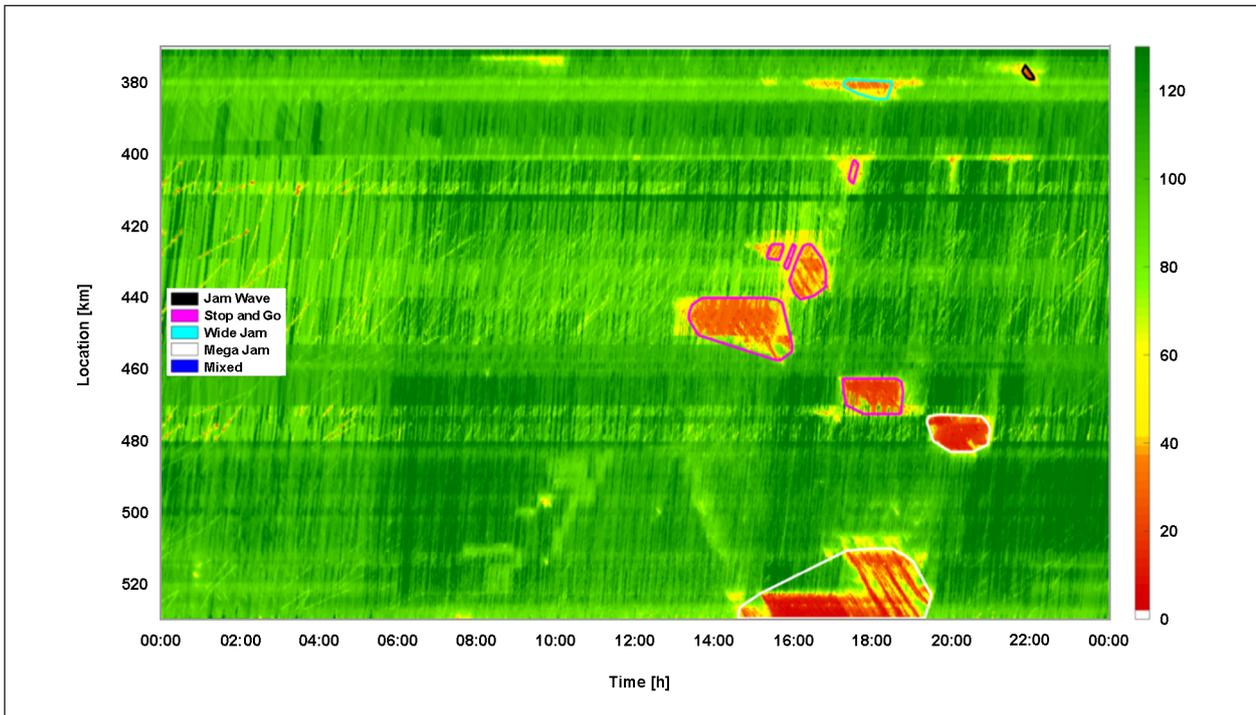


Bild 14: Stautypen aus fusionierten Geschwindigkeitsdaten vom 29.05.2019 in FR Nürnberg (in km/h)

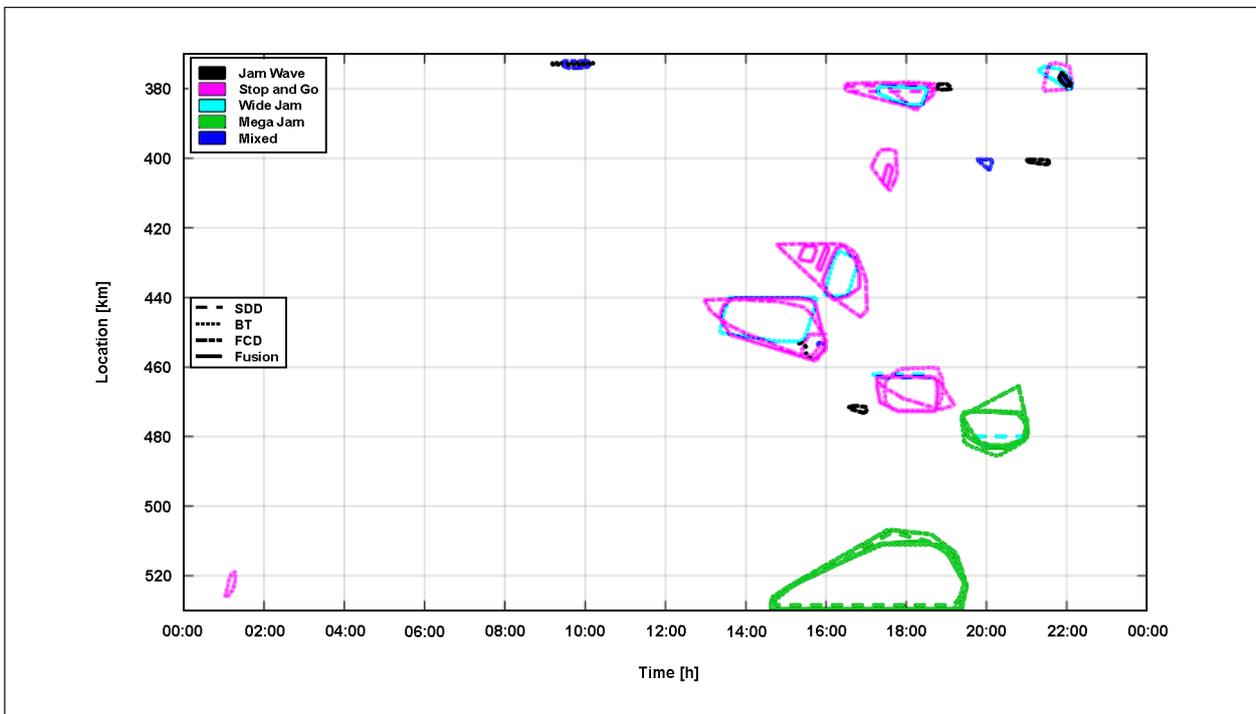


Bild 15: Identifizierte Stautypencluster vom 29.05.2019 in FR Nürnberg

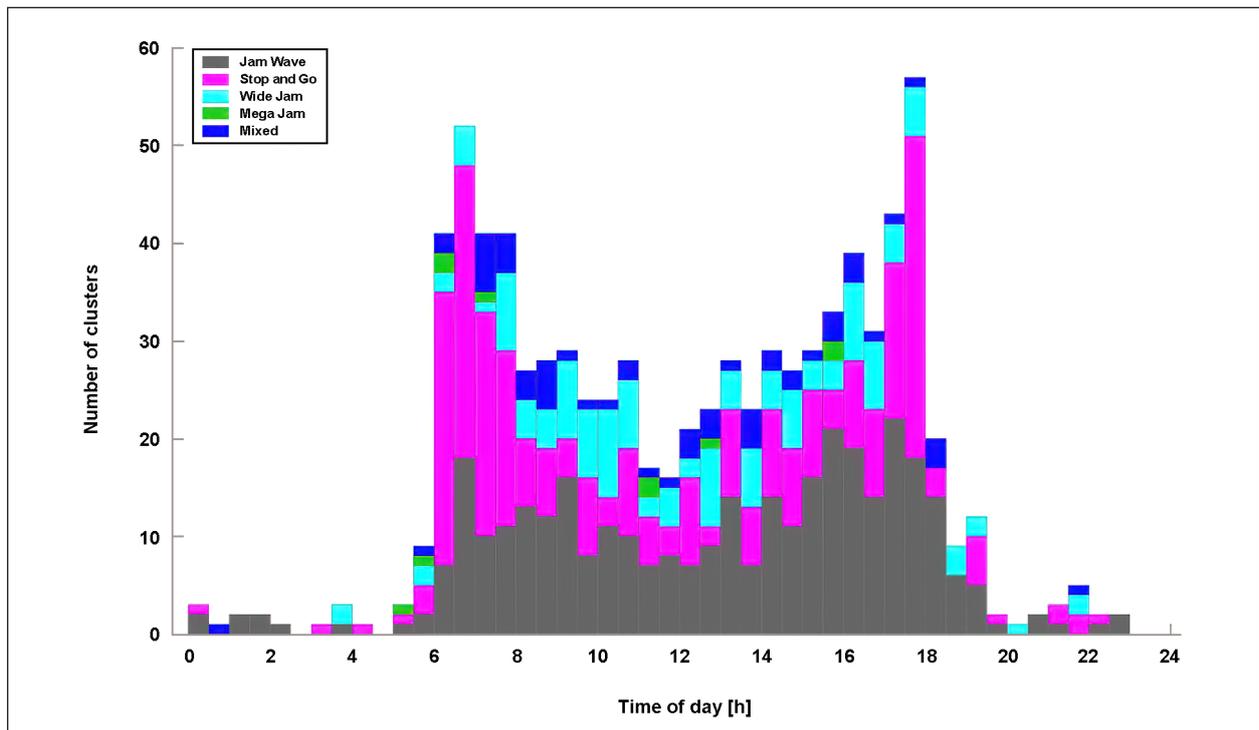


Bild 16: Zeitliche Stauverteilung aus lokaler Detektion in FR München

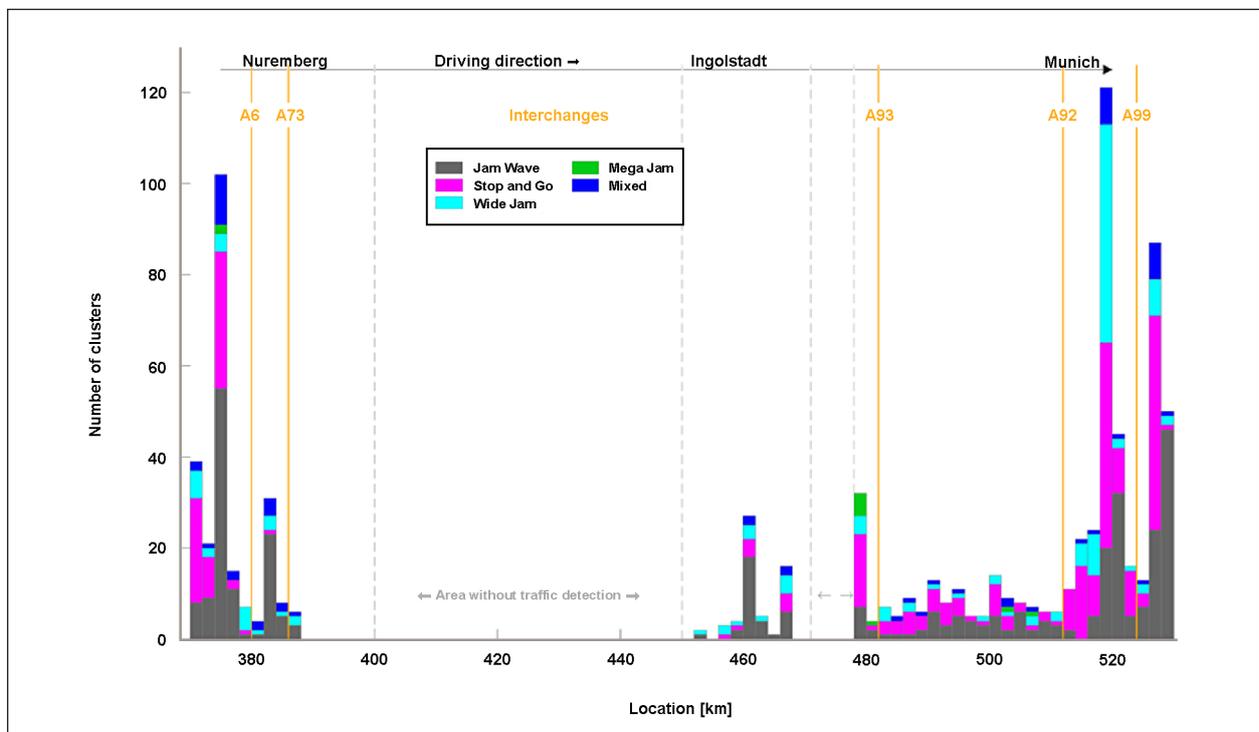


Bild 17: Räumliche Stauverteilung aus lokaler Detektion in FR München

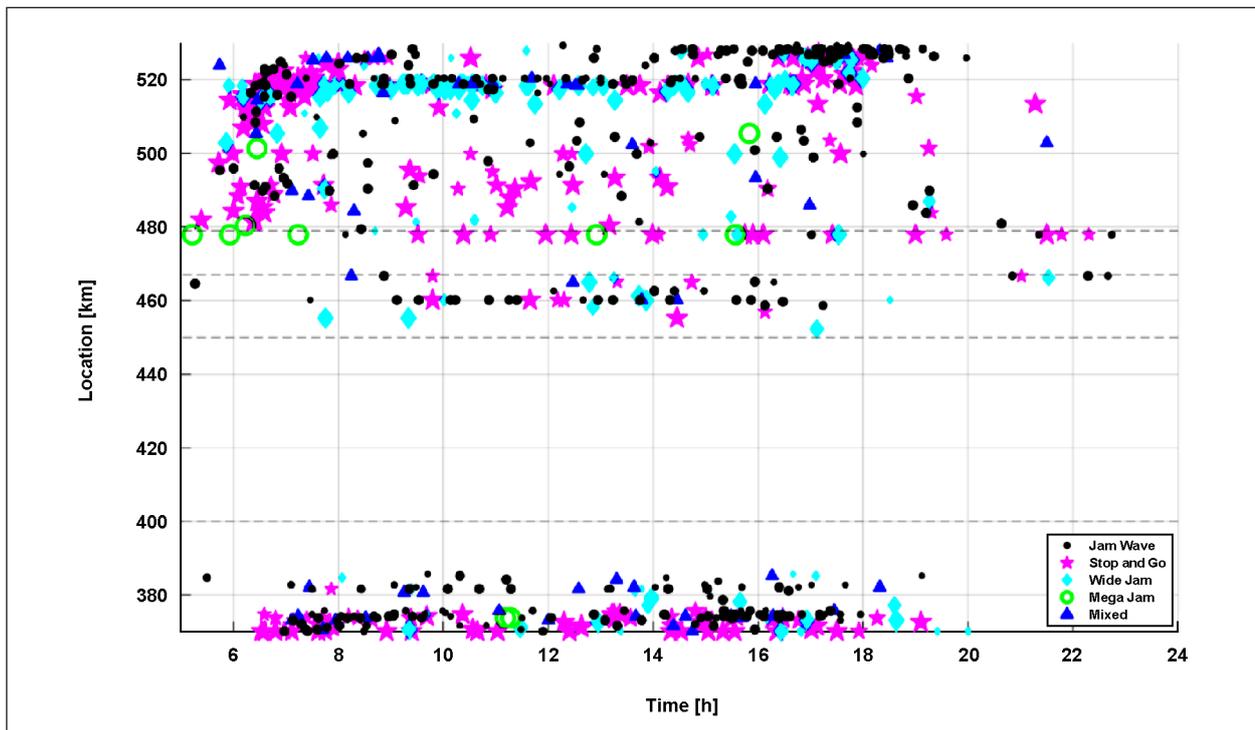


Bild 18: Zeitlich-räumliche Stauverteilung aus lokaler Detektion in FR München

4.1.5 Bewertung und Ausblick

Im Untersuchungsgebiet wurden verschiedene Arten von Störfällen identifiziert (vier Stautypen: Stauwelle, Stop&Go, Breiter Stau, Mega-Stau). Anhand von historischen Daten aus etwa zwei Monaten aus dem Jahr 2019 wurden lokale Erfassung (Überkopfsensorik und Seitenradar), mobile Erfassung (Floating-Car-Daten) und streckenbezogene Erfassung (Bluetooth-Detektion) gegenübergestellt und bewertet. Für jeden Stautyp und jede Erfassungstechnologie wurden Stauschwerpunkte auf der betrachteten Strecke der A9 herausgearbeitet und so eine Bewertung jeder Kombination vorgenommen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die aktuelle Ausstattung in Verdichtungsräumen mit vorhandener Ausstattung (SBA mit ca. 1,5 km Detektionsabstand) die Verkehrslage in ausreichender Qualität ermittelt und Störfälle adäquat erkennt.

Für die Verkehrssteuerung und die Betrachtung einzelner Stautypen wird in Verdichtungsräumen ohne bisherige Sensorik eine Ausstattungskombination von Online-FCD, Bluetooth (4-6 km Abstand zwischen den Messstellen) und Seitenradar (5-10 km, abhängig von der Anzahl der Störungen) empfohlen. Außerhalb von Verdichtungsräumen und in Bereichen mit wenigen auftretenden Stauereignissen

ist eine Kombination von FCD und Seitenradar als Stützstellen im Abstand von ca. 10 km ausreichend.

Tabelle 2 fasst die Ergebnisse hinsichtlich der Ausstattungsempfehlung für die Verkehrssteuerung zusammen.

Für die Verkehrslageerkennung sollte in Verdichtungsräumen ohne bisherige Ausstattung lokale Erfassung (Seitenradar), mobile (FCD) und streckenbezogene Erfassung (Bluetooth) installiert werden, um neben der reinen Geschwindigkeitsinformation durch Live-FCD auch die Anzahl der Fahrzeuge und deren Quelle-Ziel-Kombinationen zu erfassen. Seitenradar sollte dabei in Abständen von ca. 10 km, Bluetooth in Abständen von ca. 7-10 km errichtet werden. Dies ermöglicht zum einen eine genauere Verkehrslageermittlung, die auch Aussagen zu möglichen Restkapazitäten treffen und somit als Grundlage für Prognoseverfahren dienen kann, und zum anderen erweiterte statistische Betrachtungen. In Bereichen außerhalb von Verdichtungsräumen sollte weitestgehend auf mobile Erfassung in Echtzeit durch fahrzeuggenerierte Daten gesetzt werden, falls dort die Installation fester Sensorik aufgrund von Tiefbauarbeiten und zusätzlichen Versorgungsleitungen nicht wirtschaftlich effizient möglich ist. Mobile Detektion durch Floating-Car-Daten liefert neben der Überkopf-Sensorik die genauesten Ver-

Strecke	Wirtschaftliche Ausstattungsempfehlung für die Verkehrssteuerung
Verdichtungsraum mit vorhandener Ausstattung (lokale Detektion)	Keine Verdichtung erforderlich
Verdichtungsraum ohne vorhandene Ausstattung in hochstörungsauffälligen Bereichen	Online-FCD + Bluetooth (4-6 km) + Seitenradar (5-8 km)
Verdichtungsraum ohne vorhandene Ausstattung in teilweise störungsauffälligen Bereichen	Online-FCD + Bluetooth (4-6 km) + Seitenradar (8-10 km)
Verdichtungsraum ohne vorhandene Ausstattung in nichtstörungsauffälligen Bereichen	Online-FCD + Seitenradar (10 km)
Strecken außerhalb Verdichtungsräumen	Online-FCD + Seitenradar (10 km)

Tab. 2: Ausstattungsempfehlung für Verkehrssteuerung pro betrachteter Strecke und vorhandener Ausstattung

kehrslagen. Beim Datenbezug durch FCD ist allerdings die Abhängigkeit vom jeweiligen Datenanbieter zu beachten. Da durch FCD aber keine Verkehrsstärke erfasst werden kann, ist es sinnvoll, zusätzlich Stützstellen mit Seitenradar im Abstand von ca. 8-10 km in bisher nicht detektierten Bereichen zu installieren.

Die Ergebnisse²³ sind in dieser Form grundsätzlich auch auf andere Autobahnen und Bundesländer außerhalb des Untersuchungsgebiets übertragbar. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass hier einer der hochbelastetsten Autobahnabschnitte Deutschlands betrachtet wurde und dies möglicherweise die Vergleichbarkeit mit anderen Bundesländern einschränkt. Weiterhin erfolgte die Einordnung durch Stautypen auf historischen Daten. Bei einer Neuausstattung sollten als Grundlage die Verkehrsstärke und die Störungsauffälligkeit betrachtet werden. Das bedeutet, dass Abschnitte ohne bisherige Ausstattung für die Einordnung betrachtet werden müssen und daher zunächst in einem kurzen Zeitabschnitt (z. B. mehrere Wochen) Verkehrsdaten erhoben werden sollten, um die Wahrscheinlichkeit störungsauffälliger Ereignisse je Teilabschnitt der betrachteten Strecke richtig einschätzen zu können.

4.2 V2I: Der Baustellenwarner

4.2.1 Ausgangssituation

Die direkte Kommunikation zwischen Fahrzeugen, straßenseitiger Verkehrsleittechnik und Verkehrsleitzentralen ermöglicht Verkehrsteilnehmern vorausschauender und sicherer zu fahren, da sie frühzeitig über die aktuelle Verkehrslage und mögliche Gefahren informiert werden. 2013 haben sich die Verkehrsministerien aus den drei europäischen Ländern Deutschland, Niederlande und Österreich zu der Initiative „Kooperativer ITS Korridor“²⁴ (C-ITS Corridor) zusammengeschlossen. Ziel der Initiative ist die Etablierung von V2X-Diensten (kooperative Fahrzeug zu Fahrzeug/Infrastruktur – Dienste) in einem grenzüberschreitenden Streckenzug. Das Projekt sieht vor, in den drei beteiligten Ländern Schritt für Schritt kooperative, intelligente Infrastrukturanwendungen auf Autobahnen einzuführen, um die individuelle Mobilität effizienter, sicherer und umweltfreundlicher zu gestalten. Die erste Anwendung, die in diesem Rahmen zum Einsatz kommt, ist die kooperative fahrbare Absperrtafel (FAT), auch „Baustellenwarner“ genannt, die Verkehrsteilnehmer vor Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) warnt. Neuwagen verschiedener Fahrzeugserien, die ebenfalls mit dieser Technologie ausgestattet sind, werden damit erstmalig in die Lage versetzt, sicherheitsrelevante Verkehrsinformationen von der straßenseitigen Infrastruktur auf direktem Weg zu erhalten.

²³ KESSLER, L.; BOGENBERGER, K. [2021]: Endbericht iRoute2 – Empfehlungen für die Ausstattung von lokaler, mobiler und streckenbezogener Detektion für Störungs- und Verkehrslageerkennung. Endbericht im Auftrag der Landesbaudirektion Bayern, Zentralstelle Verkehrsmanagement. Veröffentlichung geplant auf https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/Berichte_V_node.html

²⁴ Homepage: <https://c-its-korridor.de/>

Die Informationen über die Arbeitsstellen kürzerer Dauer werden den Verkehrsteilnehmern über zwei Wege zur Verfügung gestellt:

- Die fahrbare Absperrtafel strahlt entsprechende Warnmeldungen (Decentralised Environmental Notification Message, DENM) über ETSI ITS G5 (Automotive WLAN, IEEE 802.11.p) direkt an die herannahenden Fahrzeuge aus.
- Die Warnmeldungen über die Arbeitsstellen kürzerer Dauer werden zusätzlich von der Zentrale (ITS Central Station, ICS) über den Mobilitätsdaten Marktplatz (MDM) weiteren Informationsdiensten zur Verfügung gestellt.

Diese Anwendung ist prädestiniert, um den Hintergrund und die Idee von kooperativer Infrastruktur bekannt und populär zu machen, da ihr Nutzen für Verkehrsteilnehmer offensichtlich und nachvollziehbar ist. Der Baustellenwarner wurde in einem Probebetrieb in Hessen getestet und konnte dort zeigen, dass der erreichte Reifegrad der ETSI ITS 5G-Technologie das Ausrollen von kooperativen Systemen im Feld und deren Regelbetrieb ermöglicht.²⁵ Die Warnung vor AkD stellen den ersten Schritt hin zu weiteren kooperativen Anwendungen, wie die Warnung vor Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) und Stauendwarnungen zur verbesserten Verkehrssteuerung, dar.²⁶

4.2.2 Zielsetzung

Die Entwicklung der infrastrukturseitigen Einrichtungen erfolgte in Hessen. Nach Installation und ausführlichem Probebetrieb wurden im Rahmen des DTA unterstützende Untersuchungen durchgeführt. Die in dieser Maßnahme entwickelte Technologie bildet eine Grundlage zur Vernetzung der Fahrzeuge mit der Infrastruktur und hat für weitere Maßnahmen des DTA eine hohe Relevanz.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung für das DTA wurde die Wirtschaftlichkeit des Baustellenwarnsystems als erste Anwendung des „kooperativen ITS Korridors“ analysiert. Ziel der Untersuchung war es festzustellen, ob die Einführung der Anwendung von kooperativen FAT wirtschaftlich sinnvoll ist. Im Folgenden sind das Vorgehen und die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zusammenfassend dargestellt.

4.2.3 Durchführung

Für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit wurden zunächst Ressourcenverbrauchsänderungen ermittelt und monetarisiert und den durch die Aufrüstung und Betrieb der bestehenden FAT auf kooperative FAT zusätzlichen Kosten gegenübergestellt (Bild 19).

Dazu wurde eine Recherche über in Zusammenhang mit AkD auftretende Unfälle, Unfallkosten und über die Wirkung von Infrastrukturmaßnahmen auf die Sicherheit und die Effizienz des Verkehrsflusses durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden daraufhin genutzt, um ein Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) zu ermitteln. Dabei wurde ein Prognosehorizont bis ins Jahr 2032 gewählt.

Diese Untersuchung basiert hauptsächlich auf vorhandenen Studien zu Unfällen im Zusammenhang mit Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD), wie zum Beispiel der vertieften Analyse des Unfallgeschehens aus dem Projekt DIANA2²⁷ oder dem BAST-Bericht V170 „Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen“²⁸. Darüber hinaus lieferten die am Pilotversuch in Hessen oder am Digitalen Testfeld Autobahn beteiligten Institutionen und Firmen (Albrecht Consulting, Bundesanstalt für Straßenwesen, Hessen Mobil, TÜV Rheinland Consulting und Lehrstuhl für Verkehrstechnik der Technischen Universität München) Erfahrungswerte und Einschätzungen.

²⁵ TROST, T.; TREMPER, M.; SAUER, K.; RIEGELHUTH, G.; REUSSWIG, A. [2018]: Cooperative ITS Corridor – Organisatorische und technische Erprobung des Baustellenwarners unter realen Bedingungen. In: Straßenverkehrstechnik (11).

²⁶ SAUER, K.; LOTZ-KEENS, C.; HERB, T. [2014]: Einführung kooperativer Systeme in Deutschland (C-ITS Corridor). In: Straßenverkehrstechnik (10).

²⁷ ZIMMERMANN, M.; CINDRIC-MIDDENDORF, D. [2013]: Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen kürzerer Dauer in Bezug zu Verkehrsleistung und Arbeitsstellendauer. In: Straßenverkehrstechnik (9), S. 18–28

²⁸ ROOS, R.; ZIMMERMANN, M.; CYPRA, T.; RIFFEL, S.B. [2008]: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, V170.

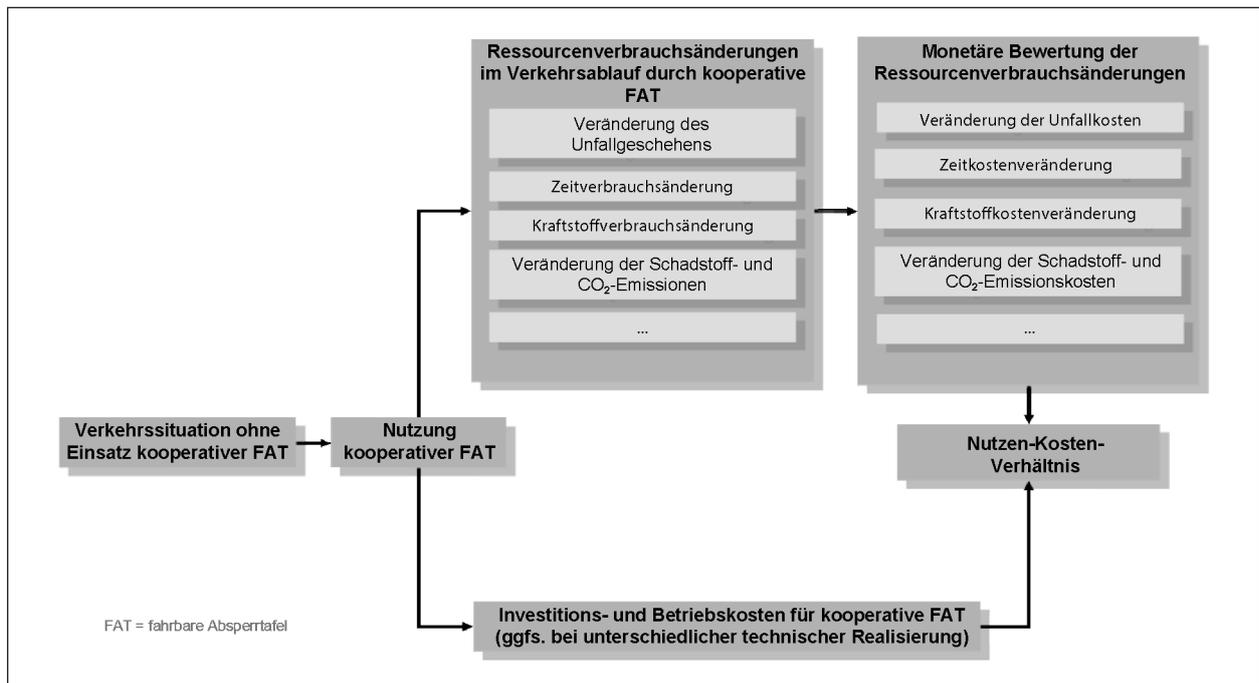


Bild 19: Vorgehensweise bei der Kosten-Nutzen-Analyse, Quelle: TUM

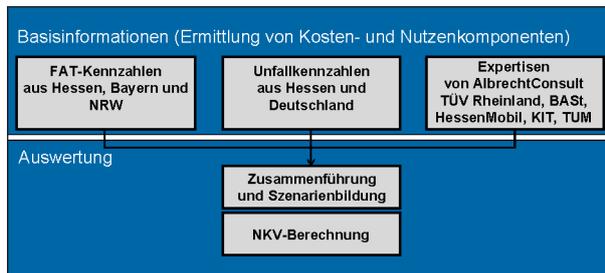


Bild 20: Vorgehensweise, Quelle: TUM

Wie in Bild 20 zu sehen ist, wurden zunächst Informationen über Kosten für FAT bzw. deren Aufrüstung, um die kooperativen Funktionen abbilden zu können, und das Unfallaufkommen auf Autobahnen eingeholt. Diese Daten wurden anschließend durch Literaturrecherchen und Aussagen der beteiligten Experten ergänzt.

Die Recherchen ergaben, dass alleine in Hessen jährlich 92 Unfälle im Vorfeld von AkD auftreten. Die drei häufigsten Unfallmuster (UM) sind demnach:

- UM 1: Auffahren eines Verkehrsteilnehmers auf eine fahrbare Absperrtafel (FAT)
- UM 2: Zusammenprall von Verkehrsteilnehmern innerhalb des Verflechtungsbereiches
- UM 3: Auffahrunfall unter Verkehrsteilnehmern

Rechnet man diese Zahl auf Bundesebene hoch, indem man das gleiche Verhältnis ansetzt, das sich

bei Unfällen in Arbeitsstellen ergibt (795 Unfälle in Hessen; 7.042 Unfälle in Deutschland jeweils von 2006-2009) so erhält man 815 Unfälle im Vorfeld von AkD pro Jahr. Insgesamt entfallen auf Arbeitsstellen auf deutschen Autobahnen 5 % der Unfälle mit Personenschaden und auch 5 % der Verunglückten.²⁹

Andere Untersuchungen gehen davon aus, dass sich bis zu 7,5 % aller Unfälle auf deutschen Autobahnen im Bereich von Arbeitsstellen zutragen, wobei nur 3 % der Gesamtfahrleistung in Arbeitsstellen erbracht werden. Das Risiko in einer Arbeitsstelle längerer Dauer (AID) in einen Unfall verwickelt zu werden liegt 86 % höher als in Bereichen außerhalb von Arbeitsstellen. In AkD ist die Gefahr ungefähr zehn Mal so hoch.³⁰

Auf deutschen Autobahnen werden jährlich 80.000 bis 137.000 AkD eingerichtet³⁰. Die im Vorfeld von AkD auftretenden Unfälle lassen sich fast aus-

²⁹ ASSENMACHER, S.; NEUHERZ, M.; OBERT, G. [2008]: DIWA – Direkte Warnung und Information für Autofahrer. Schnellere und genauere Warnung für Autofahrer durch digitalen Rundfunk. Projektbericht.

³⁰ STÖCKERT, R. [2001]: Auswirkungen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes. Darmstadt.

schließlich auf fehlerhaftes Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer zurückführen, wofür meist mangelnde Aufmerksamkeit die Ursache ist²⁸. Durch das frühzeitigere Informieren bzw. Warnen von Fahrenden vor Arbeitsstellen werden folgende positive Wirkungen erwartet:

- verbessertes Verkehrs- und Störungsmanagement
- niedrigere Annäherungsgeschwindigkeiten
- geringere Häufigkeit abrupten Bremsens
- erhöhte Aufmerksamkeit
- verbessertes Bewusstsein über die Situation der Verkehrsteilnehmer
- reduziertes Nachgehen anderer Tätigkeiten der Fahrenden³¹

Die Wirkungen der kooperativen FAT basieren hauptsächlich auf der früheren und deutlicheren Warnung der Verkehrsteilnehmer vor bevorstehenden Gefahrenstellen. Für vergleichbare Anwendungen wurde ein Unfallvermeidungspotenzial von 30 % ermittelt³², das auch für die kooperativen FAT angenommen wird.

Für die NKV-Analyse wurde das System in Kosten- und Nutzenkomponenten unterteilt.

Die Kostenkomponenten beschreiben dabei die Aufwände, die für die Einrichtung und den Betrieb der kooperativen FAT auf Bundesebene zu erwarten sind. Folgende Komponenten fanden dabei Eingang:

- Ausstattungskosten für ein kooperatives Modul an einer FAT (ohne Anschaffungskosten für den Warnanhänger)

- Zentralenseitige Kosten für die Aufrüstung einer Verkehrsrechnerzentrale (VRZ) für kooperative Systeme
- Allgemeine Betriebskosten des Gesamtsystems
- Mobilfunkkosten für die Datenübertragung

Der wesentliche volkswirtschaftliche Nutzen von kooperativen FAT ergibt sich aus der erhöhten Verkehrssicherheit und der damit einhergehenden Einsparung von unfallbezogenen Kosten sowie der Reduktion von Verlustzeiten aufgrund von aus Unfällen resultierendem Staus. Zur Ermittlung von unfallbezogenen Kosten sind verschiedene Modelle zur Kostenschätzung verfügbar. Die in Deutschland gebräuchlichen und für die vorliegende Untersuchung in Frage kommenden finden in dem Bundesverkehrswegeplan (BVWP)³³ und in Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)³⁴ Anwendung. Beide Modelle wurden für die NKV-Berechnung verwendet (siehe Ergebnis in Kapitel 4.2.4). Folgende durch den Einsatz von kooperativen FAT vermeidbare Kosten wurden als Nutzenkomponenten verwendet:

- Unfallkosten im Vorfeld von Arbeitsstellen kürzerer Dauer nach BVWP
- Unfallkosten im Vorfeld von Arbeitsstellen kürzerer Dauer nach BASt
- an Arbeitsstellen kürzerer Dauer entstehende Staukosten aufgrund von Unfällen (in Unfallkosten nach BVWP und BASt enthalten)
- Anzahl der Unfälle im Vorfeld von Arbeitsstellen kürzerer Dauer in Deutschland pro Jahr

Die zeitabhängige Berechnung des Verhältnisses der beschriebenen Nutzen- und Kostenkomponen-

³¹ INNAMAA, S.; KOSKINEN, S.; KAUVUO, K. [2017]: Nordic Way. Evaluation Outcome Report Finland

³² ROOS, R.; ZIMMERMANN, M.; CYPRA, T.; RIFFEL, S. B. [2008]: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, V170.

³³ DAHL, A.; KINDL, A.; WALTHER, C.; PAUFLER-MANN, D.; ROOS, A.; WAßMUTH, V.; WEINSTOCK, F.; RÖHLING, W.; MANN, H.-U. [2016]: Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030. Bericht zum FE-Projekt-Nr. 97.358/ 2015 des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.

³⁴ BAUM, H.; KRANZ, T.; WESTERKAMP, U. [2010]: Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M208.

Szenario	2018	2020	2025	2030
kooperativ	1 %	10 %	41 %	76 %
vernetzt	20 %	34 %	70 %	95 %
hybrid	11 %	22 %	56 %	86 %

Tab. 3: Durchdringungsraten von Fahrzeugen mit Empfang von FAT-Warnungen, Quelle: TUM

ten erfordert die Kenntnis des Anteils an Fahrzeugen, die Informationen des Systems verarbeiten können.

Zum einen können kooperative Fahrzeuge unmittelbar mit den FAT kommunizieren und zeigen Warnungen direkt an. Zum anderen können auch Fahrzeuge ohne diese technische Ausstattung über andere Wege Informationen erhalten (z. B. über den MDM) und darstellen. Beide Fahrzeugkategorien werden sowohl getrennt als auch zusammen (hybrid) betrachtet, da sie sich im Empfangen und Verarbeiten der Informationen unterscheiden.

Die verwendeten Durchdringungsraten sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Werte der Szenarien wurden wie folgt ermittelt:

- kooperativ: übernommen aus³⁵
- vernetzt: übernommen aus³⁶
- hybrid: berechnet aus kooperativ und vernetzt, hybrid = kooperativ + 50 % (vernetzt-kooperativ)

4.2.4 Ergebnis

Die resultierenden Nutzen-Kosten-Verhältnisse (NKV) der drei Durchdringungsszenarien sind in den Diagrammen (Bild 21) für die Jahre 2018 bis 2032 dargestellt. Dabei wurde nach der Anzahl der erforderlichen Zentralen (0,5 oder 1 Zentrale je Bundesland) und zwischen den Unfallkostensätzen nach BASt und BVWP unterschieden. Zusätzlich wurde jeweils ein Mittelwert über alle vier Kombinationen ermittelt.

Es ist zu erkennen, dass die Anzahl der erforderlichen Verkehrsrechnerzentralen nur einen relativ geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat. Die unterschiedlichen Unfallkostenmodelle BASt und BVWP schlagen sich sehr stark in den Ergebnissen nieder.

Es werden in allen Szenarien nach einer gewissen Hochlaufzeit deutlich positive NKV erreicht. Bei Vollausstattung würde zum Ende des Prognosehorizonts (2032) im Mittel ein NKV von 5,0 erreicht (nach BVWP: 7,3 bis 7,6; nach BASt: 2,5 bis 2,6).

Nach BVWP-Unfallkosten wird im Szenario „vernetzt“ bereits im Jahr 2019 ein NKV größer als 1,0 erreicht. Im Mittel aller Szenarien ist dieses positive NKV spätestens 2023 übertroffen. Innerhalb der ersten zehn Jahre nach der Einführung der kooperativen FAT überschreiten sämtliche Szenarien ein NKV von 4,0 nach BVWP; beim ungünstigeren Modell nach BASt wird nach zehn Jahren ein NKV von 2,0 erreicht oder überschritten.

Sämtliche Szenarien weisen den kooperativen FAT somit eindeutig positive Wirtschaftlichkeit nach.

Die Ergebnisse und Erfahrungen der Probephase und beginnenden Einführung der kooperativen Dienste der FAT sind auch über die Internetseite des Projekts C-ITS-Korridor zu beziehen. Dort ist auch Abschlussbericht der Arbeiten zur Wirtschaftlichkeitsanalyse abrufbar.³⁷

³⁵ ALBRECHT, H.; AL-GAZALI, O.; GABLONER, S.; SCHULZ, W. H. [2018]: Untersuchung zum Marktdesign kooperativer Systeme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Bundesanstalt für Straßenwesen, FE 82.0571/2012.

³⁶ BASt [2016]: Jahresbericht 2015 / 2016. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft A38.

³⁷ https://c-its-korridor.de/data/download/FE%2003.0541_2015-Bericht-Wirtschaftlichkeitsanalyse_koopFAT.pdf (Abruf 06/2020)

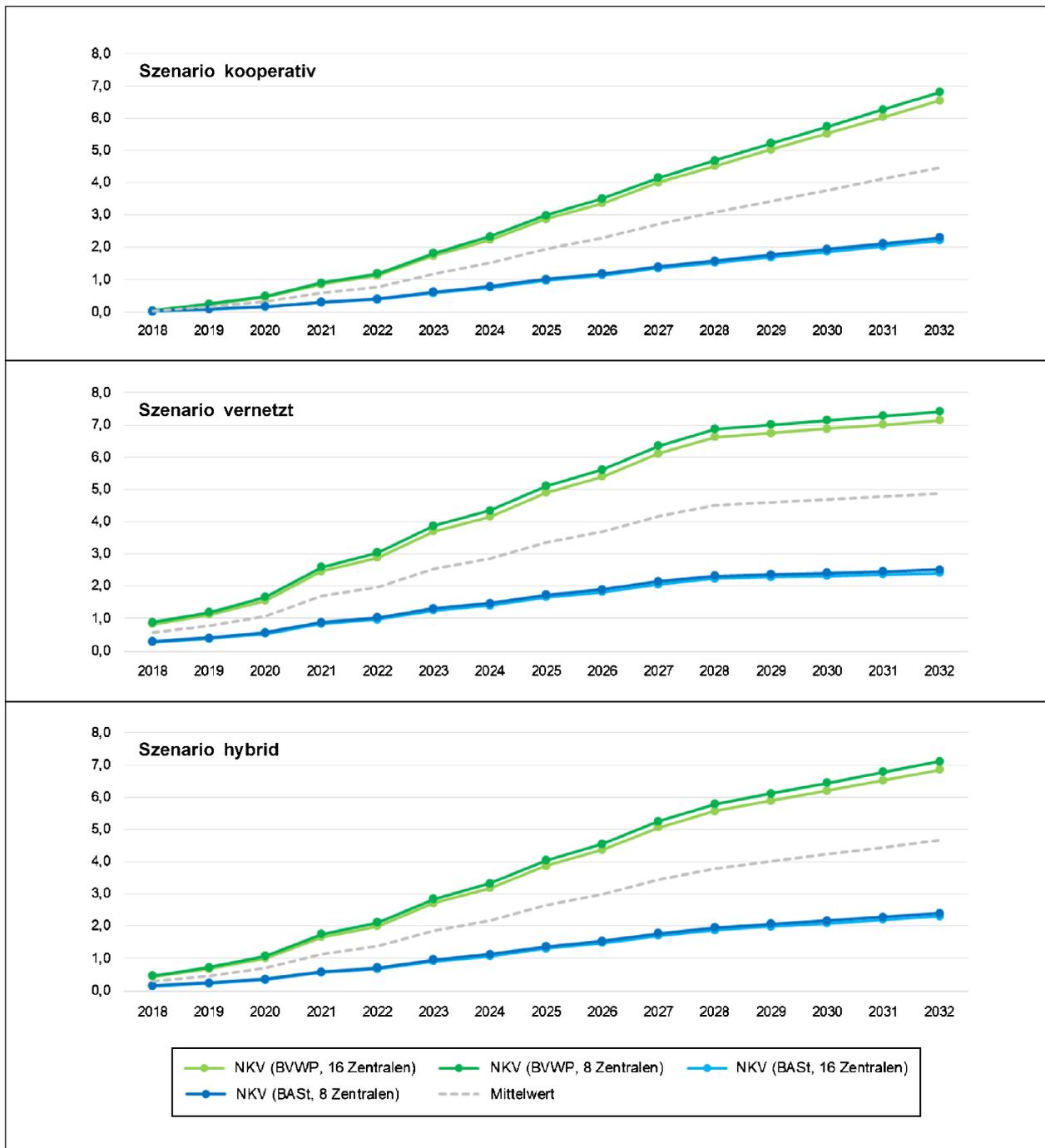


Bild 21: Zeitabhängige Nutzen-Kosten-Verhältnisse des Baustellenwarners für die Szenarien kooperativ (oben), vernetzt (Mitte) und hybrid (unten), Quelle: TUM

4.2.5 Bewertung und Ausblick

Die Wirtschaftlichkeit des Systems Baustellenwarner konnte im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung für das DTA eindeutig nachgewiesen werden. Alle Ergebnisse weisen dem System der kooperativen fahrbaren Absperrtafel sehr positive NKV aus:

- NKV > 1 je nach Szenario ab 2019, im Mittel aller Szenarien ab 2023
- NKV > 4 spätestens zehn Jahre nach Einführung (nach BVWP-Unfallkosten)
- NKV > 2 spätestens zehn Jahre nach Einführung (nach BAST-Unfallkosten)
- NKV = 5 bei Vollausstattung aller Fahrzeuge (nach BVWP: NKV = 7,3 bis 7,6; nach BAST: NKV = 2,5 bis 2,6)

Der Rollout ist, auch aufgrund dieser positiven Ergebnisse und der erfolgreichen Erprobung in Hessen, mittlerweile deutschlandweit eingeleitet. Zukünftig ist mit der Einführung weiterer kooperativer Dienste zu rechnen (z. B. Stauendewarnung, Falschfahrerwarnung), die eine zunehmende Akzeptanz und direkte Synergieeffekte für die Warnung mittels kooperativer FAT bedeuten werden. Diese Dienste werden den Nutzen der einzurichtenden kooperativen Verkehrszentralen und die Attraktivität des MDM steigern.

In den vorliegenden Auswertungen unberücksichtigt ist der künftig zu erwartende steigende Anteil an automatisierten Fahrzeugen. Diese Fahrzeuge werden eine direktere Reaktion und damit eine bessere Wirkung auf Warnmeldungen erzeugen. In der Zwischenzeit ist davon auszugehen, dass auch nicht mit den Kommunikationstechnologien ausgestattete Fahrzeuge indirekt positiv beeinflusst werden³⁸.

4.3 Telematische Falschfahrerwarnung

4.3.1 Ausgangssituation

Falschfahrten auf Autobahnen können schwerwiegende Unfallfolgen haben. In der öffentlichen Wahrnehmung sind sie damit eine große Gefahr. Aufgrund der schrecklichen bildlichen Situationen besteht auch oft der subjektive Eindruck, dass Falschfahrten ein sehr häufiges Ereignis sind. Dem BMVI ist dieses bewusst und es werden eine Vielzahl von Maßnahmen unternommen, um diesen Ereignissen entgegenzuwirken.

Basierend auf objektiven Zahlen lässt sich zu den Falschfahrten konstatieren, dass sie beim Auftreten schwerwiegende Unfallfolgen haben können, aber insgesamt ein sehr seltenes Ereignis sind. Laut Ergebnissen von verschiedenen Untersuchungen^{39,40}, treten ca. 2.000 gemeldete Falschfahrten pro Jahr auf. Bei der Zahl ist noch zusätzlich zu berücksichtigen, dass nicht alle gemeldeten Falschfahrten auch wirklich im Zusammenhang mit einer Falschfahrt stehen. Untersuchungen zeigen, dass hierbei eine hohe Anzahl an Fehlmeldungen existiert. Klar ist hingegen, dass Unfälle in Folge von Falschfahrten etwa einen Anteil von 0,05 % an allen Unfällen (Personen- und Sachschaden) auf Autobahnen ausmachen.

Um die realen Falschfahrten und Unfälle zu verhindern, werden vom BMVI eine Reihe von Maßnahmen ergriffen. Unter anderem ist die „Richtlinie für die Markierung von Straßen“ fortgeschrieben worden, um eine bessere optische Führung im Bereich der Knotenpunkte an der Verknüpfung der Autobahnzufahrten mit dem nachgeordneten Netz zu ermöglichen. Ergänzend dazu sind Empfehlungen zur Gestaltung von Anschlussstellen, die noch stärker auf ein intuitiv richtiges Verhalten der Verkehrsteil-

³⁸ Vgl. laufendes Forschungsvorhaben der BAST (FE 03.0538): Auswirkungen kooperativer Systeme und autonomen/hochautomatisierten Fahrens auf den Verkehrsablauf und Anforderungen an die kollektive Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Projekte/fp-laufend-v5.html

³⁹ Bundesanstalt für Straßenwesen, „Sonderauswertung der BAST zu Unfällen infolge Falschfahrten auf Autobahnen (unveröffentlicht),“ Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2018.

⁴⁰ Lehr- und Forschungsgebiet Straßenverkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik Bergische Universität Wuppertal Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gerlach, Dipl.-Ing. Sebastian Seipel, „Falschfahrten auf Autobahnen (FE89.231/2009),“ Bundesanstalt für Straßenwesen, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/578/file/falschfahrten_bericht_lang.pdf, Wuppertal, 2012 (Abruf 01/2021)

nehmer abzielen, und Checklisten zur Überprüfung von Anschlussstellen⁴¹ und Rastanlagen⁴² zur Verhinderung von Falschfahrten den Ländern zur Verfügung gestellt worden. Des Weiteren werden Überlegungen angestellt, inwiefern intelligente Verkehrssysteme einen Beitrag zur Erkennung und Reduzierung von Falschfahrten liefern können. Eine zentrale Herausforderung bei diesen Systemen ist die zuverlässige und sichere Erkennung der Falschfahrten. Nur mit solch einer soliden Informationsbasis können darauf aufbauend vertrauenswürdige weitere Maßnahmen, angefangen von der unmittelbaren Warnung des falsch Fahrenden bis hin zur Warnung der Richtigfahrenden, z. B. über elektronische Warntafeln oder den Verkehrsfunk, nachhaltig eingesetzt werden. Schon sehr geringe Fehlerraten bei der Detektion hätten bei der hohen Verkehrsbelastung auf Autobahnen eine hohe Rate an Fehlwarnungen zur Folge, die die Vertrauenswürdigkeit und Akzeptanz in solche Systeme aufheben und ad absurdum führen würde.

Um Erfahrungen hinsichtlich der Eignung von infrastrukturseitigen Systemen zur sicheren Detektion von Falschfahrten zu erlangen, sind als eine der ersten Maßnahmen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn (DTA) unterschiedliche intelligente infrastrukturseitige Falschfahrerdetektions- und -warnsysteme im Bereich von Anschlussstellen aufgebaut, erprobt und bewertet worden. In der Analyse ist zu berücksichtigen, dass Falschfahrten nicht nur an Anschlussstellen beginnen können. Zwar scheinen Autobahnanschlussstellen mit etwa einem Drittel der Fälle am häufigsten Ausgangspunkt für Falschfahrten zu sein, jedoch existieren auch andere Ausgangspunkte (knotenpunktfreie Strecke 15 %, Autobahnkreuze, -dreiecke 5 % und Tank-/Rastanlagen 4 %, Autobahn-Anfang 1,5 % sowie andere Ausgangspunkte 2 %). Zudem ist festzuhalten, dass in 40 % der Fälle keine Informationen

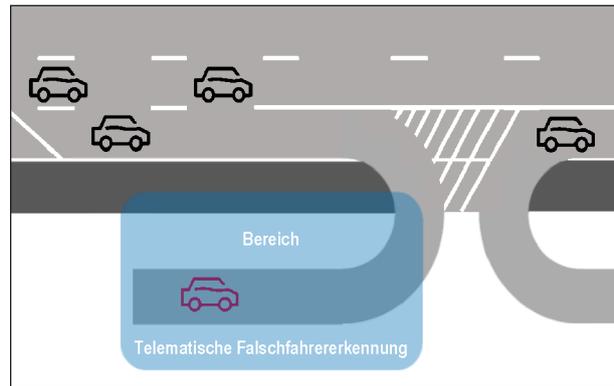


Bild 22: Skizze Falschfahrerwarnsysteme

über den Ausgangspunkt der Falschfahrt ermittelt werden konnten. Eine räumliche Häufung von Falschfahrten an bestimmten Auf- und Abfahrten konnte in den bisherigen Statistiken ebenfalls nicht signifikant nachgewiesen werden.

4.3.2 Zielsetzung

Im Rahmen der Maßnahme Telematische Falschfahrerwarnung sind verschiedene moderne infrastrukturseitige Systeme im Bereich von Anschlussstellen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn mit dem Ziel errichtet worden, Erkenntnisse über die automatische und zuverlässige Erkennung von Falschfahrenden sowie deren gezielte Warnung zu gewinnen. In einem weiteren Schritt war geplant, entsprechende Warnungen auch an andere Verkehrsteilnehmer auf der Hauptfahrbahn im Bereich der Anschlussstelle weiterzuleiten.

Die Piloten ermöglichen einen weitreichenden Blick auf den Stand der digitalen Detektionstechnik und helfen, weitere Erkenntnisse zur angepassten Informationsübermittlung zu gewinnen. Zudem sollten durch die praktische Erprobung unterschiedlicher Erfassungs- und Warnsystemansätze Erkenntnisse, insbesondere im Hinblick auf deren Zuverlässigkeit und Genauigkeit, gewonnen werden, die eine fundierte Gesamtbewertung der Technologie ermöglichen.

4.3.3 Durchführung

Zur Erreichung der definierten Ziele wurden an drei Anschlussstellen der A9 (AS Eching, AS Garching-Nord, AS Garching-Süd) auf dem DTA zunächst telematische Falschfahrerwarnsysteme installiert. Alle drei Falschfahrerwarnsysteme bestanden aus den folgenden Teilkomponenten:

⁴¹ Bundesanstalt für Straßenwesen, Technische Hochschule Mittelhessen Fachgebiet Straßenwesen und Vermessung, „Checkliste Falschfahrer Anschlussstellen,“ https://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Verkehrstechnik/Downloads/V-falschfahrten-liste-anschlussstellen.pdf?__blob=publicationFile&v=3, 2013 (Abruf 01/2021)

⁴² Bundesanstalt für Straßenwesen, Technische Hochschule Mittelhessen Fachgebiet Straßenwesen und Vermessung, „Checkliste Falschfahrer Rastanlagen,“ https://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Verkehrstechnik/Downloads/V-falschfahrten-liste-rastanlagen.pdf?__blob=publicationFile&v=2, 2013 (Abruf 01/2021)

- Falschfahrerdetektion
- Datenübertragung
- Warnung des Falschfahrers

Wesentliche Unterschiede gab es zwischen den Systemen insbesondere im Bereich der technologischen Umsetzung der Falschfahrerdetektion. Zwar detektieren alle Systeme die Bewegungsrichtung eines Fahrzeuges im Bereich der Ausfahrtrampe einer Anschlussstelle und entscheiden auf dieser Grundlage, ob es sich um einen Falschfahrenden handelt oder nicht. Jedoch werden dazu unterschiedliche in Bild 23 dargestellte Sensorkonzepte verwendet.

Im Nachgang werden je nach Systemauslegung und je nach gewonnenem Detektionsergebnis die Falschfahrenden durch unterschiedlich geartete Leuchtzeichen (LED-Leuchtelemente in Leitpfosten oder extra LED-Wechselverkehrszeichen) visuell auf ihre Fehler aufmerksam gemacht.

Nach der erfolgreichen Installation und ersten grundlegenden Erprobungen ist eine Evaluation und Bewertung der drei unterschiedlichen Systeme durch ein externes Ingenieurbüro erfolgt. Dabei sind aufbauend auf einem Untersuchungskonzept Langzeitbeobachtungen und Kurzzeitbeobachtungen einschließlich der Bewertung von Sondersituationen durchgeführt worden. Nach der ersten Mess-

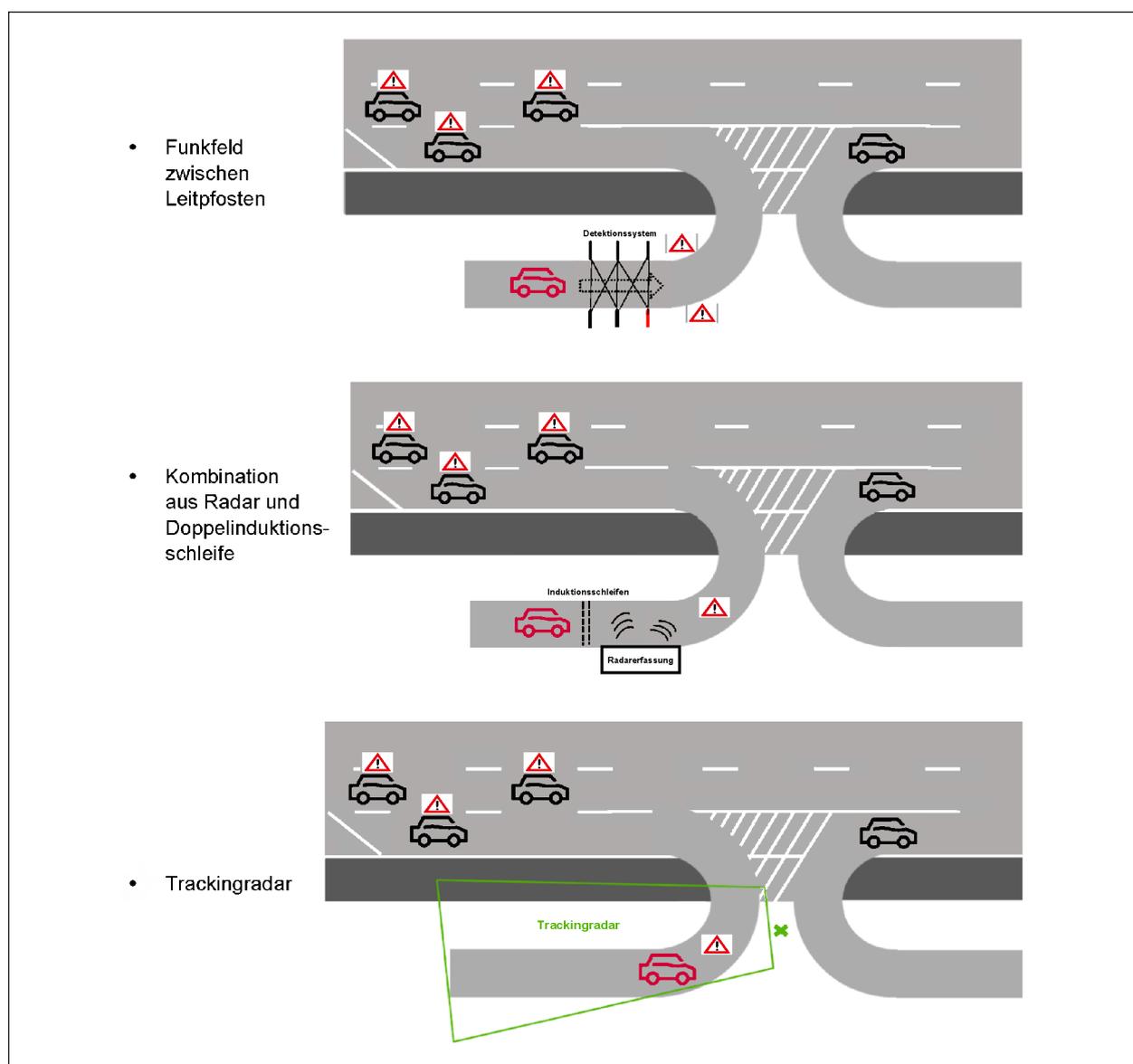


Bild 23: Unterschiedliche telematische Falschfahrerdetektionssysteme

kampagne der Kurzzeitbeobachtungen hatten die Hersteller der Falschfahrerwarnanlagen einmalig die Möglichkeit, unter dem Eindruck der bis zu diesem Zeitpunkt erzielten Ergebnisse, die Falschfahrerwarnanlagen umzurüsten sowie zu optimieren. Die Evaluationsergebnisse der Untersuchung sind in einem Schlussbericht⁴³ zusammengestellt worden.

In der Untersuchung ist bei der Langzeitbeobachtung ausschließlich die Detektion von Falschfahrten und nicht die nachgelagerte Signalisierung des Ereignisses betrachtet worden. Alle von den Systemen detektierten Ergebnisse wurden auf Speichermedien zur späteren Auswertung aufgezeichnet. Neben den detektierten Ergebnissen wurden durch die jeweiligen Betreiber der drei Systeme auch sogenannte Keep-Alive Meldungen (mindestens alle 5 Minuten) aufgezeichnet und in regelmäßigen Abständen (i. A. wöchentlich) übermittelt. Durch diese Keep-Alive Meldungen konnte die Verfügbarkeit der unterschiedlichen Systeme evaluiert werden. Zusätzlich wurde an jeder der drei Anschlussstellen ein Referenzsystem, bestehend aus jeweils zwei Videokameras zur Überwachung der Ausfahrtrampen, eingerichtet. Durch dieses System wurden sekundlich Bilder aufgenommen und ebenfalls auf einem Speichermedium für die nachgelagerte Evaluierung gespeichert.

Durch die Langzeitbeobachtung (ca. 40 Kalenderwochen) konnten Zeiten der Nichtverfügbarkeit der Systeme, u. a. durch System- oder Stromausfälle, sowie mögliche Fehldetektionen der Systeme während des normalen Betriebs ermittelt werden.

Die Kurzzeitbeobachtungen wurden jeweils unter Sperrung der Ausfahrt der jeweiligen Anschlussstelle durch die Autobahnmeisterei durchgeführt. Dabei erfolgten zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten gezielte Falschfahrten mit zwei unterschiedlichen Fahrzeugklassen in der jeweiligen Ausfahrtrampe.

Bei den Sondersituationen wurden bei der zweiten Messkampagne der Kurzzeitbeobachtungen jeweils verschiedene Situationen, z. B. stehendes Fahrzeug in der Rampe und zweites Fahrzeug fährt vorbei (jeweils Falsch- und Normalfahrt) sowie Stop-

and-Go Situationen gezielt im Detektionsbereich der Anlagen, nachgestellt.

4.3.4 Ergebnis

Die Untersuchungen der drei errichteten Falschfahrerwarnsysteme haben in der ersten Phase etliche Schwächen, insbesondere im Bereich der Systemverfügbarkeit, aufgezeigt. Nach der Optimierungsphase konnten einige Schwächen der Anlagen verbessert werden. Unter anderem wurden bei der zweiten Messkampagne der Kurzzeitbeobachtung systemseitig alle tatsächlichen Falschfahrten auch als Falschfahrten und alle Normalfahrten während der Messkampagne auch als Normalfahrten erkannt.

Bei der Messkampagne zu den Sondersituationen haben sich hingegen folgende Ergebnisse gezeigt:

Die Fahrbewegungen zur Abbildung von Sondersituationen wurden durch die Falschfahrerwarnanlagen größtenteils richtig erfasst. Jedoch wurden nicht alle Sondersituationen durch die Systeme richtig zugeordnet, u. a. führten rückwärts rollende Fahrzeuge im Detektionsbereich teilweise zu Fehldetektionen. Auch ein vollständig im Detektionsbereich abgestelltes Fahrzeug verhinderte die Erkennung einer Falschfahrt.

Im Rahmen der Langzeitbeobachtung zeigten sich weiterhin Auffälligkeiten hinsichtlich der Systemverfügbarkeit. Die Zeiten der Nichtverfügbarkeit betragen für alle Systeme jeweils ca. 1 % der betrachteten Zeiträume (je nach Anlage zwischen 34 und 47 Wochen). Die Ursachen für die Nichtverfügbarkeit konnten aufgrund der Untersuchungsmethodik nicht einer einzelnen Komponente des Gesamtsystems zugeordnet werden. Daher wurde im Schlussbericht der Evaluierung⁴³ vorgeschlagen, die bisherigen Keep-Alive Meldungen zum Beispiel auf Basis der Funktionsmeldungen aus der Eigenüberwachung des Systems zu erweitern. Neben der eigentlichen Betrachtung der Verfügbarkeit des Systems ist auch die Energieversorgung sowie Datenanbindung zu berücksichtigen. In beiden Fällen ist ebenfalls ein Wert von 100 % anzustreben, damit das System auch auf Dauer funktioniert. Daraus resultiert, dass die Hersteller der Falschfahrerwarnanlagen unter Berücksichtigung der jeweiligen Systemleistung, eine adäquate alternative Stromversorgung ihrer Systeme vorschlagen sollten, um einen noch zu definierenden Zeitraum zu überbrücken. Ebenso ist die bisher gewählte Datenübermittlung

⁴³ SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH, Dr.-Ing. Matthias Kölle, „Endbericht Digitales Testfeld Autobahn A9 Betreuung und Evaluierung Falschfahrerwarnsystem,“ München, 2018.

über Mobilfunk anfällig für Störungen. Daher sollten durch die Hersteller der Systeme auch bzgl. der Datenübertragung (u. a. Priorisierung des Datentransfers) Verbesserungsvorschläge unterbreitet werden. Bei einem möglichen Dauereinsatz muss durch die Hersteller ein Verfahren vorgeschlagen werden, das den Nachweis der Systemverfügbarkeit auf allen Systemebenen in Echtzeit bietet.

Des Weiteren ist bei der Langzeitbeobachtung negativ aufgefallen, dass einige Falschfahrtereignisse registriert wurden, die nicht als solche zu werten sind. Dazu gehören vor allem Stausituationen sowie Arbeiten des Straßenbetriebsdienstes (z. B. Mäharbeiten). Zudem wurden durch die Systeme auch Einsatzfahrzeuge, u. a. die die Ausfahrtrampe in verkehrter Richtung bei gesperrter Hauptfahrbahn befahren, richtigerweise als Falschfahrt erkannt.

Insgesamt ist die daraus resultierende relativ hohe Fehlalarmquote als besonders kritisch zu werten, da diese eine negative Auswirkung auf die beim Verkehrsteilnehmer sehr wichtige Glaubwürdigkeit und somit auch auf die Wirksamkeit einer Falschfahrerwarnmeldung hat.

Bevor weitere Überlegungen hinsichtlich eines Betriebs der Falschfahrerwarnanlagen angestellt werden, ist deshalb zunächst zu klären, ob bei Unterhaltungsarbeiten regelmäßig auftretende und momentan als Falschfahrt detektierte Ereignisse vermieden werden können. Zwar könnten mögliche unerwünschte Fehldetektionen, etwa durch Mähfahrzeuge, ausgeschlossen werden, indem beispielsweise der Geschwindigkeitsbereich bis ca. 10 km/h über eine definierte Weglänge unberücksichtigt bleibt. Dies hätte aber den Nachteil, dass zum einen sehr langsam fahrende tatsächliche Falschfahrende nicht erkannt würden und zum anderen andere Betriebsfahrzeuge der Straßenbaubehörde sowie Fahrzeuge diverser Einsatzkräfte (Polizei, Feuerwehr u. a.), die mit höheren Geschwindigkeiten fahren, weiterhin fehlerhaft detektiert würden.

Der Umstand, dass es weiterhin zu einer nicht geringen Anzahl an Auslösungen z. B. durch Einsatzfahrzeuge kommen kann, ist umso wichtiger, da im Regelbetrieb nicht nur ein Kraftfahrer durch visuelle Hinweise zum Abbruch seiner Falschfahrt aufgefordert werden soll, sondern insbesondere auch die sich der betroffenen Anschlussstelle auf der Richtungsfahrbahn nähernden Kraftfahrer gewarnt werden sollen. Beim Befahren der Anschlussstelle in falscher Richtung durch Einsatzfahrzeuge ist zwar

davon auszugehen, dass der Bereich der Anschlussstelle zu diesem Zeitpunkt infolge der Ereignisse gesperrt ist, dennoch sind Situationen, in denen eine spontane Fahrt eines Einsatzfahrzeuges in falscher Richtung durch eine Anschlussstelle auftritt, denkbar. Um in solchen Fällen keine Falschfahrerwarnmeldungen zu generieren, könnten neben aufwendigen technischen infrastrukturseitigen Lösungen auch die jeweiligen Einsatzkräfte theoretisch bei ihren Leitstellen die anstehenden Falschfahrten anmelden. Daraus resultiert jedoch zwangsläufig auch ein nicht unerheblicher administrativer sowie personeller Aufwand, der zudem mit einer Fehlerquote behaftet ist. Auch eine denkbare alternativ in den Einsatzfahrzeugen positionierte On-Board-Unit (Kommunikationseinheit), welche die Anmeldung des entsprechenden Fahrzeugs am Falschfahrerwarnsystem übernimmt, wäre, neben dem hohen technischen Aufwand, erst bei Vollaussstattung aller mit Sonderrechten ausgestatteten Fahrzeuge ein zuverlässigerer Ansatz. Diese „Vollaussstattung“ ist aber vor dem Hintergrund der zahlreichen mit Sonderrechten beliehenen Institutionen und Fahrzeugen in absehbarer Zeit nicht vorstellbar.

Insgesamt haben die durchgeführten Untersuchungen zu den telematischen Falschfahrerwarnsystemen der ersten Phase auf dem Digitalen Testfeld Autobahn einige systemseitige Schwächen aufgezeigt. Die Auswertung, die sich primär auf die technischen Ergebnisse bezieht, weist im Rahmen der Langzeitbeobachtung Unzulänglichkeiten hinsichtlich der Systemverfügbarkeit sowie der zuverlässigen Erkennung von Falschfahrtereignissen auf. Es wurden z. B. Falschfahrten detektiert, die nicht als solche zu werten sind (Stausituationen sowie Arbeiten des Straßenbetriebsdienstes (z. B. Mäharbeiten)).

Basierend auf den dokumentierten Ergebnissen im Schlussbericht der Evaluation des Ingenieurbüros und weiteren Erfahrungen hat die BAST einen gesamthaften Ergebnisbericht zu telematischen Falschfahrerwarnsystemen mit Ausblick⁴⁴ erstellt,

⁴⁴ Bundesanstalt für Straßenwesen, „Telematische Falschfahrerwarnsysteme auf dem Digitalen Testfeld Autobahn A9, Ergebnisbericht einschließlich Ausblick,“ Bundesanstalt für Straßenwesen, https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Verkehrstechnik/Downloads/V-falschfahrwarnanlagen.pdf?__blob=publicationFile&v=3, Bergisch Gladbach, 2018 (Abruf 01/2021)

der über die BAST-Internetseite zum Download zur Verfügung steht.

4.3.5 Bewertung und Ausblick

Die im Rahmen der Maßnahme durchgeführten Erprobungen von telematischen Falschfahrerwarnsystemen haben eine Vielzahl von Erkenntnissen hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen aufgezeigt. Unter der Berücksichtigung dieser Ergebnisse in Kombination mit den weiteren teilweise im Kapitel 4.3.1. adressierten Fakten aus wissenschaftlichen Untersuchungen zu Falschfahrten sowie Entwicklungen im Bereich der Automobilindustrie hin zu kooperativen Lösungen auf Basis von V2X-Kommunikation, sind aktuell infrastrukturseitige Falschfahrerwarnanlagenlösungen als netzweite Ausstattungselemente als nicht zielführend zu bewerten.

Zusammenfassend stützen die folgenden Argumente die Wertung⁴⁴:

- Falschfahrten haben nur einen sehr geringen Anteil an allen Unfällen auf BAB.
- Die Ausgangsorte von Falschfahrten sind sehr inhomogen und nicht auf bestimmte Orte (Hotspots) konzentriert.
- Punktuelle Maßnahmen (z. B. an bestimmten Anschlussstellen) zur Vermeidung von Falschfahrten können nur auf einen kleinen Teil aller Falschfahrten einwirken.
- Vorsätzliche sowie durch Rauschmittel beeinflusste Falschfahrtentscheidungen können mit informierenden Systemen nicht vermieden werden.
- Auch der beobachtete Effekt, Falschfahrten durch banale persönliche Gründe ohne direkten absichtlichen Vorsatz durchzuführen, kann durch die telematischen Systeme nicht verhindert werden.
- Die Zuverlässigkeit und Systemverfügbarkeit der erprobten Systeme in dieser dargestellten Maßnahme auf dem Digitalen Testfeld Autobahn konnte nicht ausreichend nachgewiesen werden.
- Falschfahrerwarnungen wurden auch bei Sonderfahrzeugen ausgelöst, die berechtigt entgegen der eigentlichen Fahrtrichtung aufgefahen sind.
- Berechtigte Falschfahrten würden sich nur mit hohem technischem Aufwand als solche detektieren lassen, was allerdings eine weitere mögliche Fehlerquelle erzeugen würde.
- Falsch ausgelöste Falschfahrerwarnungen sind insbesondere inakzeptabel, wenn auch die anderen Verkehrsteilnehmer auf dieser Basis gewarnt werden sollen, was den eigentlichen Nutzen der getesteten Systeme ausmachen sollte.
- Falsche Falschfahrerwarnungen, die vom Nutzer als falsch erkannt werden, senken die Akzeptanz für solche Systeme drastisch und führen im schlechtesten Fall dazu, dass die Warnungen gar nicht mehr beachtet werden und somit das System komplett unwirksam ist.
- Die Investitionskosten für telematische Falschfahrerwarnsysteme liegen weit über den erzielbaren Nutzen. Entsprechende Investitionen wären damit unwirtschaftlich.
- Die bereits erfolgreich etablierten infrastrukturseitigen Maßnahmen (z. B. technisches Regelwerk für Anschlussstellen) sowie zukünftige kooperative Systemlösungen lassen eine effektivere Bekämpfung der Falschfahrten erwarten.

Aus Basis der Ergebnisse sowie dieser Bewertung ist die zweite geplante Phase der Untersuchungen im Rahmen der Maßnahme Telematische Falschfahrerwarnung, in der eine Warnung vor einem Falschfahrende auch an andere Verkehrsteilnehmer auf der Hauptfahrbahn im Bereich der Anschlussstelle weitergeleitet werden sollte, nicht mehr umgesetzt worden. Vielmehr sind Überlegungen angestellt worden, inwiefern die Einführung von kooperativen Falschfahrerererkennungs- und -warnsystemen als Teil von kooperativen Verkehrssystemen (Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)) unterstützt werden kann. Diese Systeme lassen einen flächendeckenderen und wirtschaftlicheren Lösungsweg mit einer potenziell großen Wirkung erwarten.

Die Ergebnisse der Maßnahme sind ausführlich in dem Endbericht der „Betreuung und Evaluierung Falschfahrerwarnsystem“⁴³ sowie dem zuvor genannten „Ergebnisbericht zu telematischen Falschfahrerwarnsystemen mit Ausblick“⁴⁴ dargelegt.

4.4 Nachhaltige Notrufsäulen- infrastruktur

4.4.1 Ausgangssituation

Entlang der Bundesautobahnen befinden sich je Fahrtrichtung im Abstand von ca. 2 km Notrufsäulen. Die nahezu 17.000 Notrufsäulen werden durch die GDV⁴⁵ Dienstleistungs-GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) betreut. Die GDV nimmt entsprechend Notrufe über die Notrufsäulen entgegen und veranlasst dann die erforderlichen Maßnahmen. Die Notrufe auf Bundesautobahnen über diese vorhandene Notrufsäuleninfrastruktur sind in den letzten Jahren stark rückläufig, u. a. durch die vermehrte Nutzung von Mobiltelefonen. Zudem ist, durch die Verpflichtung alle neuen Fahrzeugmodelle (Typzulassung) innerhalb der EU seit Ende März 2018 mit einem eCall-System auszustatten, ein weiterer Rückgang zu erwarten. Das eCall-System ist ein Notrufsystem für Fahrzeuge, welches bei einem Unfall einen automatischen Notruf an die einheitliche europäische <https://de.wikipedia.org/wiki/Notruf112> auslöst und dabei einen Minimaldatensatz mit Informationen, u. a. zu Zeitpunkt, Ort, Fahrtrichtung etc., überträgt. Zudem kann der eCall auch manuell durch die Insassen, zumeist durch einen einfachen Tastendruck, ausgelöst werden. Vor diesem Hintergrund werden vermehrt Überlegungen angestellt, ob und wie diese Infrastruktur zukünftig für andere Anwendungen und Dienste genutzt werden kann. Dabei ist die vorhandene Daten- und Energieanbindung von besonderem Interesse, da dies bei infrastrukturseitigen Maßnahmen im Allgemeinen immer mit großem baulichem Aufwand und damit mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Das Anwendungsspektrum reicht von der Erfassung von einfachen Umgebungsdaten, wie Wetterdaten, über die intelligente Verkehrsflusserfassung bis hin zur Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen (V2X-Kommunikation). Auf technologischer Seite stellen die ursprünglich nur für Telekommunikationszwecke ausgelegten Niederspannungskabel eine wesentliche Herausforderung dar. Neben den technologischen Herausforderungen bestehen auf organisatorischer Seite auch eine Reihe von Randbedingungen, die bei einer zweckfremden Verwendung der Notrufsäuleninfrastruktur

zu berücksichtigen sind. So führen z. B. bauliche oder technische Veränderungen an den Notrufsäulen zum Verlust der EU-Konformität sowie zum Verlust der Herstellerhaftung nach Produktsicherheitsgesetz. Zudem erlischt bei Veränderungen an den Notrufsäulen die Gewährleistung durch den Hersteller.

Der Maßnahme „Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur“ sind maßgeblich zwei Projekte zuzuordnen. Zum einen das schon 2016 beendete Projekt „Vorbereitung der Notrufsäuleninfrastruktur auf geänderte Anforderungen“. Darin war zunächst untersucht worden, inwiefern Erweiterung und Nutzung der Notrufsäuleninfrastruktur über den reinen Notruf hinaus möglich sein könnten. Zudem sind im Projektverlauf daraus abgeleitete Anwendungsfälle prototypisch erprobt und bewertet worden. Zum anderen wurde im Forschungsprojekt „ANIKA II – Aufrüstung der Notrufsäulenfernmeldenetzwerkinfrastruktur zur V2X-Kommunikation an Autobahnen“ im Rahmen des „Innovationsprogramm Straße“ seit 2017 die Möglichkeit untersucht, wie die vorhandene Notrufsäuleninfrastruktur zur V2I-Kommunikation über ETSI ITS-G5 (WLAN) genutzt werden kann. Eine praktische Erprobung der technologischen Entwicklungen von ANIKA II erfolgte auf einem Abschnitt des digitalen Testfelds Autobahn.



Bild 24: Notrufsäule, Quelle: BAST

⁴⁵ Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft

4.4.2 Zielsetzung

Im Folgenden sind die Ziele der beiden Einzelprojekte dargestellt.

Vorbereitung der Notrufsäuleninfrastruktur auf geänderte Anforderungen

Ziel des Projekts „Vorbereitung der Notrufsäuleninfrastruktur auf geänderte Anforderungen“ war, grundlegend zu betrachten, inwiefern eine zusätzliche Anwendung der Notrufsäuleninfrastruktur über den reinen Notruf hinaus möglich sein könnte. Zunächst wurde in Studienform anhand möglicher Anwendungsfälle (Erfassen von Klimadaten und Fahrbahnzuständen, Erfassen von Verkehrsdaten und Kommunikation mit Verkehrsteilnehmern) eine Betrachtung vorgenommen und in einem zweiten Schritt dann konkret an ausgewählten Beispielanwendungen (Überwachung des fließenden Verkehrs, Erkennung von Falschfahrenden und Kommunikation zu Fahrzeugen über Bluetooth Low Energy) prototypisch erprobt und bewertet. Darüber hinaus erfolgte eine Analyse hinsichtlich am Markt verfügbarer Sensortechnik mit zugehöriger Kostenabschätzung sowie des aus einer flächendeckenden Umsetzung entstehenden Nutzens.

ANIKA II – Aufrüstung der Notrufsäulenfernmeldenetzwerkinfrastruktur zur V2X-Kommunikation an Autobahnen

Das Projekt ANIKA II hatte sich zum Ziel gesetzt an Notrufsäulenstandorten Kommunikationseinheiten (Roadside Units (RSU)) nach ETSI ITS-G5 (WLAN) für die Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I) zu installieren und praktisch auf dem Digitalen Testfeld Autobahn (DTA) zu erproben. Besonders herausfordernd war, dass zur Energieversorgung und Datenanbindung der zu entwickelnden RSU die vorhandene Fernmeldekabelinfrastruktur verwendet werden sollte, die nur eine limitierte Energie- und Datenübertragung zulässt. In dem Zusammenhang sollten zunächst simulative Untersuchungen Aufschluss darüber geben, mit welcher Leistung die RSU maximal versorgt werden können und welche Abschnitte auf der Autobahn damit dann noch räumlich mit Funksignalen abgedeckt werden können. Des Weiteren sollte noch die Verbindung der RSU mit den Verkehrsmanagementzentralen (VMZ), u. a. hinsichtlich der Datenformat- und Datensicherheitsanforderungen, theoretisch betrachtet werden.

4.4.3 Durchführung

Vorbereitung der Notrufsäuleninfrastruktur auf geänderte Anforderungen

Im Forschungsprojekt ist zunächst anhand von den drei Anwendungen

- Erfassung von Klimadaten und Fahrbahnzuständen
- Erfassen von Verkehrsdaten
- Kommunikation mit Verkehrsteilnehmern

die Nutzbarkeit der Notrufsäuleninfrastruktur für andere verkehrliche Zwecke theoretisch untersucht und bewertet worden. Die einzelnen Anwendungsfälle wurden dazu zu Beginn weiter ausdifferenziert.

Bei der Erfassung der Klimadaten ist betrachtet worden, inwiefern bisherige Glättewarnanlagen sinnvoll ergänzt werden können. Insbesondere sind theoretische Überlegungen hinsichtlich der Erfassung des Zustands der Fahrbahnoberfläche (u. a. zur Glättebestimmung) mittels optischer Reflexionsverfahren (Licht) vom Notrufsäulenstandort angestellt worden. Eine praktische Erprobung erfolgte nicht.

Im Rahmen der Erfassung von Verkehrsdaten sind in einem ersten Schritt unterschiedliche Sensoren (u. a. Laser, Kamera und Radar) verglichen worden, die eine Verkehrsdichte messen und an den Notrufsäulenstandorten installiert werden können. Zudem wurde ein Vergleich zwischen dem Potenzial von Verkehrsdatenerfassung an Notrufsäulen und aktuellen Dauerzählstellen durchgeführt.

Zur Bewertung der Anwendung Kommunikation mit Verkehrsteilnehmern (Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I)) sind unterschiedliche Funktechnologien zum Einsatz an Notrufsäulen identifiziert und beschrieben worden.

Aufbauend auf den zuvor an den drei Anwendungsfällen gewonnenen theoretischen Erkenntnissen sind praktische Erprobungsmöglichkeiten erarbeitet, prototypisch umgesetzt und ausgewertet worden. Die prototypische Umsetzung fokussierte sich dabei auf die Messung des fließenden Verkehrs (Verkehrsflussdatenerfassung) inklusive Falschfahrererkennung. Dafür wurden Radarsensoren eingesetzt, da sich diese in der zuvor durchgeführten, theoretischen Untersuchung als zielführendste Sensorik herausgestellt hatten. Die Radarsensoren

sind mit einer im Rahmen des Projekts entwickelten Elektronik zunächst in einem prototypischen Gehäuse (kein Notrufsäulengehäuse) an der Autobahn real getestet worden. Als Referenz wurden die Daten einer in der Nähe befindliche Zählstelle herangezogen.

Nach dem prototypischen Testen ist eine erweiterte Erprobung im Rahmen eines Feldtests mit drei umgebauten Notrufsäulen an der A9 erfolgt. Die Energieversorgung und Kommunikation erfolgte über das vorhandene Streckenkabel der Notrufsäulen. Parallel zu den Untersuchungen wurden die mit der Installation zusammenhängenden Kosten erhoben und auf einen flächendeckenden Aufbau hochgerechnet. Zudem sind auch Überlegungen hinsichtlich anderer neuer Verkehrsdatenerfassungssysteme (Floating Car Data (FCD) und kooperativen Systemen) angestellt worden.

Ebenfalls wurde die Kommunikation mit Verkehrsteilnehmern (Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I)) prototypisch erprobt. Dies erfolgte jedoch nur mit einem sehr einfachen und rudimentären Versuchsaufbau in Form einer nicht verbauten Empfangseinheit (aufgestellt auf einem Rastplatz) und einer mobilen Sendereinheit Smartphone) in einem Fahrzeug. Als Übertragungstechnologie wurde „Bluetooth Low Energy“ (BLE) verwendet.

ANIKA II – Aufrüstung der Notrufsäulenfernmeldenetzwerkinfrastruktur zur V2X-Kommunikation an Autobahnen

In der ersten Projektphase von ANIKA II sind zunächst nach einer tiefergehenden Analyse die Anforderung an das Gesamtsystem und die Projektumsetzung aufgestellt worden. Dies umfasste neben den Überlegungen hinsichtlich der einzusetzenden und weiterzuentwickelnden Hard- sowie Software, die den besonderen Gegebenheiten der Infrastruktur an Notrufsäulenstandorten (u. a. geringe zur Verfügung stehende Energie an den Standorten) gerecht werden müssen, auch die Planung und Ausgestaltung der Erprobung sowie die Bewertung der Technologie. Aufbauend auf den ermittelten Anforderungen sind die unterschiedlichen Komponenten des Gesamtsystems konzeptioniert worden. Dies enthielt nicht nur Arbeiten in Bezug auf die RSU und deren technische Energie- sowie Kommunikationsanbindung an sich, sondern darüber hinaus auch an der operationalisierten und IT-sicheren Anbindung an vorhandene Infrastrukturbetreiber.

Zudem sind die vorgesehenen ersten grundlegenden Tests auf dem „Galileo Testfeld – Innovation Center“ (GATE-IC) in Sachsen-Anhalt sowie die Erprobung auf dem DTA an 14 Notrufsäulenstandorten zwischen Göggelsbuch und Greding weiter spezifiziert worden. Auf Basis der Konzeptionen und Spezifikationen sind die Funkeinheiten (RSU) aufgebaut worden. Flankiert wurden die Arbeiten durch simulative Untersuchungen, insbesondere hinsichtlich der Funkeigenschaften der Hardware (z. B. Funkabdeckung und Leistungsaufnahme). Hier konnte das Projekt auf Know-How im Bereich der mathematischen Modellierung von Funkwellenausbreitung sowie auf die fachlichen Kenntnisse über Embedded-Systeme und ITS-G5-Protokolle des Konsortiums zurückgreifen. Die Simulationsergebnisse haben gemeinsam mit durchgeführten ersten Tests auf dem GATE-IC schon vor der Installation der RSU an den Notrufsäulenstandorten auf dem DTA Erkenntnisse hinsichtlich der Funktion und Funkabdeckung, trotz der geringen zur Verfügung stehenden Energie, mit einer hohen Zuverlässigkeit geliefert. Dies war die Grundlage für den eigentlichen Aufbau des Feldtests mit den 14 RSU-Einheiten auf dem DTA. Nach dem erfolgreichen Aufbau des Gesamtsystems auf dem DTA ist die Kommunikation mittels einer entwickelten Testsoftware und Testfahrten mit einem Golf 8, der als Serienfahrzeug mit der WLAN Technologie nach ETSI ITS-G5 ausgestattet ist, erprobt und validiert worden. Zudem sind weitere Auswertungen auf Basis von Fahrzeugen, die ebenfalls mit ITS-G5 ausgestattet sind und an den RSU im Rahmen des normalen Straßenverkehrs vorbeigefahren sind, vorgenommen worden. Abschließend erfolgte eine Gesamtbewertung der technologischen Umsetzung und der Rückbau der Umbauten auf dem DTA.

4.4.4 Ergebnis

Vorbereitung der Notrufsäuleninfrastruktur auf geänderte Anforderungen

Wie schon im vorherigen Abschnitt „Durchführung“ dargestellt, sind in der ersten Phase des Projekts „Vorbereitung der Notrufsäuleninfrastruktur auf geänderte Anforderungen“ drei mögliche Anwendungen theoretisch untersucht worden.

Im Hinblick auf die Erfassung von Klimadaten und Fahrbahnzuständen mittels Reflexionsverfahren konnte aufgezeigt werden, dass sich mit einem erheblichen technischen Aufwand eine optische Fahr-

bahnanalyse durchführen lässt. Die optische Messung von Fahrbahnzustand, Wasserfilmdicke und Restsalzmenge ist möglich, aber wesentlich teurer als mit in die Fahrbahn integrierten Sensoren. Zudem würde eine weitere Ausstattung von vielen Notrufsäulen mit der neuen Sensorik zwar zu einer flächendeckenderen Erfassung führen, jedoch wäre die Erfassung zum großen Teil nicht an den wirklich notwendigen Punkten, da die Notrufsäulen in regelmäßigen Abständen stehen. Als Frühwarnsystem zur Erkennung einer bevorstehenden Glättebildung ist dieses System daher nicht geeignet. Aus dem Grund wurde von einer praktischen Erprobung des Ansatzes abgesehen.

Die Ergebnisse aus den theoretischen Untersuchungen und einer ersten prototypischen Umsetzung hinsichtlich der Nutzbarkeit der Notrufsäulenstandorte für die Erhebung von Verkehrsdaten waren geteilt. Zunächst ist Radar als positivste Sensortechnologie ausgewertet und für die weiteren Untersuchungen ausgewählt worden. Bei der prototypischen Umsetzung an der Autobahn hinsichtlich des Einsatzes zur Erkennung von Falschfahrenden kam es zu vermehrten Fehlerkennungen, welche u. a. auf Fahrzeuge auf der Gegenfahrbahn und Reflexionen zurückzuführen sind. Damit kommt die Technologie für den Zweck der Falschfahrererkennung nicht in Frage und wurde auch entsprechend nicht weiter betrachtet. Bei der Gewinnung von Informationen zum Verkehrsfluss waren die ersten Daten durchaus positiver. Die mit dem Radar aufgezeichneten Ganglinien des Verkehrsflusses gegenüber den Daten der Zählstellen waren plausibel, auch wenn es bei den Untersuchungen teilweise zu Verbindungsabbrüchen und zu Messfehlern aufgrund von Abschattungen kam. Aufgrund der ersten Ergebnisse und der sich daraus ggf. ergebenden Möglichkeit flächendeckendere Informationen (durch die Dichte an Notrufsäulen (ca. alle 2km)) gegenüber vorhanden Systemen zum Verkehrsfluss zu erhalten, ist die Technologie weiter verfeinert und in drei Notrufsäulen auf der A9 integriert worden. Der Feldtest konnte aufzeigen, dass teilweise eine schnelle Staudetektion mit den Radareinheiten möglich war sowie vereinzelt gute Ganglinien hinsichtlich der Geschwindigkeit und Verkehrsstärke aufgezeichnet werden konnten. Jedoch bestanden auch Probleme bei der Informationsübertragung über die Streckenkabel sowie bei dem Verbau der Radarsensoren in den Notrufsäulen an sich (u. a. kam es aufgrund des internen Einbaus der Radarsensoren zu ungewollten Radarsignal-

reflexionen), die nur teilweise behoben werden konnten. Das Zusammenspiel der drei Notrufsäulen mit den Messeinheiten konnte daher auch nur bedingt untersucht werden. Des Weiteren wurde der Mehrwert für eine flächendeckende Ertüchtigung der Notrufsäulen im Hinblick auf die noch zu tätigen weiteren Entwicklungsaufwände, den allgemeinen Kosten und den zwischenzeitlich weiterentwickelten Alternativen aus wirtschaftlicher Sicht in Frage gestellt.

Im Rahmen der theoretischen Betrachtung der Kommunikation zwischen der Notrufsäule und anderen Verkehrsteilnehmern (Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I)), wurde „Bluetooth Low Energy“ (BLE) als aussichtsreichste Technologie bewertet und für weitere Untersuchungen im Feld ausgewählt. Mit einer einfachen nicht verbauten Empfangseinheit (aufgestellt auf einem Rastplatz) und einer Sendereinheit in Form eines Smartphones in einem Fahrzeug konnte aufgezeigt werden, dass eine Kommunikation trotz Bebauung bis zu einer Entfernung von rund 150m möglich ist. Von weiteren Untersuchungen wurde abgesehen, da zu diesem Zeitpunkt vermehrt von der Fahrzeugindustrie auf andere Funkstandards (wie WLAN nach IEEE 802.11p) gesetzt wurde.

Die Ergebnisse des Projekts sowie die Beschreibung der Durchführung wurden in einem abschließenden Bericht durch den Auftragnehmer festgehalten.

ANIKA II – Aufrüstung der Notrufsäulenfernmeldenetzwerkinfrastruktur zur V2X-Kommunikation an Autobahnen

Im Projekt ANIKA II sind eine Reihe von Erkenntnissen und Ergebnissen hinsichtlich der Nutzung von Notrufsäulenstandorten für die Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I) sowie der Kommunikation mit ETSI ITS-G5 (WLAN) entstanden. Dabei hat das Projekt insbesondere aufgezeigt, dass trotz der geringen zur Verfügung stehenden Energie an den Notrufsäulenstandorten eine Funkabdeckung über nahezu den gesamten entsprechend ausgerüsteten Autobahnabschnitt (insgesamt 14 Notrufsäulenstandorte) erreicht werden konnte. Eine Übertragung von Informationen mittels ETSI ITS-G5 (WLAN) von der Infrastruktur an vorbeifahrende Fahrzeuge konnte erfolgreich nachgewiesen werden. Zudem konnten ausgestrahlte Informationen von Fahrzeugen infrastrukturseitig aufgenommen

und ausgewertet werden. Unter anderem sind in dem Zusammenhang Reisezeiten von einzelnen Fahrzeugen auf dem Testabschnitt ermittelt worden. Möglich gemacht hat dies insbesondere die neu entwickelte energieeffiziente Hard- und Software zum Empfang und Versand der Informationen. Die Realisierung ist zunächst durch simulative Untersuchungen vorbereitet worden. Dafür ist eigens eine neue Funksimulation mit einer Verkehrssimulation verknüpft worden. Die Simulation hat vor dem Feldtest schon Erkenntnisse hinsichtlich der Standorte der RSU-Einheiten und der Funkabdeckung, auch unter der Berücksichtigung von Abdeckungen, Reflexionen und Verkehrsbewegungen, geliefert. Diese neue Software ist ein weiteres positives Ergebnis des Forschungsprojekts, welche auch in anderen Szenarien zum Einsatz kommen kann. Neben den Ergebnissen hinsichtlich der Funkkommunikation an sich, sind darüber hinaus noch eine Reihe von organisatorischen Erkenntnissen im Projekt gewonnen worden. Zum Beispiel konnte aufgezeigt werden, welche verschiedenen Standards zur Kommunikation mit Verkehrsmanagementzentralen bei der Verwendung der Technologie zu betrachten sind.

Die gesamten Ergebnisse des Forschungsprojekts sowie die Beschreibung der Durchführung wurden in einem abschließenden gemeinsamen Bericht der Verbundpartner festgehalten, welcher bei der Technische Informationsbibliothek (TIB) Hannover veröffentlicht ist.

4.4.5 Bewertung und Ausblick

Vorbereitung der Notrufsäuleninfrastruktur auf geänderte Anforderungen

Die Studie und die nachgelagerte Erprobung von unterschiedlichen verkehrstechnischen Anwendungen durch die Nutzung der Notrufsäuleninfrastruktur haben zahlreiche Detailprobleme und Einschränkungen aufgezeigt. Zum Beispiel ist durch Sensorik eine punktuelle Überwachung von Fahrbahnabschnitten hinsichtlich Wetterinformationen auf der Fahrbahn möglich, jedoch wäre diese wesentlich teurer im Vergleich zu anderen Systemen und nicht repräsentativ. Dies ist also kein Fortschritt, u. a. in Bezug auf eine Glättefrüherkennung. Zudem sind durch die vorgegebenen etwas abseits der Fahrbahn gelegenen Standorte der Notrufsäulen und der beschränkten physikalischen Möglichkeit der Energieversorgung über die Fernmeldekabel der

erreichbaren Detektionsgüte bei Verkehrs- und Umfelddaten Grenzen gesetzt, die sich hier bei den prototypischen Untersuchungen bestätigt haben. Zum einen hat sich schnell gezeigt, dass eine angelegte Falschfahrererkennung mittels Radar in Notrufsäulen nicht zuverlässig umsetzbar ist. Zum anderen konnten trotz vorgenommenen Eingrenzungen der zu untersuchenden Anwendungen zur Verkehrsflussermittlung auf Basis von theoretischen Vorüberlegungen, diese nicht ohne weitere Einschränkungen getestet werden. Eine schnelle Staudetektion konnte anhand einiger Fälle nachgewiesen werden. Der Mehrwert wurde für eine flächendeckende Ertüchtigung der Notrufsäulen in Hinblick auf die Kosten, die noch notwendigen Verbesserungsarbeiten und die zwischenzeitlich weiterentwickelten Alternativen (Floating Car Data (FCD) und kooperativen Systemen) zu Recht aus wirtschaftlicher Sicht in Frage gestellt. Eine entsprechende Weiterverfolgung wird aktuell als nicht sinnvoll bewertet. Hinsichtlich der Nutzung von Notrufsäulen für die Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I) wurde Bluetooth als Übertragungsmedium vorgeschlagen und untersucht. Auch hier hat der technische Fortschritt an anderer Stelle neue Wege aufgezeigt, die sinnvoller sind und sich offensichtlich auch verstärkt am Markt durchsetzen.

Insgesamt wurde im Rahmen der im Projekt untersuchten Anwendungen deutlich, dass die angelegten Weiternutzungsideen von Notrufsäulen mit der untersuchten Technik nicht oder nur mit deutlichen Einschränkungen möglich sind. Die Verwendung der Detektionstechniken in oder an den Notrufsäulen scheiterte zum großen Teil an dem dazu erforderlichen Energiebedarf, der nicht ausreichend über die Fernmeldekabel zur Verfügung gestellt werden konnte sowie an der Beeinträchtigung der Funktion von Komponenten, durch die Integration in die bestehenden Gehäuse der Notrufsäulen.

ANIKA II – Aufrüstung der Notrufsäulenfernmeldenetzwerkinfrastruktur zur V2X-Kommunikation an Autobahnen

Die in ANIKA II gewonnenen Ergebnisse stellen eine gute Informationsgrundlage für mögliche zukünftige Projekte im Bereich der Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation (V2I) mittels ETSI ITS-G5 (WLAN) dar. Insbesondere werden sich die technologischen Entwicklungen hinsichtlich der Funksimulation und der energieeffizienten Sende- und Empfangseinheiten (RSU) in anderen Bereichen nutzen

lassen. Auch die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt hinsichtlich der Verwendung von Notrufsäulenstandorten für andere Zwecke werden für ggf. zukünftige Ideen in diesem Bereich herangezogen werden können. Eine flächendeckende und bundesweite Ausrüstung der Notrufsäulenstandorte mit der hier im Forschungsprojekt entwickelten Lösung ist jedoch nicht vorstellbar. Unter anderem ist aktuell aufgrund der schnellen Entwicklung im Bereich der Fahrzeug-zu-X-Kommunikation (V2X) nicht klar erkenntlich, welche Übertragungstechnologie (WLAN oder Mobilfunk) sich schlussendlich insbesondere auf der Fahrzeugseite durchsetzen wird. In dem Zusammenhang ist eine flächendeckende Ausrüstung mit einer bestimmten Technologie mit einem hohen Risiko verbunden. Zudem bestehen trotz der gezeigten Funktionalität in dem Projekt eine Reihe von Herausforderungen auf Seiten der Notrufsäuleninfrastruktur, die im Projekt aufgrund der Auswahl des Standorts auf dem DTA nicht zum Tragen gekommen sind. So sind z. B. ein Großteil der Fernmeldekabel pupinisiert bzw. bespult, sodass die Energieversorgung über die Kabel nicht möglich ist.

Schlussendlich konnten im Forschungsprojekt ANIKA II die vorgenommenen Ziele erreicht werden, jedoch können diese nicht allgemeingültig für alle Autobahnabschnitte angewendet werden.

4.5 Innovatives Lkw-Parkleitsystem

4.5.1 Ausgangssituation

Laut einer Erhebung zur Lkw-Parksituation im Umfeld der Bundesautobahnen (BAB) in Deutschland aus dem Jahr 2018 werden pro Nacht im Durchschnitt 94.100 abgestellte Lkw gezählt. Weiterhin wurde dieser Wert den 70.800 Lkw-Parkmöglichkeiten, welche es zum damaligen Zeitpunkt gab, gegenübergestellt und der daraus resultierende Fehlbestand von 23.300 Parkplätzen für Lkw auf und an den BAB ermittelt⁴⁶. Diese Zahl beschreibt bereits die Dringlichkeit eines Handlungsbedarfs in Bezug auf die Bereitstellung von geeigneten Parkierungsmöglichkeiten für Lkw auf bzw. an BAB.

Auch wenn in den letzten Jahren der Ausbau von Lkw-Stellplätzen vorangetrieben wurde, sind weitere Lösungen anzustreben. Zur besseren Ausnutzung der vorhandenen Kapazitäten und um auf kurzfristige Belastungsspitzen reagieren zu können, wurden Ansätze für telematisch gesteuerte Parkverfahren entwickelt. Dieses sorgt durch geeignete dynamische Anzeigen dafür, dass Lkw mit ähnlichen Abfahrtszeiten deutlich enger parken können und so der Platzbedarf minimiert wird. Dazu liegen bereits positive Praxiserfahrungen vor⁴⁷.

Ein weiterer Ansatz sind Lkw-Parkleitsysteme, die über freie Parkplätze informieren und so den Parksuchvorgang und die Auslastungsverteilung optimieren sollen. Ein solches System wurde versuchsweise auf der BAB A9 zwischen München und Nürnberg aufgebaut und als Maßnahme des Digitalen Testfelds Autobahn (DTA) wissenschaftlich begleitet und evaluiert.

Ein wesentliches Element für den sicheren Betrieb eines Lkw-Parkleitsystems ist die zuverlässige Detektion der Fahrzeuge. Um den Wettbewerb hier weiter zu verbessern, wurde auf dem DTA interessierten Herstellern die Möglichkeit zum Test ihrer Systeme unter einheitlichen, realistischen Bedingungen geboten. Das PWC-Gelbelsee wurde ausgewählt, da dort unterschiedliche Anforderungen an die Detektion untersucht werden können und auf Grund des Neubaus der Anlage im Jahr 2011/12 der Bauzustand einer modernen PWC-Anlage entspricht.

In der vom BMVI im Jahr 2018 initiierten Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Bundeseinheitliches Lkw-Parkleitsystem (PLS) auf BAB“ wurde neben der Entwicklung von Vorgaben und Kriterien zur räumlichen Festlegung von Lkw-PLS sowie einheitlicher Anzeigekonzepte die Aufgabe definiert, funktionale Kriterien für ein Parkplatzdetektionssystem mit flächenhafter Erfassung zu entwickeln. Derzeit existieren verschiedene Detektionssysteme zur Lkw-Belegungserkennung. Zur Bewertung dieser Erfassungssysteme werden unterschiedliche Bewertungsvorgehen angewendet, wodurch eine Vergleichbarkeit erschwert wird. Es besteht daher Be-

⁴⁶ BAST [2019]. Lkw-Parksituation im Umfeld der BAB 2018. Bundesweite Erhebung der Lkw-Parksituation an und auf BAB in Deutschland in den Nachtstunden. Bergisch Gladbach.

⁴⁷ LEHMANN, R.; DIERKE, J.; HEGEWALD, J.; MONNINGER, D.; GABLONER, S. [2020]: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Erfahrungen aus der Pilotanwendungen. In: Straßenverkehrstechnik (6), S. 364–370.

darf an einem standardisierten Funktions- und Eignungsprüfungsverfahren, welches deutschlandweite Mindeststandards gewährleistet und die Straßenbauverwaltungen bei Ausschreibungen sowie Abnahmen unterstützt.

4.5.2 Zielsetzung

Ziel des innovativen Lkw-Parkleitsystems ist es, vorhandene Lkw-Parkkapazitäten effizienter zu nutzen, indem Parksuchende (hauptsächlich Lkw) mit telematischer Unterstützung über freie Parkstände in Echtzeit informiert werden. Damit soll die Einhaltung der Lenk- und Ruhezeiten der Lkw-Fahrenden erleichtert und unnötiger Parksuchverkehr vermieden werden. Insgesamt wird dadurch auch eine Erhöhung der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmer auf Autobahnen angestrebt. Damit die Informationen direkt in die Fahrzeuge kommen, werden die ermittelten Daten zu den freien Parkständen an einem zentralen Punkt (Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM)) bereitgestellt und im Internet auf www.bayerninfo.de veröffentlicht. Voraussetzung für eine Umsetzung derartiger Lkw-Parkleitsysteme ist die zuverlässige und hochgenaue Erfassung der verfügbaren Parkstände auf den einzelnen Rastanlagen. Zur Bewertung der Wirksamkeit dieses Systems werden sowohl Analysen der Parkdaten und Suchzeiten als auch eine Nutzerbefragung durchgeführt.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des DTA soll zudem ein Prüfverfahren zur flächenhaften Erfassung der Parkplatzbelegung entwickelt werden, mithilfe dessen die Erfüllung einheitlicher Kriterien durch Systeme verschiedener Hersteller überprüft werden kann. Das Prüfverfahren soll dabei technologieoffen gestaltet und sowohl für Bilanzierungssysteme als auch für Detektoren mit teilflächenhafter (einzelne Lkw-Parkstände) und flächenhafter Erfassung (mehrere Lkw-Parkstände auf Teil- oder Gesamtflächen) anwendbar sein⁴⁸. Ziel ist die Entwicklung eines derartigen Prüfverfahrens, dem sich potenzielle Systemhersteller unterziehen sollen, um an künftigen Ausschreibungen teilnehmen zu können. Somit soll Transparenz geschaffen und

⁴⁸ MAGET, C.; GERSTENBERGER, M.; KLEMENTZ, S.; GUTMANN, S.; MONNINGER, D. [2020]: Bundestestfeld PWC Gelbelsee in Bayern: Einheitliches Prüfverfahren für Systeme zur flächenhaften Parkplatzbelegungserfassung auf Rastanlagen. In: Straßenverkehrstechnik (6), S. 355–363.

ein fairer Wettbewerb zwischen potenziellen Bietern ermöglicht werden.

4.5.3 Durchführung

Die ersten Anlagen des Lkw-Parkleitsystems wurden Mitte 2015 in Betrieb genommen. Die ausgestatteten Parkierungsanlagen sind mit Ausbaustand 2019 Bild 25 zu entnehmen.

Autohöfe entlang des Streckenabschnitts sind in Rot gekennzeichnet. Die beiden PWC-Anlagen in Grün wurden nachträglich in das Projekt integriert. Die restlichen Anlagen sind in Weiß gekennzeichnet.

Mithilfe von Detektoren werden dabei an den Zu- und Abfahrten der Rastanlagen die Zahl der ein- und ausfahrenden Lkw an Messquerschnitten gezählt und bilanziert. Als Messprinzip kommt somit die indirekte Belegungserfassung (Bilanzierung der ein- und ausfahrenden Fahrzeuge) zum Einsatz. Ein Messquerschnitt ist technisch als eine Kombination aus Lasersensor und Bodenradar implementiert. Der Laser misst dabei die Höhe und Breite des Fahrzeugs, indem er seitlich erhöht installiert wird und die Fahrzeugkanten erfasst. Ein

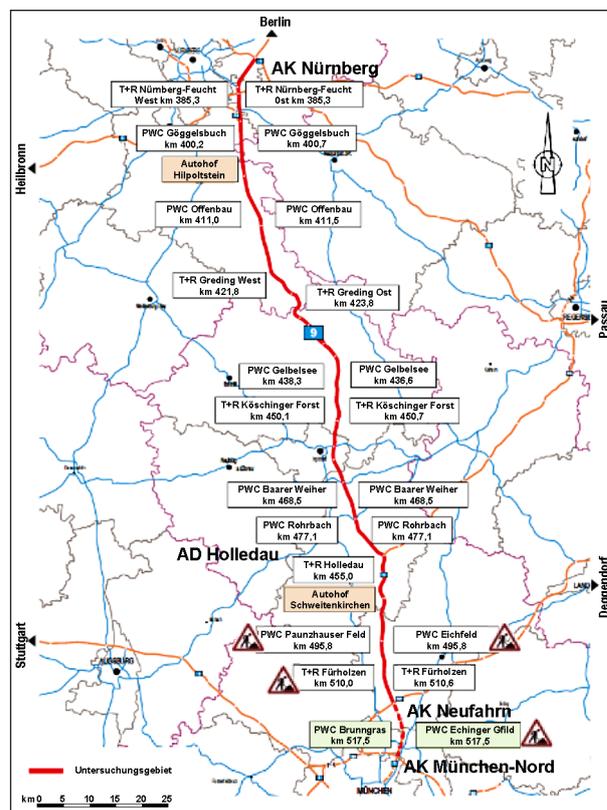


Bild 25: Lkw-Parkleitsystem (PLS) im Jahr 2019, Quelle: ZVM

Bodenradar ermittelt die Belegungsdauer eines Fahrzeugs auf dem Messquerschnitt. Durch Datenfusion der von den beiden Sensoren gemessenen Werte kann neben der hochgenauen Zählung eine Klassifizierung der Fahrzeuge in Lkw-ähnlich und Pkw-ähnlich erreicht werden. Somit werden Daten über die aktuelle Stellplatzsituation erfasst und über bestimmte Services dem Verkehrsteilnehmer zur Verfügung gestellt. Der Freistaat Bayern stellt die Daten bereits über seine eigene App BayernInfo sowie für die externe Nutzung über den MDM zur Verfügung.

Nr.	Phase	Beschreibung
1	Ground Truth	Keine Information über freie Parkstände für Lkw-Fahrende vorhanden
2	BayernInfo	Informationen über Website und App „BayernInfo“ verfügbar (Bild 26)
3	BayernInfo + Infotafeln	Statische Tafeln mit Werbung für BayernInfo im Bereich der Einfahrt auf die PWC- bzw. Rastanlage (Bild 27)
4	BayernInfo + Infotafeln + Dynamische LED Tafeln	Zusätzlich zu Phase 3: Echtzeitbelegung über LED Tafeln entlang der Strecke (Bild 28)

Tab. 4: Untersuchungsphasen der Feldtests zum innovativen Lkw-Parkleitsystem



Bild 26: Parkplatzinformation über BayernInfo, Quelle: ZVM

Nach dem Aufbau der 22 Anlagen des Lkw-PLS wird eine Wirksamkeitsanalyse durchgeführt, die in vier Untersuchungsphasen unterteilt ist (s. Tabelle 4).

Um die von den Systemen gemessene Belegung mit dem tatsächlichen Zustand auf der Anlage (Ground Truth) zu vergleichen, wurde zusätzlich ein kamerabasiertes Referenzsystem installiert, mit welchem der Belegungszustand der Rastanlage beobachtet werden kann. Die Bilder werden gespeichert, sodass auch auf historische Zustände zurückgegriffen werden kann. Die Bilder werden jedoch zyklisch überschrieben. Es kann somit stets für aktuelle und historische Zeitpunkte die tatsächliche Belegung der Anlage visuell ermittelt bzw. verifiziert werden. Die Webcams sind so konfiguriert, dass auf den erzeugten Bildern keine personenbezogenen Daten wie Kfz-Kennzeichen und Gesichter erkennbar sind. Um Fahrzeuge beim Parksuchvorgang verfolgen zu können, sind zusätzlich ANPR-Kameras (Automatic Number Plate Recognition) an



Bild 27: Infotafel, Quelle: BAST



Bild 28: LED-Tafel mit Anzeige der freien Lkw-Stellplätze in Echtzeit, Quelle: BAST

jedem Messquerschnitt installiert, die jedes Fahrzeug anhand des Kfz-Kennzeichens datenschutzkonform identifizieren können.

Die so erhobenen Daten fließen in eine Wirksamkeitsanalyse ein, die in den verschiedenen Phasen untersucht, wie sich der Lkw-Parkplatzsuchverkehr und die Parkplatzauslastung verändern. Die Wirksamkeitsuntersuchung mittels ANPR-Daten wird von der Zentralstelle Verkehrsmanagement (ZVM) durchgeführt. Deren Ergebnisse werden in einem separaten Bericht der ZVM aufbereitet, welcher zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht veröffentlicht war.

Die ANPR-Daten ermöglichen eine Analyse des Lkw-Parksuchverkehrs. Außerdem können Verteilungseffekte sichtbar gemacht werden. Die Reduktion des Parksuchverkehrs sowie eine bessere Anpassung von Parknachfrage und Parkangeboten sind die Hauptziele von Lkw-Parkleitsystemen. Bis heute sind in Deutschland noch keine Untersuchungen durchgeführt worden, die den Lkw-Parksuchverkehr quantifizieren. Somit hat die ANPR-Untersuchung zwei Hauptziele: Zunächst soll der Status-quo des Lkw-Parksuchverkehrs ermittelt werden. Hiermit kann die Frage „Wie viel Parksuchverkehr existiert heute ohne Belegungsinformationen?“ beantwortet werden. Aufbauend hierauf wird der Parksuchverkehr in den unterschiedlichen Phasen ausgewertet und mit dem Status-quo-Werten verglichen. Die zugrundeliegende Hypothese ist, dass der Parksuchverkehr abnimmt, umso leichter Informationen zur aktuellen Belegung für die Lkw-Fahrenden zugänglich sind.

Diese Datenanalysen werden flankiert von einer vor-Ort-Befragung von Lkw-Fahrenden, die im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung von der TUM durchgeführt wurde und deren Ergebnisse nachfolgend dargestellt sind. Diese Befragung soll weitere Erkenntnisse im Wesentlichen zu folgenden Themenfeldern liefern:

- Parksuchverhalten (z. B. Wie lange vorher wird die Suche gestartet? Zu welcher Uhrzeit?)
- Parkverhalten (z. B. Wie oft wird auf/an BAB geparkt? Welche Parkplätze werden bevorzugt angefahren?)
- Informationsquellen zur Parkauslastung (z. B. über BayernInfo, Spedition, direkte Kommunikation zwischen Lkw-Fahrenden)
- Subjektive Einschätzungen der Befragten zum Lkw-PLS mit verschiedenen Varianten

Es wurde ein Befragungskonzept erarbeitet und mit dem zeitlichen Ablauf des Systemaufbaus in Abstimmung aller Projektbeteiligten synchronisiert. Die Befragungen wurden an vier Rastanlagen mit zwei verschiedenen Anlagentypen (zwei kleine Anlagen mit 31 bzw. 29 Lkw-Stellplätzen und zwei große Anlagen mit Tankstelle, Rasthof und 150 Lkw-Stellplätzen) durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Befragungen waren in Fahrtrichtung Nürnberg bereits LED-Anzeigen mittels eines mobilen Systems eines Verkehrssicherungsunternehmens für die letzte Phase der Wirksamkeitsanalyse installiert (Phase 4).

Die Befragungen wurden an sieben Werktagen in den Abendstunden durchgeführt. Um die Sicherheit der Befrager und das Wohlbefinden der Beteiligten zu gewährleisten, wurden die Befragungen von 15-19 Uhr durchgeführt. Die Lkw-Fahrenden wurden zu Beginn des Interviews zu ihrem allgemeinen Park- und Rastanlagensuchverhalten befragt. Anschließend wurde nach der Bekanntheit und des Nutzens der BayernInfo-App gefragt. Der dritte Teil der Befragung beinhaltete Fragen zu den Eigenschaften der installierten LED-Anzeigen. Abschließend wurden demografische Daten der Lkw-Fahrenden aufgenommen sowie Start- und Zielorte ihrer aktuellen Routen. Außerdem wurde um allgemeine Vorschläge zur Verbesserung der Rastanlagensituation und weiteren Aspekten gebeten.

Der Fragebogen wurde mit der Software Google-Forms erstellt. Die Umfrage besteht aus offenen und geschlossenen Fragen sowie Fragen, die eine Mehrfachauswahl an Antworten ermöglichen. Bei jeder Frage gibt es zusätzlich die Möglichkeit durch die Auswahl „Sonstiges“ eine freie Antwort einzugeben. Es wurden zwei Fragebogen vorbereitet, einer in deutscher und einer in englischer Sprache, um auch internationale Lkw-Fahrende zu befragen. In vorangegangenen Projekten mit ähnlichen Aufgabenstellungen (vgl. Kapitel 4.11 Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen) erwies sich die Verwendung weiterer Sprachen als nicht zielführend. Insgesamt nahmen 140 Lkw-Fahrer an der Umfrage teil.

Grundlage für die Anzeige von aktuellen Belegungsinformationen von Parkplätzen ist die aktuelle und zuverlässige Parkplatzbelegungserkennung auf den einzelnen Anlagen. Hierfür stehen mittlerweile verschiedenste Detektionstechnologien zur Verfügung. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurde deshalb zusätzlich zur Wirksamkeitsanalyse des im digitalen Testfeld aufgebauten

Lkw-PLS ein einheitliches Funktions- und Eignungsprüfungsverfahren entwickelt, welchem sich potenzielle Systemhersteller unterziehen sollen, um an künftigen Ausschreibungen teilnehmen zu können. Als Ort für die praktische Entwicklung eines solchen Prüfverfahrens sowie für deren Durchführung wurde das Bundestestfeld PWC Gelbensee-West an der BAB A9 ausgewählt.

Bei der Entwicklung des Prüfverfahrens wurde aufbauend auf den definierten funktionalen Kriterien⁴⁹ eine einheitliche Definition der zu unterscheidenden Belegungszustände festgelegt sowie eine Vorgehensweise definiert, wie die Anzahl freier Parkmöglichkeiten auf den zu berücksichtigenden Parkflächen zu ermitteln ist.

Ziel der Funktions- und Eignungsprüfung ist der Nachweis, dass das getestete Detektionssystem grundsätzlich in der Lage ist, die geforderten Ergebnisse entsprechend den definierten funktionalen Kriterien zu liefern. Der notwendige Aufwand für die Prüfung sowie die erforderlichen Eingriffe in den Regelbetrieb der Rastanlage werden möglichst geringgehalten. Im Rahmen der Funktions- und Eignungsprüfung wird die Möglichkeit berücksichtigt, unterschiedliche Systemumfänge prüfen zu lassen. In einer „Basisprüfung“ werden alle Festanforderungen nach den Vorgaben der funktionalen Kriterien geprüft. Optionale Forderungen werden in Zusatzprüfungen adressiert. Dabei wird unterschieden zwischen der „Zusatzprüfung Teil 1“ (Bestimmung freier Pkw-Parkmöglichkeiten) und der „Zusatzprüfung Teil 2“ (Generierung von Warnmeldungen).

Die komplette Funktions- und Eignungsprüfung enthält vier Bestandteile, wobei die Prüfung als bestanden gilt, wenn alle Bestandteile erfolgreich abgeschlossen werden konnten:

1. Prüfungsbestandteil A –

Bestätigung des Systemherstellers

Einige der Kriterien können nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand reproduzierbar geprüft werden. Aus diesem Grund wird vom Systemhersteller für die Einhaltung dieser Kriterien eine schriftliche Bestätigung gefordert.

2. Prüfungsbestandteil B –

Checkliste Einstellmöglichkeiten und Parametrierbarkeit

Diese Prüfungsbestandteil befasst sich mit den vorhandenen Einstellmöglichkeiten und der Parametrierbarkeit des Systems und der Auswertungssoftware.

3. Prüfungsbestandteil C – Einzel-Prüfsituationen

Mithilfe von vordefinierten und reproduzierbaren Einzel-Prüfsituationen wird getestet, ob das zu prüfende System gewisse Konstellationen parkender Fahrzeuge, deren fehlerfreies Erkennen zur Bestimmung der Belegungssituation auf der Rastanlage essenziell sind, richtig bewertet. Die Prüfsituationen adressieren die Aspekte:

- Bereichsabdeckung,
- Bestimmung der Belegungssituation auf verkehrsrechtlich nach StVO ausgewiesenen Parkständen und auf Flächen, auf denen das Parken verkehrsrechtlich nicht zulässig ist, aber geduldet wird,
- Erkennung von blockierten verkehrsrechtlich nach StVO ausgewiesenen Parkständen
- Überprüfung der zeitlichen Vorgaben zur Erkennung von Änderungen der Belegungssituation (Aktualisierungsintervall und Zeitverzug bei der Systemausgabe)

4. Prüfungsbestandteil D – Langzeittest

Die Detektionsgenauigkeit sowie die Aktualität der Belegungserkennung werden im Rahmen des Langzeittests bewertet. Hierfür wird über einen Zeitraum von 4 Wochen zu insgesamt 100 definierten Zeitpunkten stichprobenhaft die Genauigkeit der Belegungsdetektion sowie der Zeitverzug bei der Systemausgabe ermittelt. Dabei werden durch eine Streuung der Stichproben über den gesamten Testzeitraum ein breites Spektrum an unterschiedlichen Belegungssituationen (z. B. hohe Auslastung oder häufige Belegungsänderung) und Randbedingungen, die die Belegungserkennung beeinflussen (z. B. Lichtverhältnisse, Sichtweite und Wetterbedingungen), abgedeckt und statistisch belastbare Aussagen ermöglicht.

Zur Überprüfung der Durchführbarkeit und Praktikabilität des Vorgehens wurde ein Flächendetektionssystem im Testfeld PWC Gelbensee-West installiert

⁴⁹ LEHMANN, R.; DIERKE, J. [2020]: Funktionale Kriterien für ein Parkplatzdetektionssystem mit flächenhafter Erfassung, Bergisch Gladbach: F1100.6518003

und der Funktions- und Eignungsprüfung unterzogen. Das entwickelte Prüfverfahren wurde in einer Prüfvorschrift dokumentiert und Unterlagen zur Durchführung einer Schulung erstellt.

Neben dem Verfahren zur Funktions- und Eignungsprüfung wurde ein Vorgehen zur Abnahme von Systeminstallationen vor Ort erarbeitet, welches die speziellen, über die allgemeinen funktionalen Kriterien hinausgehenden Anforderungen der Auftraggeber berücksichtigt. Hierzu zählen insbesondere Voraussetzungen an die bauseitige Infrastruktur, wie Montagemöglichkeit, Strom- und Internetanschluss. Die damit beschriebene Vorgehensweise dient als Handreichung für die Straßenbauverwaltungen für eine zielgerichtete Abnahme.

4.5.4 Ergebnis

Befragung der Lkw-Fahrenden

Eines der Hauptziele der Untersuchungen war, aus den Ergebnissen der Befragung Erkenntnisse zum derzeitigen Parkverhalten inklusive des Parkplatzsuchvorgangs sowie zur Funktion und zur Akzeptanz des Lkw-Parkleitsystems abzuleiten. Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse aus den Befragungen zusammengefasst, die sich in detaillierter Form auch im Abschlussbericht des Projekts finden⁵⁰:

- Der Anteil an befragten Lkw-Fahrenden, die mit der Suche nach einem freien Lkw-Stellplatz zwischen 30 und 59 Minuten vor Ende der Lenkzeit beginnen, liegt bei 37 %. Der Anteil mit einem Suchbeginn mindestens 60 Minuten vor Ende der Lenkzeit beträgt 31 %. Zwei Drittel aller Befragten beginnen demnach mindestens 30 Minuten vor Ende der Lenkzeit mit der Parkplatzsuche, was bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 80 km/h einer Entfernung von etwa 40 km vor dem angestrebten Parkplatz entspricht.
- Für mehr als 60 % der befragten Lkw-Fahrenden entspricht eine Parkmöglichkeit in den Fahr-

gassen und im Tankstellenbereich entgegen der geltenden Regeln einem frei verfügbaren Lkw-Stellplatz.

- Mehr als 60 % der befragten Lkw-Fahrenden informieren sich vor ihrer Ruhezeit nicht über die aktuellen Belegungen auf den Rastanlagen. 18 % der Fahrer nutzen Internetangebote bzw. APPs (z. B. BayernInfo); weitere 13 % tauschen sich per Funk oder soziale Netzwerke im Kollegenkreis aus; 6 % der Befragten greifen auf Erfahrungswerte zurück.
- Ca. 80 % der befragten Lkw-Fahrenden kennen das Portal BayernInfo nicht. Es können sich jedoch ca. 60 % der befragten Lkw-Fahrenden vorstellen, in Zukunft die App mit den Belegungsinformationen zu nutzen.
- Ca. 50 % der befragten Lkw-Fahrenden können sich vorstellen, mithilfe der Belegungsinformationen (Bayerninfo und/oder LED-Anzeigen) ihre Suche nach einem freien Stellplatz später zu beginnen. Diese Aussage ist unabhängig von der jeweils eingeplanten Zeit für die Stellplatzsuche für alle befragten Lkw-Fahrenden zutreffend.
- Von 97 % der befragten Lkw-Fahrenden, die in Fahrtrichtung Nürnberg unterwegs waren, wurden die LED-Anzeigen wahrgenommen und als verständlich bewertet. 75 % der befragten Lkw-Fahrenden befürworten die Belegungsinformation mittels numerischer Angabe von Restplätzen (Restplatzanzeige) und die Reihenfolge auf dem Schild geordnet nach der Leserichtung von oben nach unten.
- 56 % der befragten Lkw-Fahrenden bevorzugen eine Belegungsinformation aus der Kombination von BayernInfo und LED-Anzeigen. Für den Fernverkehr werden flächendeckende und einheitliche Lösungen gefordert.

ANPR-Untersuchung

Grundsätzlich bestätigen die ersten Auswertungen der ANPR-Daten die Beobachtungen vor Ort, dass die Lkw-Fahrenden die Rastanlagen ab 16 Uhr für längere Ruhepausen (i. d. R. 9 oder 11 Stunden) anfahren und als Langzeitparker (LZP) dort über Nacht verbleiben. Durch die geringe Wechselhäufigkeit im Vergleich zu Kurzzeitparkern steht zunehmend immer weniger Parkraum für Lkw zur Verfügung, sodass bei den aktuellen gesetzlichen Ruhezeiten der Einsatzbeginn eines Lkw-Parkleitsys-

⁵⁰ METZGER, B.; SPANGLER, M. [2021]: Befragungen im Rahmen der Wirksamkeitsanalyse zum Lkw-Parkleitsystem A9. Endbericht im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Digitalen Testfelds Autobahn. https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-v/Berichte_V_node.html

tems werktags ab 16 Uhr besteht, um Lkw zielgerichtet zu freien Kapazitäten zu führen. Im Zuge der Untersuchung wurde deutlich, dass ab ca. 20 Uhr fast alle Rastanlagen vollständig belegt sind und keine freien Alternativen mehr angezeigt werden können. Aufgrund des hohen Lkw-Verkehrsaufkommens sowie den zu geringen vorhandenen Parkstandskapazitäten ist daher ab ca. 20 Uhr eine Lenkung des Lkw-Verkehrs mittels Belegungsinformationen nicht mehr möglich. Alle Anlagen weisen „0“ freie Parkstände aus. Der Einsatzzeitraum des Lkw-Parkleitsystems erstreckt sich im Anwendungsfall für die A9 Nürnberg-München somit auf die Zeit von etwa 16 bis 20 Uhr. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei Zugrundelegung von Kapazitäten mit StVO-Parkständen ohne geduldete Überbelegung der Einsatzzeitraum weniger als vier Stunden betragen würde.

Bild 29 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Anzahl angefahrener Rastanlagen bis zum Verbleiben als LZP. Grundsätzlich konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untersuchungsphasen (vgl. Tabelle 4) beobachtet werden. Außerdem lässt sich erkennen, dass ca. 85 % der Lkw-Fahrenden eine Rastanlage und lediglich 15 % zwei oder mehr Rastanlagen anfahren.

In Bild 30 ist die mittlere Anzahl an angefahrenen Rastanlagen in Fahrtrichtung Nürnberg für die vier

Untersuchungsphasen (vgl. Tabelle 5) dargestellt. Es werden alle angefahrenen Rastanlagen gezählt, bis der Lkw als LZP verbleibt. Bei der ersten Anlage (Echinger Gfild) im Streckenabschnitt können keine vorgelagerten Rastanlagenanfahrrten ermittelt werden, sodass der Wert bei 1 liegt. Je weiter die Anlagen im Verlauf des Streckenabschnitts liegen, desto höher fallen die Werte tendenziell aus. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass keine nennenswerte Reduktion des Parksuchverkehrs in den unterschiedlichen Phasen ermittelt werden konnte.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die ANPR-Daten in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Verhaltensänderungen bei den Lkw-Fahrenden aufzeigen konnten. Außerdem wurden mit 15 % der Lkw-Fahrenden, die mehr als eine Rastanlage anfahren, ein überschaubarer Anteil an potenziell beeinflussbaren Parksuchenden ermittelt. Einschränkend sei aber darauf hingewiesen, dass die Parksuche auf Autohöfen und generell abseits der Autobahn nicht erfasst werden konnte, da die ANPR-Kameras jeweils nur an den Messquerschnitten der PWCs sowie T+R-Anlagen angebracht waren. Außerdem konnte ein Suchvorgang nur erfasst werden, wenn Rastanlagen tatsächlich angefahren wurden. Dies bedeutet, dass z. B. das Verzögern und Abschätzen der Parkerfolgsaussichten eines Lkw-Fahrenden von der Hauptfahrbahn aus nicht als Parksuche registriert werden konnte.

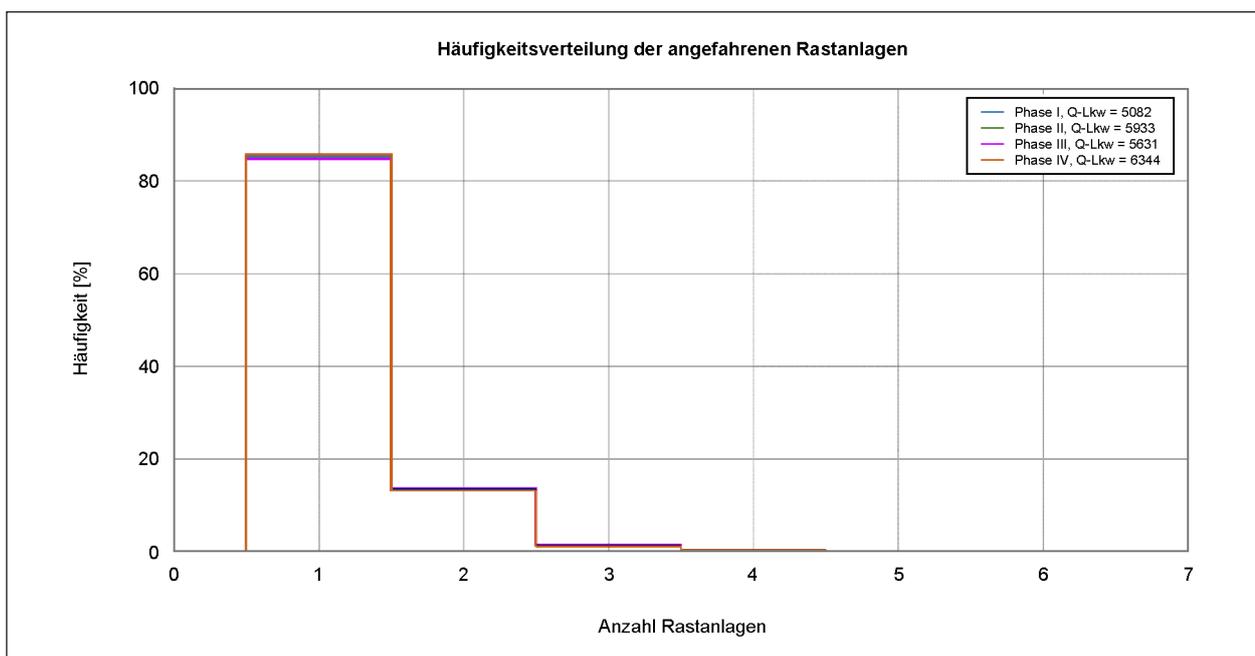


Bild 29: Häufigkeitsverteilung angefahrener Rastanlagen

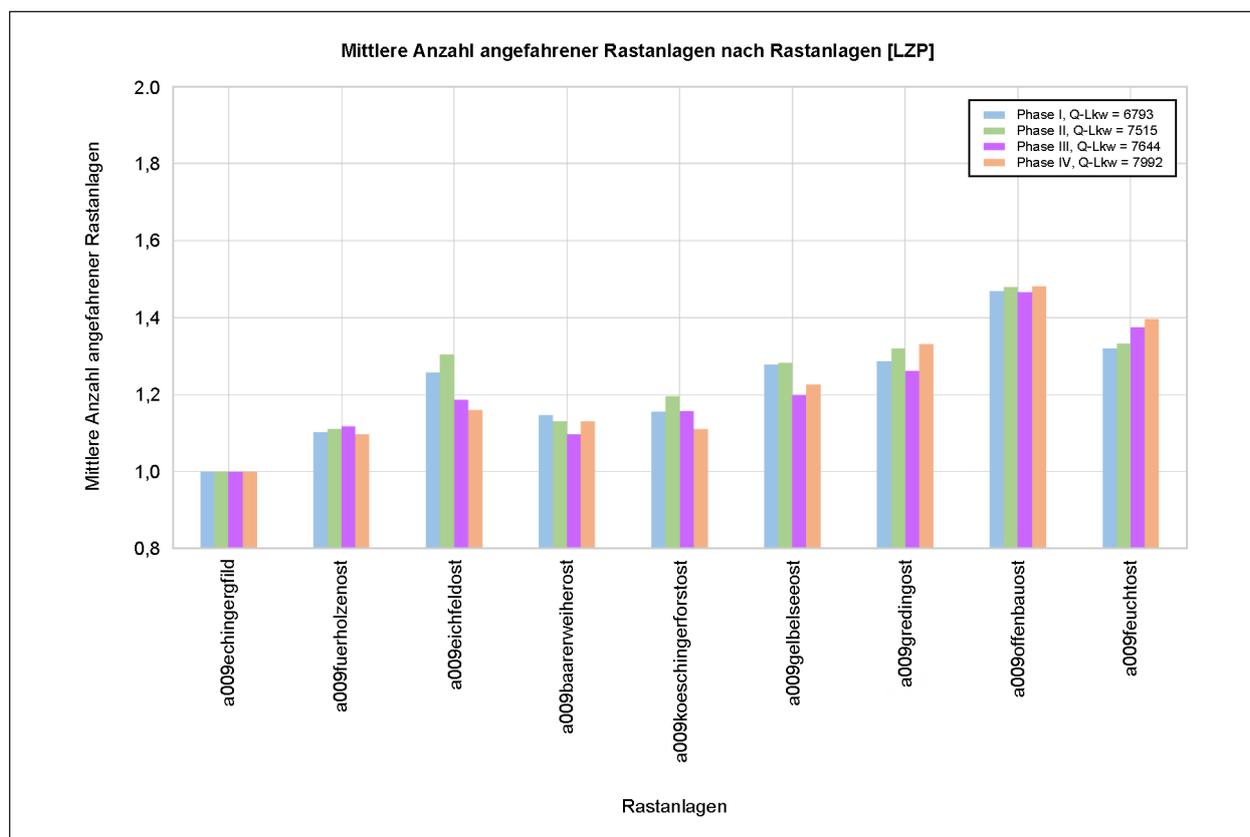


Bild 30: Mittlere Anzahl angefahrener Rastanlagen FR Nürnberg

Funktions- und Eignungsprüfungsverfahren

Durch die Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Bundeseinheitliches Lkw-Parkleitsystem (PLS) auf BAB“ wurden funktionale Kriterien für ein Parkplatzdetektionssystem mit flächenhafter Erfassung definiert. Aufbauend darauf wurde ein Funktions- und Eignungsprüfungsverfahren von Belegungsdetektionssystemen mit flächenhafter Erfassung entwickelt, mit dem eine einheitliche Grundlage für die Ausschreibungen von Parkplatzdetektionssystemen zur Verfügung steht.

Das entwickelte Vorgehen wurde überprüft, indem die beispielhafte Installation eines Flächendetektionssystems auf dem Testfeld PWC Gelbsee-West der Funktions- und Eignungsprüfung unterzogen wurde. Hierzu ist ein Testlauf zur Durchführung der Einzel Prüfsituationen (Prüfungsbestandteil C) und ein verkürzter Langzeittest (Prüfungsbestandteil D) durchgeführt worden. Der Testlauf hat die prinzipielle Durchführbarkeit und Praktikabilität des Verfahrens bestätigt. Es konnten darüber hinaus Erkenntnisse gewonnen werden, die zu einer Optimierung der Prüfungsabläufe geführt haben. Das Prüfungsverfahren wurde daraufhin angepasst und einige

Vorgaben für die Durchführung der Prüfungen konkretisiert. Die Handlungsempfehlungen zur Durchführung und Dokumentation der Prüfung sind in einer Prüfvorschrift zusammengestellt und notwendige Formulare erstellt worden. Mithilfe der erarbeiteten Prüfvorschrift für die Durchführung der Eignungsprüfung können qualifizierte Begutachter die Prüfung von Herstellersystemen im Testfeld PWC Gelbsee-West vornehmen. Als Ergebnis der Prüfungen stehen vergleichbare Eignungsnachweise für die unterschiedlichen Systeme verschiedener Hersteller zur Verfügung.

Darüber hinaus wurden Handlungsempfehlungen für die Abnahme von Systeminstallationen auf Rastanlagen zusammengestellt, welche bei der Projektumsetzung als Unterstützung von den Straßenbauverwaltungen genutzt werden können.

4.5.5 Bewertung und Ausblick

Das Lkw-Parkleitsystem war den Lkw-Fahrenden zum Zeitpunkt der Befragungen noch weitgehend unbekannt. So wussten nur etwa 14 % der Befragten, dass über die BayernInfo-App Parkplatzinformationen verfügbar sind. Das System und die Verfügbarkeit von Parkinformationen wurden überwiegend positiv bewertet. Es besteht hohes Potenzial an zukünftigen Nutzern – etwa zwei Drittel der Befragten würde BayernInfo zukünftig nutzen. Etwa die Hälfte der Befragten vermutet eine zukünftige Einsparung in der Parksuchzeit bei Nutzung der dynamischen Parkinformationen.

Die LED-Tafeln waren trotz der zum Zeitpunkt der Befragung erst kurzen zeitlichen Verfügbarkeit bereits über 90 % der Befragten bekannt. Die Verständlichkeit und Nutzbarkeit der dargestellten Informationen wurden positiv bewertet. Auch hier vermuten etwa die Hälfte der Befragten, dass sich damit zukünftig Parksuchzeit einsparen lässt. Mehr als 50 % der Befragten wünscht sich zukünftig eine Kombination aus Darstellung der Parkinformationen auf den LED-Tafeln und in Apps. Eine alleinige Nutzung der Apps wird von weniger als 5 % befürwortet.

60 % der befragten Lkw-Fahrenden haben dahingehend geantwortet, dass sie sich von den LED-Anzeigen bereits leiten lassen und weitere 20 % der befragten Lkw-Fahrenden gaben an, dass sie sich in Zukunft leiten lassen würden. Ob sich diese positiven Einschätzungen zum Lkw-Parkleitsystem tatsächlich auch im Verkehrsfluss widerspiegeln wird, konnte im Rahmen der Befragung aber nicht geklärt werden. Mittels der ANPR-Daten konnte keine signifikante Reduktion des Parksuchverkehrs in der Phase mit LED-Tafeln gegenüber dem Status-quo (ohne Belegungsinformation) festgestellt werden. Der Abgleich innerhalb der unterschiedlichen Phasen konnte die Anfangshypothese, dass der Parksuchverkehr abnimmt, je leichter Informationen zur aktuellen Belegung für die Lkw-Fahrenden zugänglich sind, nicht stützen. Auch die erhofften Verteilungseffekte hin zu Rastanlagen mit möglichen Kapazitätsreserven konnten sich nicht aus den Daten ableiten lassen, vor allem da keine Kapazitätsreserven auf diesem Abschnitt der A9 zur Verfügung stehen. Es zeigte sich jedoch eine Optimierung während der Befüllungsphase.

Die beobachteten Schwankungen liegen im Fehlerbereich und sind höchstwahrscheinlich auf Mess-

rauschen zurückzuführen. Jedoch sei anzumerken, dass die ANPR-Datenaufnahme im speziellen Untersuchungsfall Optimierungspotenzial aufgezeigt hat. Parksuchverkehr und Verteilungseffekte, die sich möglicherweise abseits der Autobahn bzw. unter Einbeziehung der Autohöfe ereignen, konnten in dieser Untersuchung nicht erfasst werden. Hierfür sind zusätzliche ANPR-Kameras an sämtlichen Anschlussstellen nötig. Inwieweit die Ergebnisse des betrachteten Streckenabschnitts zwischen München und Nürnberg auf einen flächendeckenderen Ausbauzustand von Lkw-Parkleitsystemen übertragbar sind, bleibt offen. Abschließend kann festgehalten werden, dass die Verknüpfung der beiden Untersuchungen zu einem deutlichen Erkenntnisgewinn bezüglich des Lkw-Parkverhaltens geführt hat. Allerdings wurden weitere Fragestellungen aufgeworfen, die mit den vorliegenden Messmethoden nicht abschließend geklärt werden können. Hierfür sind weiterführende Forschungsarbeiten nötig. Beispielsweise hat sich bei der Befragung gezeigt, dass zukünftig der Zeitpunkt Parkbeginn miterfasst werden sollte. Dies erlaubt feiner aufgelöste Auswertungen und Quervergleiche. Außerdem ist für aufbauende Untersuchungen des Parksuchverkehrs eine Vollerfassung anzustreben (d. h. Detektion an allen Ein- und Ausfahrtmöglichkeiten im Untersuchungsgebiet).

Für die Belegungsdetektion von Rastanlagen als Grundlage für eine Beeinflussung des Parksuchverkehrs mittels Lkw-Parkleitsystemen stehen mittlerweile verschiedene Detektionstechnologien zur Verfügung. Aufgrund des vorhandenen Stellplatzdefizits auf Rastanlagen an BAB wird eine Detektion der Belegungssituation von Abstellmöglichkeiten (sowohl auf verkehrsrechtlich nach StVO-ausgewiesenen Parkständen als auch auf Flächen, auf denen das Parken verkehrsrechtlich nicht zulässig ist, aber im Einzelfall geduldet wird) notwendig. Dabei spielen flächenhafte Detektionssysteme, die neben der Anzahl der belegten Parkstände auch eine räumliche Verteilung der noch verfügbaren Abstellmöglichkeiten zur Verfügung stellen können, eine immer größere Rolle. Die auf Grundlage der in der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Bundeseinheitliches Lkw-Parkleitsystem (PLS) auf BAB“ definierten funktionalen Kriterien⁴⁹ für Parkplatzdetektionssysteme mit flächenhafter Erfassung berücksichtigen diese Randbedingungen. Die erarbeiteten funktionalen Kriterien, die Prüfvorschrift zur Funktions- und Eignungsprüfung sowie die Handlungsempfehlungen zur Abnahme von Parkplatzdetektionssysteme-

men mit flächenhafter Erfassung wurden dem BMVI vorgelegt und sollen nach abschließender Prüfung als bundeseinheitliche Vorgehensweise bei der Lkw-Belegungsdetektion von Rastanlagen an Bundesfernstraßen eingeführt werden. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung ist noch keine Veröffentlichung erfolgt.

4.6 Intelligente Brücke

4.6.1 Ausgangssituation

Die Erhaltung von Brückenbauwerken ist eine der großen infrastrukturseitigen Herausforderungen im Bundesfernstraßennetz, insbesondere vor dem Hinblick steigender Verkehrslasten, neuer Qualitätsvorschriften sowie einer kontinuierlich alternden Bausubstanz. Ein Großteil der ungefähr 40.000⁵¹ Brückenbauwerke im Bundesfernstraßennetz, welche je nach Bauart und Brückenquerschnitt auf etwa 51.360 Brücken-Teilbauwerke untergliedert werden, sind zwischen 1965 und 1985 erbaut worden⁵². Die nach den Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit kontinuierlich ermittelte Zustandsbewertung der Bauwerke, weist für 11,6 % einen „nicht ausreichenden beziehungsweise ungenügenden Bauwerkszustand“ aus, Bild 31⁵³.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass sich die Planungs- und Konstruktionsvorschriften basierend auf steigenden Belastungen seit dem Bau geändert haben. Die angepassten Vorschriften zeigen klar die resultierenden Defizite hinsichtlich der Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der älteren Bauwerke auf, welche mit einer verminderten Restnutzungsdauer einhergehen. Entscheidenden Einfluss auf die Restnutzungsdauer der Brückenbauwerke haben die steigenden Verkehrslasten, welche sich in einem verstärkten Verkehrsfluss und in einer höheren spezifischen Gewichtsbelastung widerspiegeln. Insbesondere das durchschnittlich höhere Gewicht heutiger Fahrzeuge im Vergleich zum Gewicht der

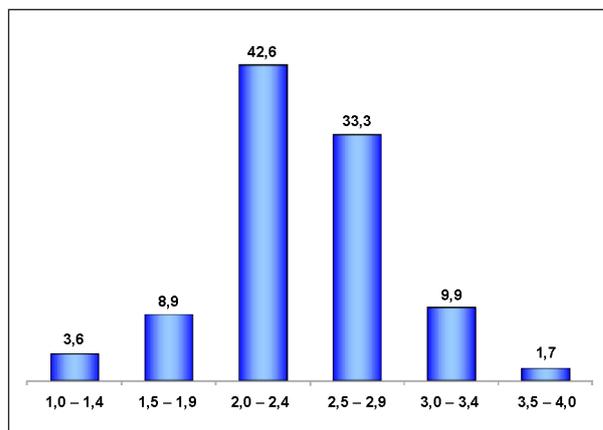


Bild 31: Zustandsnoten nach Brückenflächen der Teilbauwerke in Prozent, Stand 01.03.2020

Fahrzeuge während der Errichtung der Brückenbauwerke hat einen entscheidenden Einfluss auf die Restnutzungsdauer.

Um die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Funktionsfähigkeit der Brückenbauwerke zu gewährleisten, werden in Deutschland periodische Bauwerksprüfungen gemäß DIN 1076 durchgeführt. Das Erhaltungsmanagement erfolgt schadensbasiert und reaktiv. Dies kann unter Umständen dazu führen, dass bei einer Prüfung ein Schaden bemerkt wird, welcher umgehend behoben werden muss, um die Sicherheit des Verkehrs zu gewährleisten. Oftmals bedürfen jedoch entsprechende Maßnahmen eines längeren Vorlaufs, was letztlich bis zur Behebung des Schadens zu einer Einschränkung des Verkehrs führen kann. Zudem wird durch die in einigen Fällen späte Erkennung von Schäden eine effektive Budget- und Kapazitätsplanung zum Betrieb der Brückenbauwerke deutlich erschwert⁵⁴.

Die aufgezeigten Umstände des Bundesfernstraßennetzes erfordern ein Erhaltungsmanagement, welches die Reserven eines Bauwerks weitgehend ausschöpft und zugleich jeden Ausfall vermeidet, um seine Verfügbarkeit bestmöglich sicherzustellen. Dazu wurde 2011 in der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) der Forschungsschwerpunkt „In-

⁵¹ Homepage, https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Ingenieurbau/Fachthemen/brueckenstatistik/bruecken_hidden_node.html

⁵² Homepage, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/bruecken-zahlen-daten-fakten.html>, (Abruf 17.07.2020)

⁵³ Homepage, https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf?__blob=publicationFile&v=14, (Abruf 17.07.2020)

⁵⁴ Aus Beitrag „Intelligente Brücke“ von HAARDT, P.; Fachtagung Bauwerksdiagnose 2018

telligente Brücke“ ins Leben gerufen. Unter dem Begriff Intelligente Brücke wird ein modulares System verstanden, anhand dessen relevante Bauwerksreaktionen durch geeignete Sensoren über die gesamte Nutzungsdauer des Bauwerks erfasst, im Hinblick auf Einwirkungen und Widerstandsveränderungen in nahezu Echtzeit analysiert und Aussagen hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Restnutzungsdauer des Bauwerks und seiner Bauteile abgeleitet werden können. Hiermit können relevante Informationen für ein zukunftsfähiges, prädiktives (vorausschauendes) Erhaltungsmanagement zur Verfügung gestellt werden. Das System wurde ursprünglich für den Neubau konzipiert, vor allem für hochbelastete und für das Bundesfernstraßennetz relevante Bauwerke. Eine Übertragung auf Bestandsbauwerke mit einer ausreichend hohen Restnutzungsdauer ist möglich. Im Wesentlichen besteht die Intelligente Brücke aus den Komponenten Sensorik, Datenanalyse und -bewertung sowie einem geeigneten Datenmanagement, Bild 32⁵⁴.

Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts erfolgten bereits zahlreiche Konzeptionen, Machbarkeitsstu-

dien und Entwicklungen. Darüber hinaus laufen derzeit verschiedene Pilotstudien wie die „Intelligente Brücke – duraBAST“ und die „Intelligente Brücke im digitalen Testfeld Autobahn“ sowie BAST-Forschungsprojekte des Förderprogramms mFund „Online Sicherheitsmanagement (OSIMAB)“ und „Brücken Asset Management (BrAssMan)“⁵⁵.

4.6.2 Zielsetzung

Innerhalb des Teilbereichs „Intelligente Infrastruktur“ des digitalen Testfelds Autobahn erfolgt die Durchführung der Maßnahme „Intelligente Brücke“. Hierbei handelt es sich um die Realisierung, Demonstration und Weiterentwicklung von wichtigen, im Rahmen des BAST-Forschungsschwerpunkts „Intelligente Brücke“ entwickelten Teilaspekten an

⁵⁵ Aus Beitrag „Infrastruktur im Wandel – Die Intelligente Brücke“ von DABRINGHAUS, S.; HAARDT, P., 6. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, 2019

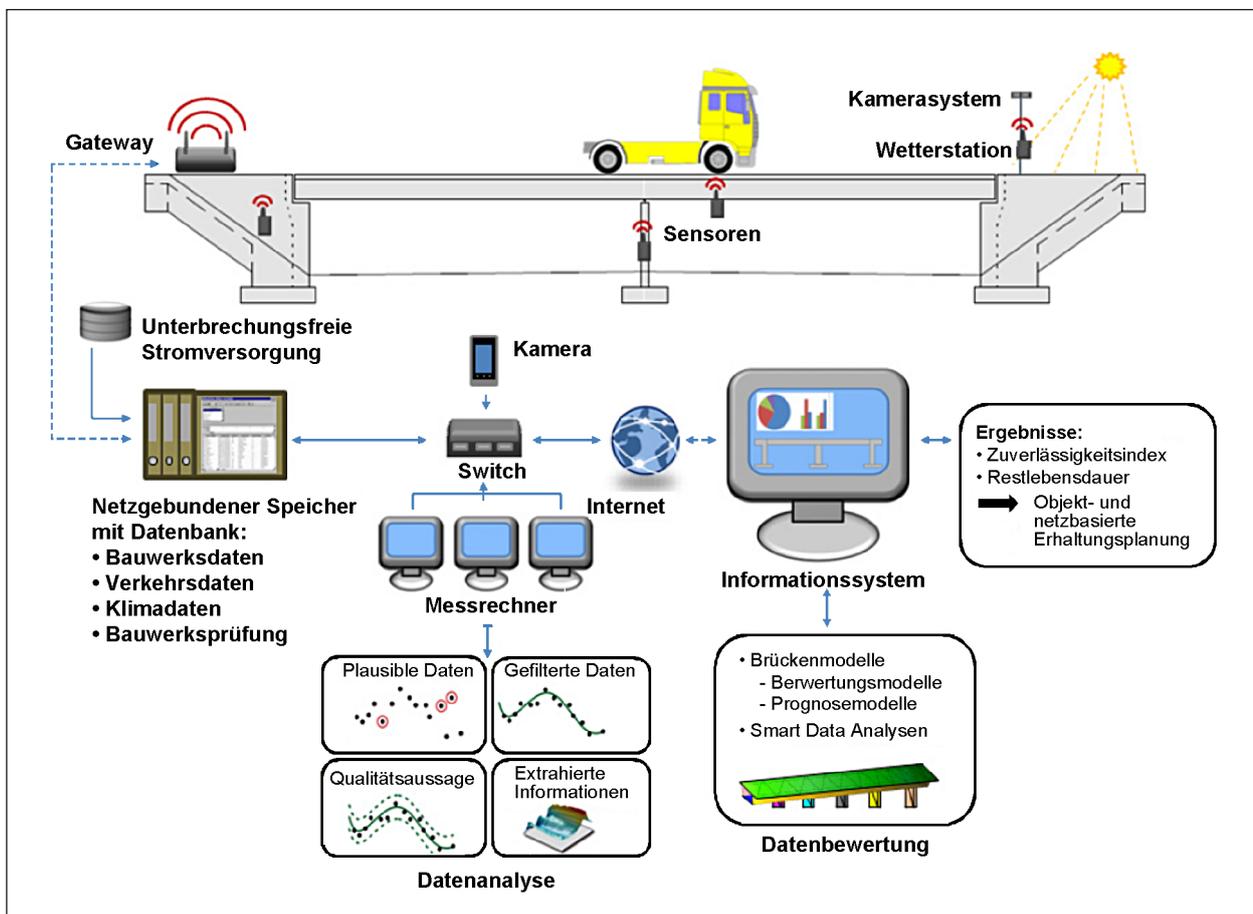


Bild 32: Schema der intelligenten Brücke, Quelle: BAST

einem Brückenneubau im Autobahnkreuz Nürnberg (BAB A3/A9). Das 2016 errichtete Ersatzbauwerk ist eine Spannbeton-Hohlkastenbrücke, die mit einem Bauwerksinformationssystem, instrumentierten Lagern und Fahrbahnübergang und einem drahtlosen Sensornetzwerk ausgestattet ist. Ziel der Maßnahme ist es, die Funktionsfähigkeit und Praxistauglichkeit der installierten Systeme an einem realen Bauwerk unter natürlichen Bedingungen über einen Untersuchungszeitraum von 5 Jahren zu demonstrieren. Ferner sollen Auswertestrategien für die erfassten Messdaten entwickelt, ein Datenmanagement erarbeitet und eine Ergebnisdarstellung im Rahmen einer Webdarstellung für den Bauwerkseigentümer konzipiert und umgesetzt werden.

Neben der BAST sind folgende Institutionen an der Maßnahme beteiligt: das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr, die Niederlassung Nordbayern der Autobahn GmbH, das Ingenieurbüro Prof. Dr. U. Freundt Weimar (IBF), die Fa. Maurer SE und das Institut für Telematik der Universität zu Lübeck⁵⁶.

4.6.3 Durchführung

Die Umsetzung der Maßnahme „Intelligente Brücke“ erfolgte im Rahmen des Neubaus der Brücke BW 402e, welche eine Spannbetonbrücke aus dem Jahr 1970 ersetzt. Das Brückenbauwerk befindet sich am Autobahnkreuz Nürnberg und überführt die A3 über die zweibahnige Autobahntangente Frankfurt-München (A9) (siehe Bild 33⁵⁷). Sie ist 156 m lang, 12 m breit und besitzt eine Gesamtfläche von ca. 2.445 m². An der Brücke wurden bis Sommer 2016 vier Messsysteme (Road Traffic Management System, instrumentierter Fahrbahnübergang, instrumentierte Lager und drahtloses Sensornetzwerk) installiert und im Herbst 2016 erfolgte deren Kalibrierung. Die Arbeiten am Brückenbauwerk und die Streckenabschlüsse wurden im September 2016



Bild 33: Altes und neues Brückenbauwerk am Autobahnkreuz Nürnberg; Quelle: Aus Fachzeitschrift Brückenbau; Artikel „Ein Meilenstein in der Ära der digitalen Infrastruktur, Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ von ENDRES, B.; BUTZ, C (2017)

abgeschlossen und anschließend erfolgte die Freigabe der Brücke für den Verkehr im Oktober 2016. Die Kosten der Gesamtmaßnahme betragen ca. 15 Mio. €⁵⁶.

Im Rahmen dieser Pilotstudie liegt der Fokus auf der Erprobung, Bewertung und Weiterentwicklung verschiedener Teilentwicklungen der Intelligenten Brücke, die Ausstattung des Bauwerks entspricht daher nicht der einer Intelligenten Brücke. Die eingesetzten Systeme messen zum Teil redundante Daten, welche zur Optimierung der Auswertequalität der einzelnen Messsysteme genutzt werden können. Die im Folgenden dargestellten Messsysteme wurden im Rahmen des Innovationsprogramms „Straße im 21. Jahrhunderts“ des BMVI entwickelt:

- Road Traffic Management System (RTMS)
Das hier eingesetzte Road Traffic Management System wurde vom Ingenieurbüro Prof. Dr. U. Freundt entwickelt⁵⁸ und für diese Maßnahme erweitert. Die im angepassten System verwendeten Sensoren sind Folien-Dehnungsmessstreifen, induktive Wegsensoren, Temperatursensoren und Beschleunigungssensoren. Aus den erfassten Messdaten werden u. a. Informationen zum aktuellen Verkehr und zur Ermü-

⁵⁶ Aus Fachzeitschrift Bautechnik; Artikel „Die Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ von HAARDT, P.; DABRINGHAUS, S.; FRIEBEL, W. D.; BÄUMLER, T.; BAYERSTORFER, R.; FREUNDT, U. (2017)

⁵⁷ Aus Fachzeitschrift Brückenbau; Artikel „Ein Meilenstein in der Ära der digitalen Infrastruktur, Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ von ENDRES, B.; BUTZ, C (2017)

⁵⁸ Schlussbericht herausgegeben von der Bundesanstalt für Straßenwesen: Roadtraffic Management System, Heft B 100, FREUNDT, U.; VOGT, R.; BÖNING, S.; PIERSON, C.; EHRLE, P. (2014)

dungsbeanspruchung abgeleitet (weitere Details in den Erläuterungen zum Projekt FE 15.0631 „Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten“ (Kapitel 4.6.3))⁵⁹.

- Instrumentierter Fahrbahnübergang

Dehnfugen sind Bauteile einer Brückenkonstruktion, die zwischen der Brücke und der angrenzenden Fahrbahn eingesetzt werden, um die Brückenbewegungen aufgrund von Temperatur und Verkehrslasten auszugleichen. Sie gehören zu den sogenannten Verschleißteilen einer Brücke, weil sie hohen dynamischen Effekten ausgesetzt sind, die aus der direkten Überfahrt von Fahrzeugen resultieren. Im Rahmen dieser Maßnahme wurde ein instrumentierter Fahrbahnübergang realisiert, die eingesetzten Sensoren sind Kraftsensoren, eine Kraftmessdose, Seilzugsensoren und Beschleunigungssensoren⁵⁹. Das zugehörige Vorgängerprojekt „IFuLa“ (FE 88.110-112), in dem wesentliche Grundlagen für den instrumentierten Fahrbahnübergang geschaffen wurden, wurde von der Fa. Maurer bearbeitet.

Anhand der erfassten Messdaten können Daten des aktuellen Verkehrs abgeleitet werden. Darüber hinaus kann eine Eigenüberwachung des FÜ erfolgen durch Vergleich abgeleiteter Parameter wie einwirkende Lasten, Spaltweite oder Eigenfrequenz der Lamellen mit Bemessungswerten und bauteilbedingten Grenzwerten⁵⁹.

- Instrumentierte Lager

Brückenlager sind wichtige Bauteile einer Brücke, da sie Verschiebungen, Drehungen und definierte Lastübertragungen zwischen Brückenkomponenten ermöglichen. Übliche Verschiebungen von Brückenkonstruktionen sind auf Effekte wie Verkehr und Temperatur zurückzuführen. Zulässige Verschiebungen, Verdrehungen und Lastübertragungen des Lagers für bestimmte Richtungen können durch die Wahl des Lagertyps realisiert werden. Bei dieser Maßnahme wurden zwei Lager mit Sensorik ausgestattet. Die sensorische Ausstattung der beiden Lager

beinhaltet Drucksensoren, Abstandssensoren und einen induktiven Wegsensor⁵⁹. Ebenfalls wurden im Projekt „IFuLa“ (FE 88.110-112) Grundlagen für die Instrumentierung von Lagern entwickelt.

Anhand der Messdaten können Informationen hinsichtlich der Lagerbelastung, der Lagerdrehung sowie des Lagerweges und Gleitspalts abgeleitet werden. Eine Eigenüberwachung der Lager erfolgt durch Vergleich abgeleiteter Parameter mit Bemessungswerten und bauteilbedingten Grenzwerten⁵⁹. Bild 34 zeigt ein Foto des instrumentierten Lagers der Intelligenten Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn und Bild 35 die zugehörige Modellzeichnung.



Bild 34: Instrumentiertes Lager; Quelle: Schlussbericht „Digitales Testfeld Autobahn – Intelligente Brücke – Datenerfassungsstrategien und Datenanalyse für intelligente Kalottengleittlager (BUTZ, C. (2021))“

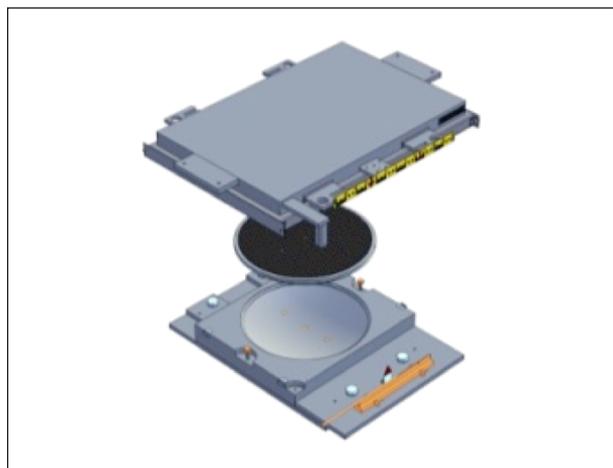


Bild 35: Sensorknoten des Sensornetz; Quelle: Fachzeitschrift Brückenbau; Artikel „Ein Meilenstein in der Ära der digitalen Infrastruktur, Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ von ENDRES, B.; BUTZ, C. (2017)

⁵⁹ Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, First bridge with aspects of the „Smart Bridge“ released for traffic, DABRINGHAUS, S., 2018.

- Drahtloses Sensornetzwerk

Die Brücke ist mit einem drahtlosen Sensornetz ausgestattet, welches die erfassten Daten zur weiteren Verarbeitung an einen Netzwerkspeicher weiterleitet. Große Entfernungen zwischen den Sensoren werden durch Repeater überbrückt. Aufgrund des hohen Energieverbrauchs bei Fernübertragungen wurde ein Schlaf-Wach-System entwickelt, bei dem Energie nur während des Datenaustauschs signifikant verbraucht wird. Ein Gateway ist ein spezieller Sensorknoten, der eine Verbindung zwischen dem Sensornetzwerk und dem an das Netzwerk angeschlossenen Speicher gewährleistet. In dem Vorgängerprojekt iBAST (FE 88.0122) wurde das drahtlose Sensornetz für Brückenbauwerke konzeptionell entwickelt. In diesem Rahmen werden verschiedene Sensoren einer Wetterstation, Temperatursensoren, verschiedene Wegsensoren mit unterschiedlichen Messverfahren und ein Neigungssensor verwendet⁵⁹.

Insgesamt sind im Rahmen der Maßnahme „Intelligente Brücke“ vier Forschungsprojekte durchgeführt worden. Die Projekte, siehe Tabelle 5, wurden durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Rahmen des Ressortforschungsprogramms des BMVI beauftragt. Grundlage für die Umsetzung der Projekte sind die zuvor vorgestellten Messsysteme.

Projekt FE 15.0615 „Untersuchungsprogramm“

Ziel des fünfjährigen Untersuchungsprogramms ist es, die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems, bestehend aus einzelnen im Rahmen des BASt-Forschungsschwerpunkt „Intelligente Brücke“ entwickelten und am Bauwerk BW 402e implementierten Bausteinen, sicherzustellen und im Hinblick auf Anwendbarkeit und Dauerhaftigkeit zu analysieren. Es erfolgt eine jährliche Wartung und ggf. Instandsetzung der einzelnen Messsysteme der Intelligenten Brücke. Darüber hinaus wird ein geeignetes Daten-

management für den gesamten Datenlebenszyklus der Maßnahme entwickelt. Die erzielten Ergebnisse der einzelnen Messsysteme werden geeignet aufbereitet und in einer Webanwendung angezeigt⁵⁹.

Projekt FE 15.0631 „Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten“

Die „Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ ist sowohl mit drahtgebundenen Sensoren als auch mit einem drahtlosen Sensornetzwerk ausgestattet. Die Messfrequenzen der einzelnen Sensoren variieren zwischen 1 Hz und 2.500 Hz. Im Rahmen dieses Projektes werden Zeitsynchronisationsverfahren entwickelt, um Messdaten mit unterschiedlichen Messfrequenzen gemeinsam analysieren zu können. Datenauswertestrategien zur Ermittlung von Informationen hinsichtlich des aktuellen Verkehrs (DTV-SV⁶⁰, Fahrzeugzusammensetzung, Achsabstände, Achslasten, Gesamtgewichte der Fahrzeuge und Fahrzeuggeschwindigkeiten), des Auslastungsgrads infolge statischer Verkehrslast, der Ermüdungsbeanspruchung, des globalen, zeitlichen Steifigkeitsverlaufs der Brücke und der Überwachung des Spannkraftverlaufs der externen Spannglieder werden entwickelt. Ferner wird ein Konzept zur visuellen Darstellung der Ergebnisse in einer Webanwendung erstellt und umgesetzt⁵⁹.

Projekt FE 15.0632 „Datenerfassungsstrategien und Datenanalyse für intelligente Kalottengleitlager“

Ziel dieses Projekts ist es, Strategien für die Datenerfassung und die automatisierte Verarbeitung für

⁶⁰ Durchschnittliche Tägliche Verkehrsmenge des Schwerverkehrs (nur Lkw, Lastzüge und Busse)

#	Projektnummer	Name	Projektstart	Projektende
1	FE 15.0615/2015/ARB	Untersuchungsprogramm	01.01.2017	31.12.2021
2	FE 15.0631/2016/LRB	Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten	01.01.2017	31.12.2020
3	FE 15.0632/2016/LRB	Datenerfassungsstrategien und Datenanalyse für intelligente Kalottengleitlager	01.01.2017	30.09.2019
4	FE 15.0644/2017/LRB	Messtechnische Erfassung von Verkehrsdaten auf der Basis von instrumentierten Fahrbahnübergängen	01.01.2018	30.09.2020

Tab. 5: Übersicht über die Forschungsprojekte der Maßnahme Intelligente Brücke

die instrumentierten Lager zu entwickeln, um die Lagerreaktionen in Hinblick auf Umwelteinflüsse und dynamische Eigenschaften der Brücke auszuwerten sowie die Genauigkeit der Kenngrößen in Bezug auf den Standort zu ermitteln, zu bewerten und in quasi-stationäre, klimatische und verkehrsinduzierte Anteile aufzuteilen. Die erfassten und automatisiert analysierten Daten sollen so aufbereitet werden, dass sie in Brückenmodelle einbezogen werden können. Grenzwerte für erfasste oder abgeleitete Parameter sollen in diesem Projekt festgelegt werden. Ferner soll ein Austausch von den am Lager erhobenen Daten des RTMS und dem Messsystem „instrumentiertes Lager“ zur Verbesserung der Datenqualität erfolgen. Darüber hinaus soll ein Konzept zur Qualitätssicherung entwickelt werden, das auch die Kalibrierung der Lager umfasst. Dies soll zuverlässige Daten über eine lange Nutzungsdauer gewährleisten. Zur Bestimmung der Genauigkeit der Lastmessung werden die gemessenen verkehrsbedingten Lagereinflüsse durch Simulation des realen Verkehrs mit einem FEM-Simulationsmodell überprüft⁵⁹.

Projekt FE 15.0644 „Messtechnische Erfassung von Verkehrsdaten auf der Basis von instrumentierten Fahrbahnübergängen“

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung von Strategien für die Erfassung und automatisierte Verarbeitung der Messdaten des instrumentierten Fahrbahnübergangs. Zunächst sollen kontrollierte Überfahrten verschiedener Lkw-Typen unter Berücksichtigung von stochastischen Radlastschwankungen durchgeführt und diese hinsichtlich gemessener dynamischer und statischer Achslasten ausgewertet werden. Darüber hinaus sollen automatisierte Auswertelgorithmen zur Verkehrslasterfassung und zur Zustandsüberwachung des Fahrbahnübergangs entwickelt werden. Dabei sollen die Messdaten im Hinblick auf Umwelteinflüsse ausgewertet werden und diese hinsichtlich der Genauigkeit der ermittelten Verkehrsdaten quantifiziert werden. Ferner soll ein Konzept zur Qualitätssicherung der Messdaten erarbeitet werden. Die erfassten und automatisiert analysierten Daten sollen so aufbereitet werden, dass sie über eine Datenbank in Brückenmodelle einbezogen werden können⁵⁹.

4.6.4 Ergebnis

Die Maßnahme „Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ wird planmäßig Ende 2021 ab-

geschlossen. Eine vollständige Darstellung der Ergebnisse und umfängliche Bewertung der Maßnahme werden im Abschlussbericht „Intelligente Brücke – Koordination und Weiterentwicklung: Reallabor Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“⁶¹ dargelegt werden. Auf Basis des jetzigen Kenntnisstandes können die folgenden allgemeinen Ergebnisse festgehalten werden: Der derzeitige Projektstand der vier Projekte spiegelt eine erfolgreiche Maßnahme wider. Im Rahmen der Projekte konnten bislang für jedes Messsystem Strategien für die Datenerfassung und Auswertung erarbeitet und eine automatisierte Datenanalyse implementiert werden. Die Messsysteme werden jährlich gewartet und ggf. instandgesetzt. Insgesamt laufen die Systeme stabil. Ein Austausch von Messsystemen oder einzelnen Komponenten ist prinzipiell möglich. Zeitweise Einschränkungen der Internetverfügbarkeit verursachten Datenverluste beim drahtlosen Sensornetz. Systemausfälle bei den anderen Messsystemen führten ebenfalls anfangs zu Datenverlusten. Zukünftigen Ausfällen wurde im Laufe des bisherigen Untersuchungszeitraums durch entsprechende Maßnahmen vorgebeugt.

Projekt FE 15.0631 „Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten“

Im Rahmen der Bearbeitung wurden vorhandene Algorithmen und Methoden angewendet und weiterentwickelt, um aus den Messdaten des RTMS sowie Sensoren am Lager und Fahrbahnübergang sowohl die Erkennung von überfahrenden Fahrzeugen zu realisieren als auch Kennwerte des Status des Bauwerkes zu ermitteln. Dazu zählen der Auslastungsgrad infolge statischer Verkehrslast, der Ermüdungsbeanspruchung, der globale, zeitliche Steifigkeitsverlauf der Brücke und die Überwachung des Spannkraftverlaufs der externen Spannglieder. Für die gemeinsame Auswertung von Daten verschiedener Systeme wurden geeignete Lösungen für die zeitliche Synchronisation von Messdaten aus verschiedenen, heterogenen Systemen entwickelt. Darüber hinaus wurde das drahtlose Sensornetz erfolgreich erprobt und ein Sensorknoten zur

⁶¹ Schlussbericht F1100.2116009 „Intelligente Brücke – Koordination und Weiterentwicklung: Reallabor Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ (WINDMANN, S., Bundesanstalt für Straßenwesen, planmäßiger Abschluss 01/2022)

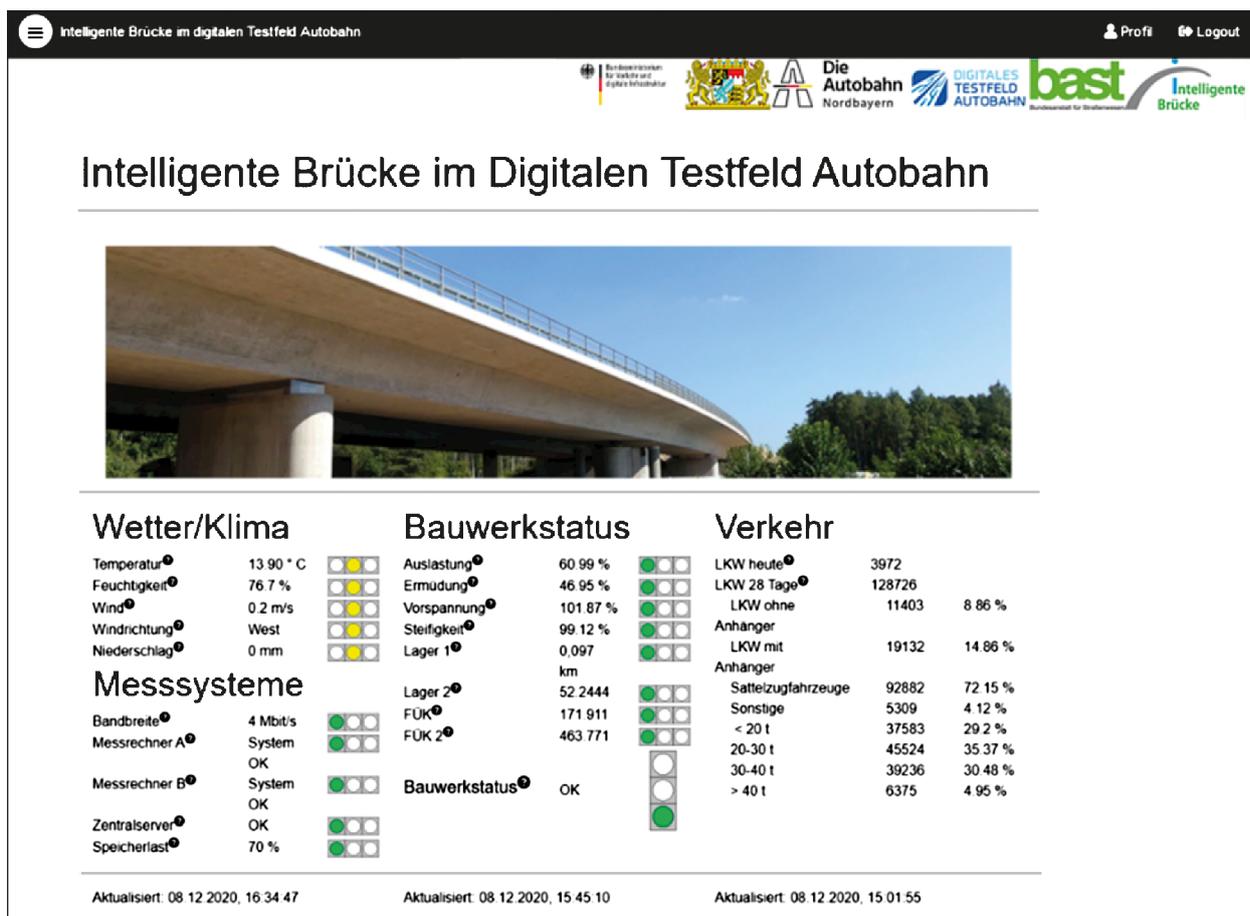


Bild 36: Startseite der Webanwendung „Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“, Quelle: Schlussbericht „Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten“

Messung von Neigungen konzipiert. Um eine bestmögliche Nutzung der erfassten und aufbereiteten Daten zu erzielen, wurde ein geeignetes Datenmanagementkonzept für diesen Anwendungsfall aufgestellt und umgesetzt. Eine Webanwendung zur Ergebnispublikation wurde entwickelt und die Ergebnisse der einzelnen Messsysteme werden dort automatisiert kontinuierlich eingepflegt, siehe Bild 36⁶².

Projekt FE 15.0632 „Datenerfassungsstrategien und Datenanalyse für intelligente Kalottengleitlager“

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden plausible Datenauswertestrategien für die erfassten Messdaten an den instrumentierten Kalottengleitlagern und Algorithmen für eine automatisierte Auswertung entwickelt. Zur Eigenüberwachung der Lagerfunktionalität und des Lagerzustands werden Tagesextremwerte der Verschiebung in der ebenen Gleitfläche, der Verdrehung und des Drucks sowie akkumulierte Gleitwege und der Gleitspalt kontinuierlich ausgegeben. Die Überwachung der Brückeneigenschaften erfolgt durch die Ermittlung der ersten beiden Eigenfrequenzen gewonnen aus Messungen der Abstandssensoren sowie die Lagerkraft infolge ständiger Einwirkungen. Entsprechende Grenzwerte für die einzelnen Parameter wurden definiert. Die Verkehrseinwirkung wird anhand der verkehrsinduzierten Lagerkräfte überwacht. Hier wurde eine Genauigkeit von $\pm 7\%$ des Fahrzeuggesamtgewichts erzielt. Darüber hinaus wurden

⁶² Schlussbericht FE 15.0631/2016/LRB „Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten“ „Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten“ (FREUNDT, U.; BÖNING, S.; Ingenieurbüro Prof. Dr. FREUNDT, U.; FISCHER, S.; LAU, F.; Universität zu Lübeck, Institut für Telematik)

Hinweise für zukünftige Lagerüberwachungen herausgearbeitet. Diese können dem Schlussbericht des Projekts entnommen werden.

In der zweijährigen Untersuchungszeit sind vier von sechs Drucksensoren ausgefallen. Der Ausfall mehrerer Drucksensoren in einem relativ kurzen Zeitraum deutet darauf hin, dass entweder die Drucksensoren aus einer fehlerhaften Charge stammen oder es sich um – für diese Belastungsart – nicht geeignete Drucksensoren handelt. Unter Berücksichtigung der Ursache sollte zukünftig ggf. das Sensorkonzept entsprechend modifiziert werden. Die Forschungsergebnisse zeigen ferner, dass ein Überwachungszeitraum von zwei Jahren nicht ausreicht, um die aus den Messdaten ermittelten Kennwerte mit Bemessungswerten aussagekräftig zu vergleichen. Die Laufzeit des Untersuchungsprogramms (FE15.0615), welches auch den weiteren Betrieb des Messsystems Kalottengleitlager sowie die Auswertung der Daten beinhaltet, beträgt fünf Jahre. Der Zeitraum von fünf Jahren macht eine statistisch verlässliche Auswertung zumindest möglich⁶³.

Projekt FE 15.0644 „Messtechnische Erfassung von Verkehrsdaten auf der Basis von instrumentierten Fahrbahnübergängen“

Im Rahmen des Projektes wurden aus den erfassten Messgrößen vollautomatisch Geschwindigkeit, Gesamtgewicht und Fahrzeugtyp bestimmt sowie kontinuierlich der Zustand der mechanischen und elektronischen Systemkomponenten bewertet. Grundlage für die entwickelten Auswertelgorithmen bildeten eine umfangreiche Datenbasis aus kontrollierten Messfahrten mit genau bestimmten Fahrzeugparametern. Die dynamische Interaktion des Fahrbahnüberganges mit den überfahrenden Fahrzeugen wurde unterstützend durch Mehrkörpersimulationen analysiert. Auf dieser Grundlage konnte ein Kompensationsalgorithmus erarbeitet werden, um den durch dynamische Effekte bestimmten Messfehler in der Achslastbestimmung zu reduzieren. Einflüsse von Umweltbedingungen auf die Messergebnisse wurden aus der Analyse von

Langzeitdaten und dem Vergleich mit Daten der Projektpartner bestimmt. Als Ergebnis daraus wurden Plausibilitätskontrollen für die Messergebnisse abgeleitet. Die gewonnenen Ergebnisdaten werden zur Langzeitarchivierung und übersichtlichen Darstellung in der entwickelten Webanwendung abgelegt.⁶⁴

4.6.5 Bewertung und Ausblick

Erst mit Abschluss der gesamten Maßnahme „Intelligente Brücke“ kann eine vollumfängliche Bewertung erfolgen. Ausgehend von den bereits erzielten Ergebnissen kann festgehalten werden, dass die mit dieser Maßnahme verbundenen Ziele, wie die Demonstration der Funktionsfähigkeit und Praxistauglichkeit der installierten Systeme an einem realen Bauwerk unter Realbedingungen, erreicht worden sind. Es wurden erfolgreich Datenauswertestrategien für die einzelnen Messsysteme, automatisierte Algorithmen, ein geeignetes Datenmanagement und eine Webanwendung zur Visualisierung der Ergebnisse in nahezu Echtzeit entwickelt.

Primärer Nutzen des Konzepts „Intelligente Brücke“ besteht im Zugewinn an Objektivität und Sicherheit. Sicherheitsrelevante Veränderungen von bedeutenden Bauteilen sowie die des gesamten Bauwerks werden erkannt, indem alle relevanten Informationen kurzfristig verfügbar gemacht werden können. Darüber hinaus ermöglicht die Eigenüberwachung relevanter Bauteile eine Funktionskontrolle und Qualitätssicherung. Durch die frühzeitige Erkennung sich entwickelnder Schäden können Erhaltungsmaßnahmen langfristig geplant werden. Auf der Grundlage von Zuverlässigkeitsbewertungen ist es möglich, die Verfügbarkeit von Brückenbauwerken langfristig zu sichern.

Neben dem Nutzen einer Intelligenten Brücke sind auch ihre Kosten zu berücksichtigen. Die entstandenen Kosten für diese Maßnahme können jedoch nicht ohne Weiteres als Maßstab für die Realisierung von „Intelligenten Brücken“ herangezogen werden. Wie bereits oben erwähnt, steht hierbei die Demonstration verschiedener Messsysteme im Vor-

⁶³ FE 15.0632/2016/LRB, Schlussbericht „Datenerfassungsstrategien und Datenanalyse für intelligente Kalottengleitlager“ (BUTZ, C., Maurer SE)

⁶⁴ FE 15.0644/2017/LRB, Schlussbericht „Messtechnische Erfassung von Verkehrsdaten auf der Basis von instrumentierten Fahrbahnübergängen“ (RILL, D., Maurer SE)

dergrund und weniger die effiziente Ausstattung des Bauwerks mit Sensorik. Allgemein setzten sich die Kosten aus Sach- und Personalkosten zusammen. Zu den Sachkosten zählen Anschaffungskosten für Sensorik und IT-Komponenten sowie Betriebskosten. Die Personalkosten setzen sich aus Kosten für die Betreuung von Messsystemen inklusive Bewertung der Ergebnisse und des Datenmanagements zusammen. Derzeit sind die Gesamtkosten der Intelligenen Brücke, ausgenommen der regulären Baukosten, relativ hoch. Trotz zunehmend sinkender Anschaffungskosten für Sensorik und IT-Komponenten ist zu berücksichtigen, dass die Lebensdauer von Sensorik meist weitaus geringer ist als die des Bauwerks und somit ein regelmäßiger Austausch von Sensorik innerhalb der Nutzungsdauer des Bauwerks erforderlich sein kann. Aus heutiger Sicht ist eine flächendeckende Umsetzung der Intelligenen Brücke nicht wirtschaftlich. Sie ist aufgrund ihres Nutzens vielmehr für die Realisierung sowohl an neuen Brücken sowie an Bestandsbauwerken mit ausreichend hoher Restnutzungsdauer vorgesehen, die besonders relevant für das Bundesfernstraßennetz sind und/oder repräsentativ für dieses sind. Ggf. können Erkenntnisse aus einem Bauwerk auf andere Bauwerke übertragen werden⁶⁵.

Bei der Maßnahme „Intelligente Brücke“ handelt es sich um den ersten Neubau in Deutschland, der in diesem Maße mit Sensorik ausgestattet wurde. Aufgrund der sich ergebenden Nullmessung können anhand der durch Sensorik erfassten Einwirkungen auf die Brücke und Brückenreaktionen umfassende Aussagen zum zeitabhängigen Tragverhalten der Brücke sowie zum Zustand überwachter Bauteile abgeleitet werden⁶⁶. Da sich Schäden an Bauwerken und ihren Bauteilen, wie zum Beispiel Lagern, erfahrungsgemäß im Normalfall deutlich nach 5 Jahren einstellen, sollte der Betrieb der Messsysteme über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks hinweg fortgeführt werden. Durch eine Datenerfassung über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks hinweg würden langfristig Messdaten vor,

während und nach Schädigungsprozessen vorliegen. Diese könnten dazu genutzt werden, Schädigungsmodelle zu präzisieren, datenbasierte Auswertansätze zu validieren und weiterzuentwickeln sowie Prognosemodelle zu entwickeln. Hiermit kann ein weitergehender Beitrag in Richtung eines prädiktiven Lebenszyklusmanagements geleistet werden.

4.7 Intelligente Glättevorhersage

4.7.1 Ausgangssituation

Durch winterliche Fahrbahnzustände steigt die Gefahr von Unfällen, da die kraftschlüssige Verbindung zwischen Fahrzeug und Fahrbahn ungünstig beeinträchtigt wird. Um dem entgegenzuwirken, werden u. a. Verkehrsbeeinflussungsanlagen mit Warnungen geschaltet und Räum- und Streuarbeiten durch Winterdienste auf den Fahrbahnen vorgenommen.

Als Informationsquelle der lokalen Wettersituationen und des Straßenzustands werden derzeit Wetterdaten u. a. mit fest installierten Sensoren gemessen und mit Informationen vom Deutschen Wetterdienst (DWD) ergänzt. Die vom DWD zur Verfügung gestellten Daten werden mit dem Straßenzustands- und Wetterinformationssystem (SWIS) den Straßenbauverwaltungen zur Verfügung gestellt. Sie zeigen jeweils die Situation und die Vorhersage für bestimmte Regionen oder punktuell für vorhandene Straßenwetterstations-Standorte an. Leider sind diese Daten trotz der kleinräumigen Betrachtungen noch zu allgemein. Netztopografien und standortspezifische Eigenschaften der Straße (z. B. Bebauung oder Bewuchs) können regional sehr unterschiedlich sein und somit lokal sehr unterschiedliche Straßenwettersituationen hervorrufen. Letztlich führt diese Informationslücke und Unsicherheit über den Status der betroffenen Straßenabschnitte dazu, dass kostspielige Kontrollfahrten des Betriebsdienstes unternommen werden müssen und Streustoffe in zu geringem bzw. zu hohem Maße aufgetragen werden, sodass die Verkehrssicherungspflicht nicht in ausreichendem Maße erfüllt werden kann und ggf. unnötige Kosten entstehen.

Mit der Maßnahme „Intelligente Glättevorhersage“ soll die Vorhersage lokaler Wetterbedingungen sowie die Arbeit der Winterdienste optimiert werden. Umgesetzt wurden dazu die zwei Forschungsprojekte, die „Streckenbezogene Glättevorhersage“

⁶⁵ Aus Beitrag „Infrastruktur im Wandel – Die Intelligente Brücke“ von DABRINGHAUS, S., HAARDT, P., 6. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, 2019

⁶⁶ Aus Fachzeitschrift Bautechnik; Artikel „Die Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ von HAARDT, P.; DABRINGHAUS, S.; FRIEBEL, W. D.; BÄUMLER, T.; BAYERSTORFER, R.; FREUNDT, U. (2017)

(FE 04.0279/2014) und die „Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren“ (FE 04.0297/2015) im Rahmen der Auftragsforschung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

4.7.2 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel der Maßnahme war es, ein Verfahren zur Ermittlung einer „intelligenten Glättevorhersage“ mittels allgemeiner Wettervorhersagen und Daten direkt von der Fahrbahn zu entwickeln. Diese Vorhersagen sollen zukünftig an ein Winterdienstfahrzeug übermittelt werden. Das Fahrzeug gleicht diese Vorhersagen mit selbst gemessenen Ist-Werten ab und errechnet daraus eine optimale Streudichte. Die Umsetzung der Maßnahme erfolgte anhand der zwei o. g. Forschungsprojekte, welche weitestgehend unabhängig voneinander durchgeführt wurden. Im Folgenden sind die Ziele der beiden Einzelvorhaben dargestellt.

Streckenbezogene Glättevorhersage

Ziel des Forschungsvorhabens „Streckenbezogene Glättevorhersage“ war es, eine möglichst genaue Prädiktion der lokalen Straßenbedingungen zu erreichen und somit einen effizienten Winterdienst sicher zu stellen⁶⁷. Konkret sollte dies über die exakte Bestimmung der für alle Glättearten relevanten Straßenzustandsgrößen Straßentemperatur, Taupunkttemperatur und Wasserfilmdicke geschehen. Ein weiteres Ziel war, aktuelle Verfahren zur Bestimmung des Straßenwetters zu bewerten und mit dem neuen Verfahren zu vergleichen.

Letztlich sollen Personal- und Tausalzkosten durch die Vermeidung von Kontroll- und unnötigen Streufahrten aufgrund fehlender streckenbezogener Vorhersagen eingespart werden. Insgesamt war die Frage zu klären, inwieweit eine Straßenzustands-

erfassung durch mobile Sensoren und stationären Straßenwetterstationen geeignet ist, um unterschiedliche Streckeneigenschaften abzubilden und die Prognosen zu verbessern.

Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung

Das Forschungsvorhaben „Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren“⁶⁸ hat auf die Erkenntnisse des 2013 abgeschlossen Projekts „Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst“⁶⁹ aufgesetzt. In diesem wurden theoretische Grundlagen und praktische Erfahrungen zum Taustoffeinsatz im Winterdienst in einen entsprechenden Algorithmus überführt. Zudem knüpfte es an das Vorprojekt „Optimierung der Streustoffausbringung – Modell der objektiv notwendigen Streudichten im Straßenwinterdienst“ an.

Im Projekt „Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung“ wurde dieser Algorithmus weiterentwickelt. Außerdem wurde angestrebt, dass von den Winterdienstfahrzeugen erfasste Randbedingungen zu den Streckeneigenschaften (z. B. Art des Belages), vorhandene Restsalzmengen auf der Fahrbahn sowie die derzeitige Wasserfilmdicke berücksichtigt werden, um die Menge des auszubringenden Streustoffs weiter optimieren zu können. Diesbezüglich wurde im Projekt ein entsprechender mobiler bzw. fahrzeugseitig montierter Sensor praktisch erprobt.

4.7.3 Durchführung

Streckenbezogene Glättevorhersage

Die Datenerhebung zum Forschungsprojekt fand auf drei unterschiedlichen Streckenabschnitten statt, welche sich insbesondere durch ihre meteorologischen Verhältnisse sowie ihre abwechslungsreiche Topografie und Geländeeigenschaften unter-

⁶⁷ Bericht, Entwicklungen für eine streckenbezogene Glättevorhersage; KS-Consulting, meteoblue AG, micKS MSR GmbH/LUFFT MSR GmbH, 2018, BASt-Bericht V329; https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2399/file/V329_barrfreiPDF.pdf

⁶⁸ Bericht, Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren, Ingenieurbüro Hausmann, 2018, BASt-Bericht V322; <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2327/file/V322.pdf>

⁶⁹ Bericht, Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst, Ingenieurbüro Hausmann, 2015, BASt-Bericht V260; https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1569/file/V260_Internet_PDF_barrierefrei.pdf

Nr.	Gebiet	Meisterei	Anbieter Glättevorhersage	Streckenlänge
1	BAB A9 Bayern	AM Greding	DWD, GWC, FORECA, DTN, meteoblue	ca. 50 km
2	Viechtach St2139 Bayern	SM Viechtach	DWD, GWC, FORECA, DTN, meteoblue	ca. 14 km
3	BAB A4 Bergisch Gladbach	BASt	DWD, GWC, FORECA, DTN, meteoblue	ca. 55 km

Tab. 6: Übersicht über die Teststrecken im Forschungsprojekt Streckenbezogene Glättevorhersage, Quelle: Schlussbericht, Streckenbezogene Glättevorhersage FE 04.0279; KS-Consulting, meteoblue AG, micKS MSR GmbH/LUFFT MSR GmbH; 2018

scheiden.⁷⁰ Die drei Streckenabschnitte sind in Tabelle 6 dargestellt.

Die Fahrbahnzustandserfassung ist im Projekt durch die Kombination der Daten stationärer Straßenwetterstationen sowie durch den Einsatz mobiler Sensoren realisiert worden. Die drei Straßenabschnitte sind permanent mit stationären Wetterstationen ausgestattet. Zur Ermittlung der mobilen Daten sind Fahrzeuge der AM Greding (Bild 37) und der SM Viechtach (Bild 38) mit einer entsprechenden Sensorik (MARWIS Sensor⁷¹ der Firma Lufft) ausgestattet worden. Gemessen wurden dabei die Taupunkt- und Fahrbahntemperatur, die Wasserfilmdicke sowie der Fahrbahnzustand.

Ergänzend erfolgte die Sammlung von Daten mit dem BASt-eigenen Fahrzeug auf dem genannten Abschnitt der BAB A4. Das Fahrzeug war ebenfalls mit einem MARWIS Sensor sowie ergänzenden Sensoren ausgestattet.

So wurde u. a. eine erweiterte Thermalkartierung mit zusätzlicher Taupunkt- und Bilanzstrahlungsmessung zur Charakterisierung der Strahlungsbedingungen der Strecken bei standardisierten Wetterbedingungen erarbeitet.

Durch die Auswertung und Analyse der Variablen aus den unterschiedlichen Datenquellen erfolgte die Erarbeitung eines statistischen Modells, mit dem spezifische Streckeneigenschaften wiedergegeben werden können.

Auf dieser Basis ist im Zeitraum 2015/2016 eine Methode zur streckenbezogenen Glättevorhersage entwickelt und anhand von Messfahrten im Zeitraum 2016/2017 überprüft worden. Die Vorhersage



Bild 37: Mobiler Straßenzustandssensor am Streufahrzeug der AM Greding, Quelle: BASt



Bild 38: Streufahrzeug mit neuartigen Sensoren für die Fahrbahnzustandserkennung, Quelle: Forschung kompakt, Ausgabe 03/2020 BASt

wurde dabei jeweils für Abschnitte von 20 m Länge ermittelt.

Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung

Das vorab vorhandene Modell zur Berechnung der Streudichte nur mit der Fahrbahnoberflächentemperatur wurde um weitere Parameter ergänzt (Taupunkttemperatur und Wasserfilmdicke). Ebenso sind die verschiedenen Streupraktiken neu berücksichtigt (Feuchtsalz- oder Soleausbringung) worden. Die praktische Durchführung des Projekts erfolgte durch die Autobahnmeisterei Münchberg sowie durch die Autobahnmeisterei Greding auf den jeweiligen bewirtschafteten Streckenabschnitten der A9, welche sich durch unterschiedliche Topolo-

⁷⁰ Schlussbericht, Streckenbezogene Glättevorhersage FE 04.0279; KS-Consulting, meteoblue AG, micKS MSR GmbH/LUFFT MSR GmbH; 2018

⁷¹ MARWIS ID 71215

gien und Streckeneigenschaften auszeichnen. Versuchszeiträume waren die beiden Winterperioden 2016/2017 und 2017/2018. Als Versuchsträger wurden eine Streumaschine sowie eine Kombistreumaschine mit einem jeweils zusätzlich installierten mobilen Sensor (Typ MARWIS der Firma Lufft) zur Fahrbahnzustandserkennung verwendet.

In den beiden Winterperioden konnten so an den Standorten insgesamt 184 Messungen im Rahmen der normalen Einsatzfahrten (je 90 bzw. 94 Fahrten) durchgeführt werden. Während der Fahrten wurden mithilfe des MARWIS-Sensors Datensätze zur Fahrbahn- und Taupunkttemperatur, der Wasserfilmdicke sowie zum Fahrbahnzustand aufgezeichnet. Der entwickelte Algorithmus konnte in diesem Zeitraum an allen erdenklichen Wetterlagen getestet und evaluiert werden.

4.7.4 Ergebnis

Streckenbezogene Glättevorhersage

Die Auswertung der gesammelten Daten zeigt deutlich (V329)⁶⁷, dass auf einem Streckenabschnitt sehr unterschiedliche Bedingungen vorherrschen können – vgl. Bild 39⁶⁷. Die Messungen anhand der stationären Messstationen sowie die Prognosedaten unterschiedlicher Anbieter bilden derartige Schwankungen nicht ab.

Anhand der Messergebnisse der umfangreichen Messfahrten wurde ein statistisches Vorhersagemodell für die kleinteiligen Streckenabschnitte von 20 m Länge für die Parameter Fahrbahnoberflä-

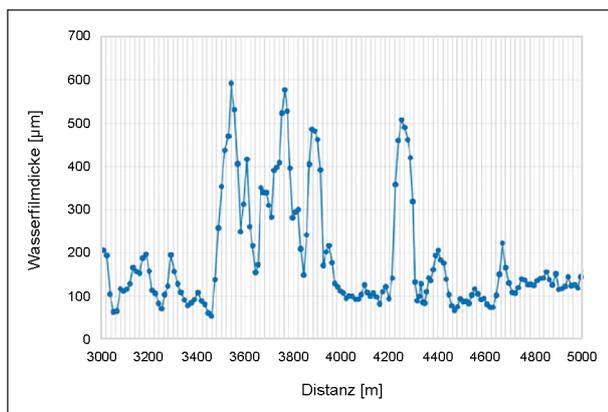


Bild 39: Beispiel für lokal stark unterschiedliche Messwerte. Das Beispiel zeigt die Wasserfilmdicke in µm auf einer Lkw Fahrt der SM Viechtach auf der St2139, Quelle: Bericht, Entwicklungen für eine streckenbezogene Glättevorhersage; KS-Consulting, meteoblue AG, micKS MSR GmbH/LUFFT MSR GmbH, 2018, BAST-Bericht V329

chentemperatur, Wasserfilmdicke und Taupunkttemperatur entwickelt. Zur Verbesserung der Aussagen berücksichtigt das Modell verschiedene Wetterklassen.

Es bleibt festzuhalten, dass durch die erstellten wetterabhängigen Streckenprofile, welche durch kontinuierliche Messfahrten ermittelt werden, die Prognose für die kleinteiligen Streckenabschnitte verbessert werden kann.

Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass die Daten der neuen mobilen Sensoren in die Dosieralgorithmen der optimalen Streudichte einbezogen werden können (V322)⁶⁸. Allerdings führen die neuen Eingangsdaten (Wasserfilmdicke und Fahrbahnzustand) auch zu einer höheren Sensibilität bzw. zu einer höheren Schwankungsbreite der errechneten Werte. Dies führt durch die Trägheit des Fördersystems der Streumaschinen dazu, dass die schnell wechselnden benötigten Streudichten nicht immer entsprechend zeitlich korrekt eingestellt werden können.

Als Beispiel sei an dieser Stelle auf die ermittelten Werte des Fahrbahnzustands und auf Vergleichsmessungen zur Wasserfilmdicke verwiesen (siehe Bild 40⁶⁸), welche starke Schwankungen aufweisen. Letztlich ist eine sinnvolle Verarbeitung der Werte so nicht möglich.

Im Rahmen des Projektes vorgenommenen Tests des MARWIS-Sensors insbesondere bei der Wasserfilmdicke zeigen hohe Abweichungen zwischen den Sensordaten und vorgenommenen Referenzmessungen (siehe Bild 41⁶⁸). Die mit dem MARWIS-Sensor angezeigten Werte für die Wasserfilmdicke ergaben zumeist einen dickeren Wasserfilm, als mit dem sogenannten „Wettex“-Test ermittelt wurde (in der Abbildung durch die rote Solllinie dargestellt). Mit zunehmender Wasserfilmdicke war zudem auch eine höhere Abweichung ersichtlich.

Ein möglicher Lösungsansatz zur Reduzierung der Sensorsensibilität könnte in der Pauschalierung von Anzeigewerten bestehen. Mit dieser Methode würde eine gewichtete Zusammenfassung über einen bestimmten Zeitraum durchgeführt werden. Um jedoch die nötige Sicherheit zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten, könnte unter Umständen in einigen Bereichen Streustoff deutlich über dem eigentlichen Bedarf ausgebracht werden. Eine Alternative wäre

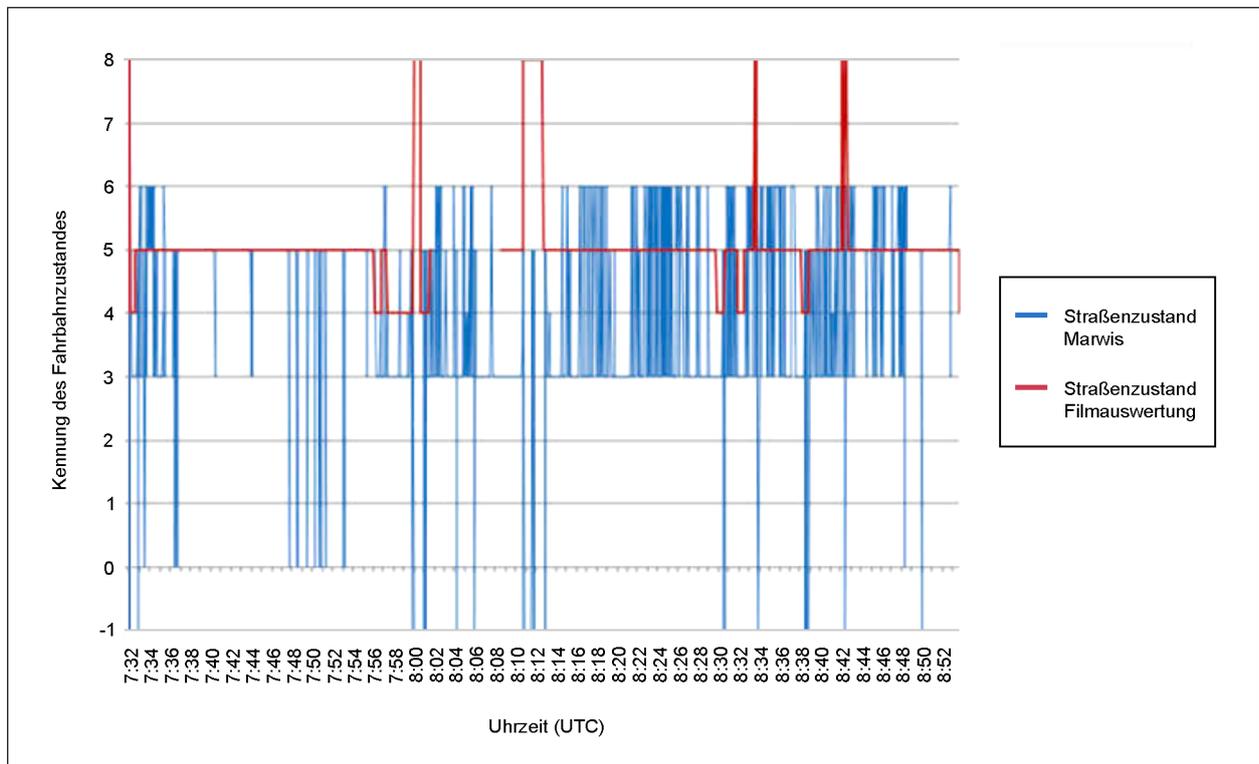


Bild 40: Vergleich Straßenzustand mit dem Marwis Sensor (blau) und einer parallelen Wasserfilmdickenauswertung (rot), Quelle: Bericht, Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren, Ingenieurbüro Hausmann, 2018, BAST-Bericht V322

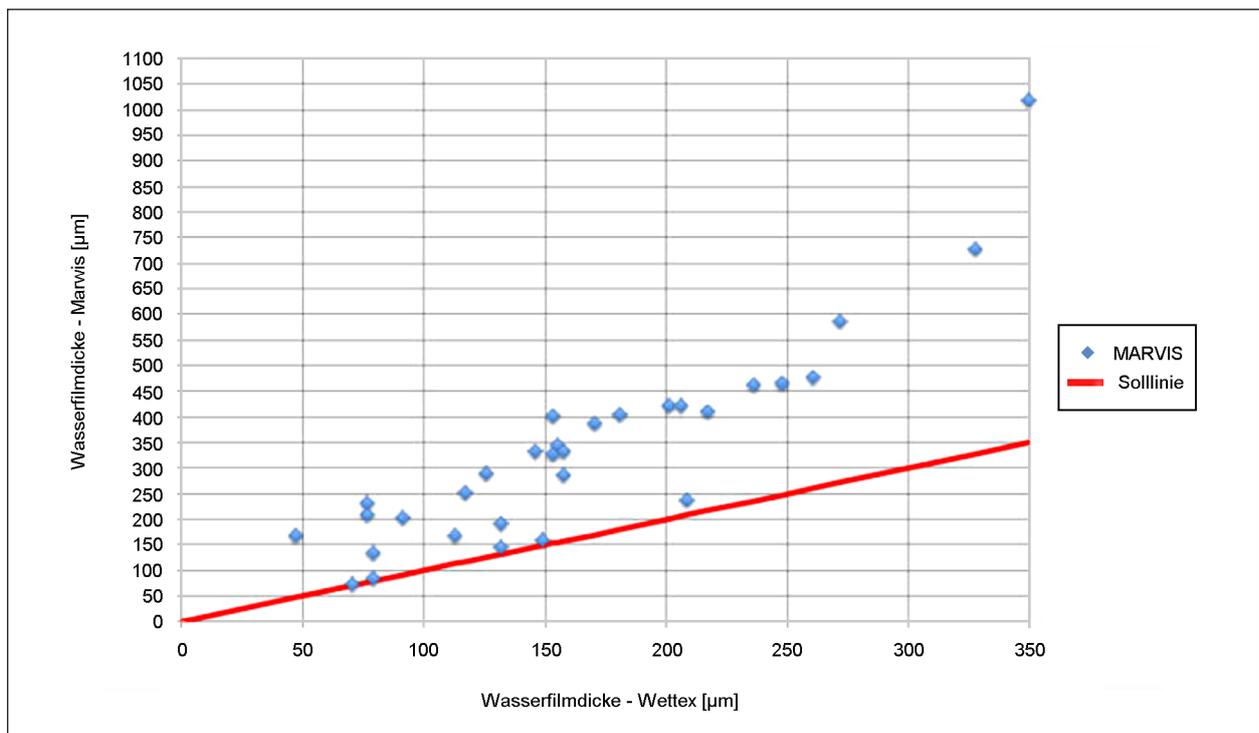


Bild 41: Vergleich Wasserfilmdicke mit dem Marwis Sensor (blau) und einer durch Referenz-Messungen ermittelten Solllinie, Quelle: Bericht, Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren, Ingenieurbüro Hausmann, 2018, BAST-Bericht V322

ebenfalls die Montage zusätzlicher Sensoren an den Streufahrzeugen zur Aufzeichnung der Messwerte. Somit könnte aus den Daten ein Mittelwert berechnet werden, welcher insgesamt weniger sensibel reagiert. Für diese Variante ist jedoch die Beschaffung zusätzlicher Sensoren notwendig.

4.7.5 Bewertung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die Qualität der Vorhersagen durch den Einsatz mobiler Sensoren erhöht werden kann. Dies wird im Forschungsprojekt für die Ermittlung der Temperatur und Wasserfilmdicke demonstriert. Für die Ermittlung kontinuierlicher mobiler Messwerte ist die permanente Montage entsprechender Sensoren, wie z. B. der im Projekt eingesetzte MARWIS Sensor, auf den Winterdienstfahrzeugen ein möglicher Ansatz. Dieser würde die notwendigen Daten ohne eine Behinderung der Betriebsabläufe automatisiert aufzeichnen.

Da die eigentliche technische Ausgestaltung eines entsprechenden Systems nicht Teil der Projekte war, wird eine weitere bzw. detaillierte Erforschung der Ausgestaltung als sinnvoll erachtet. Dabei sollten insbesondere die technischen Schnittstellen sowie die Bereitstellung, Darstellung und Weiterverarbeitung der Streckenvorhersagen (ggf. mit kooperativen Systemen) näher untersucht werden.

Basierend auf den erzielten Forschungsergebnissen ist die Einführung eines Assistenzsystems zur parametergesteuerten Ermittlung der optimalen Streudichte möglich. Die Projekte waren diesbezüglich ein wichtiger Schritt, sie haben jedoch auch einige Herausforderungen deutlich gemacht. So sind insbesondere weitere Verbesserungen im Hinblick auf die berührungslose Messung der Fahrbahnparameter notwendig. Diese schwanken teilweise stark (Straßenzustand, Wasserfilmdicke) und weichen teilweise auch von gemessenen Referenzwerten ab. Dazu ist die weitere Entwicklung der Sensoren voranzutreiben.

Mögliche Lösungswege wären auch die o. g. Pauschalierung der Anzeigewerte sowie die Montage zusätzlicher Sensoren an den Streufahrzeugen. In einem nächsten Schritt sollte für die Pauschalierungsmethode zunächst die Effizienz geprüft bzw. ermittelt werden, wie viel Streustoff letztlich mehr ausgebracht wird. Bezüglich der Montage weiterer Sensoren an den Streufahrzeugen ist zunächst die notwendige Anzahl der zusätzlichen Sensoren zu untersuchen. Das Ergebnis und die damit verbun-

denen Kosten müssen letztlich mit dem Nutzen ins Verhältnis gesetzt werden.

Ein grundsätzlicher Einsatz mit den in den Projekten verwendeten Sensorformen an Winterdienstfahrzeugen erscheint sinnvoll, da diese einerseits zur Aufnahme bzw. Optimierung der Streckenprofile nützlich sind und somit eine bessere Prognose für einzelne Streckenabschnitte ermöglichen. Andererseits liefern Sie auch wertvolle Daten für die Dosierungsalgorithmen im Winterdienst. Hier sind jedoch neue Ansätze bzw. Modifizierungen notwendig, um Schwankungen in den ermittelten Werten zumindest zu reduzieren.

Betrachtet man beide Forschungsprojekte gesamt, so ergibt sich ein positives Bild. Beide Projekte haben einen erheblichen Beitrag zur weiteren Entwicklung eines effektiven und automatisierten Winterdienstes geleistet, auch wenn jeweils weiterer Forschungsbedarf identifiziert wurde. Die Ergebnisse beider Projekte sollten für die weiteren Entwicklungstätigkeiten zusammenzuführen.

4.8 Internet-Parkplatz

4.8.1 Ausgangssituation

Eine Grundvoraussetzung für die weitere Digitalisierung sind schnelle Internetzugänge. Auch die Verkehrsteilnehmer auf dem Digitalen Testfeld Autobahn haben ein Interesse an solchen Zugängen. Pkw- und Lkw-Fahrende sind während ihrer zum Teil langen Pausenzeiten bislang von kostenloser Internetversorgung abgeschnitten (abgesehen von Flatrate-Mobilfunk).

4.8.2 Zielsetzung

Durch die Ausstattung von Parkplätzen mit sanitären Einrichtungen (WC-Gebäuden) – sogenannten PWC – mit für den Nutzer kostenfreiem WLAN soll den Verkehrsteilnehmern auf dem Digitalen Testfeld Autobahn während ihrer Ruhezeiten ein kostenloser Highspeed-Internetzugang zur Verfügung gestellt werden. Unter dem Einsatz vorhandener Infrastrukturen (Bild 42) (Lichtwellenleiter-Trasse an der BAB A9, Lichtmasten auf den Parkplätzen mit vorhandenem Dauerstrom (nicht an allen Lichtmasten vorhanden)), wurden unter der Federführung der Niederlassung Nordbayern der Autobahn GmbH insgesamt 8 PWC (Gelbensee Ost + West, Baarer Weiher Ost + West, Rohrbach Ost + West, Paunz-

hauser Feld, Eichfeld) mit für den Nutzer entgeltfreiem WLAN ausgestattet. Die auf den PWC zur Verfügung gestellte Geschwindigkeit (Bandbreite) beträgt jeweils mindestens 50 Mbit/s. Die WLAN Access Points verfügen über zwei Frequenzen (5 GHz 802.11ac und 2,4 GHz 802.11n) und sind für Freiluftanwendungen von -15 bis +50 Grad Celsius sowie entsprechenden Staub- und Feuchtigkeitsanforderungen geeignet. Die Access Points sind an Masten montiert. Zur Verbindung der Accesspoints werden Richtfunk-Komponenten mit einem Durchsatz von mindestens 150 Mbit eingesetzt. An jedem PWC werden die WLAN-Komponenten per Switch in der Streckenstation an den Lichtwellenleiter (LWL) angebunden, die dazu Ring-Protokolle unterstützen müssen.

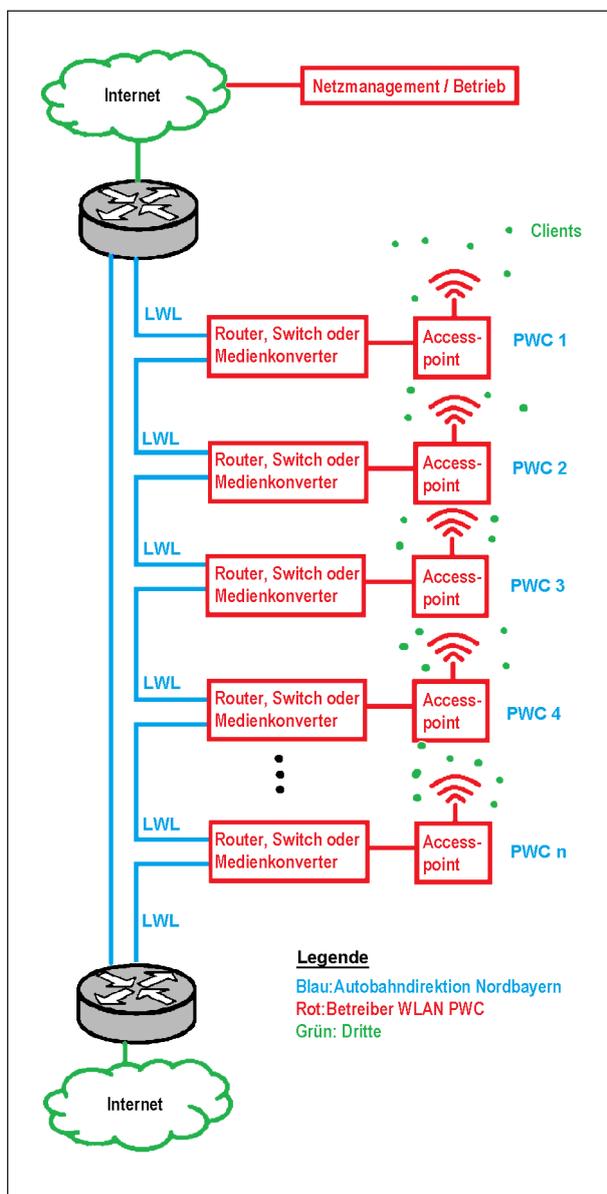


Bild 42: Systemarchitektur Internetparken, Quelle: ABDN

Der zentrale Internet-Zugang für alle PWC befindet sich in der Autobahnmeisterei Greding. Dort wird zugleich auch der Zugang für die Projekte des Automatisierten Fahrens bereitgestellt.

Durch ein Evaluierungsprojekt im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Digitalen Testfelds Autobahn (DTA) sollen Erkenntnisse gewonnen werden, in welchem Umfang die Verkehrsteilnehmer das freie WLAN auf den unbewirtschafteten PWC nutzen.

Hierzu sollen u. a. die erforderlichen Bandbreiten, die Anzahl der Nutzer, deren Nutzungsdauer und die Verfügbarkeit der Services evaluiert werden. Die Untersuchung soll dabei neben dem Service für die Nutzer, auch die Akzeptanz bzw. Zufriedenheit mit dem Service betrachten. Darüber hinaus sollen Hinweise für die Einrichtung weiterer unbewirtschafteter Parkplätze mit freiem WLAN zusammengestellt werden.

4.8.3 Durchführung

Die Evaluierung der Maßnahme Internetparkplatz ist in drei Hauptbereiche untergliedert:

Sammlung von Informationen und Erfahrungen seitens des Betreibers der Niederlassung Nordbayern der Autobahn GmbH

Hierbei werden Informationen erfasst, die der Planung und Ausschreibung der vor Ort installierten Systeme zu Grunde liegen. Ebenso werden die bisherigen Erfahrungen mit der eigentlichen Installation, der Einrichtung und dem Betrieb derartiger Systeme zusammengestellt.

Die Auswertungen sollen in gesammelter Form als Best-Practice-Beispiele die Grundlage für eine mögliche zukünftige Ausstattung weiterer unbewirtschafteter PWC mit freiem WLAN bilden.

Auswertung von Nutzungsstatistiken

Die Statistiken bezüglich der Nutzung des WLAN-Netzes werden durch den Anbieter des Datendienstes erstellt und von der Niederlassung Nordbayern der Autobahn GmbH als deren Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Des Weiteren werden Daten der Parkplatzbelegung hinsichtlich Lkw und Pkw ausgewertet.

Folgende Aspekte werden hierbei im Rahmen der Auswertungen berücksichtigt: Datennutzung, Nutzerverhalten und bereitgestellte Datenrate/Bandbreite sowie die Verfügbarkeit einzelner Services in Abhängigkeit von:

- Auslastungsgrad des Parkplatzes
- Pkw-Anteil und Lkw-Anteil
- Nutzung im Tages- und Wochenverlauf
- außerhalb von Ferienzeiten und in Ferienzeiten
- äußere Einflüsse, z. B. Witterungsbedingungen
- Anzahl gleichzeitiger Nutzer
- Dauer der jeweiligen Nutzung

Hinsichtlich der Nutzung der angebotenen Dienste wird auch der Bekanntheitsgrad sowie die Entwicklung der Nutzungsdaten seit Freischaltung des freien WLAN bei den Auswertungen entsprechend berücksichtigt.

Nutzerbefragungen

Bei Vor-Ort-Befragungen auf den ausgestatteten PWC werden das Nutzerverhalten und die Nutzeranforderungen weiter präzisiert. Bei der Befragung wird u. a. eine Unterteilung in die verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen (Pkw- und Lkw-Nutzende sowie ggf. weitere Nutzergruppen) vorgenommen und folgende Themen abgefragt:

- Ist das System „Internetparkplatz“ bekannt bzw. wurde es schon genutzt?
- Zufriedenheit – wenn das System genutzt wurde
- Zweck der Nutzung
- Dauer der Nutzung

- Regelmäßigkeit der Nutzung
- Nutzung trotz eines eigenen Datentarifs
- (existierende) Schwierigkeiten/Probleme
- Verbesserungsvorschläge

Das Ziel ist hierbei herauszufinden, welche Gruppe an Verkehrsteilnehmenden den größten Nutzen durch die Bereitstellung eines freien WLAN hat, welche Probleme es ggf. gibt und wie dieser Service eventuell weiter verbessert werden kann.

4.8.4 Ergebnis

An acht Befragungstagen waren jeweils zwei Befragter für je sechs Stunden vor Ort an vier ausgestatteten PWC-Anlagen und konnten insgesamt 334 Personen befragen. 75 % der Befragten war das freie WLAN zum Zeitpunkt der Befragung noch unbekannt und es bestand auch relativ geringes Interesse an einer zukünftigen Nutzung (35 %). Potenzielle Nutzer würden das freie WLAN zu 19 % für rein berufliche Zwecke und für 51 % für rein private Zwecke nutzen. Auch wenn 96 % der potenziellen Nutzer über einen eigenen mobilen Datentarif verfügen, befürworten 88 % von ihnen eine flächendeckende Bereitstellung von freiem WLAN auf PWC-Anlagen.

Nur 5 % der Befragten nutzen das freie WLAN bereits. Die Nutzungsdauer lag dabei jeweils unter einer Stunde, wobei knapp die Hälfte der Befragten das Angebot ein- oder mehrmals pro Woche nutzt (vgl. Bild 43). Im Allgemeinen sind die befragten bisherigen Nutzenden sehr zufrieden mit dem freien WLAN. 100 % der Nutzer würden das freie WLAN weiterempfehlen und alle bis auf einen Nutzer sind dafür, dass das freie WLAN flächendeckend auf allen PWC-Anlagen verbreitet wird.

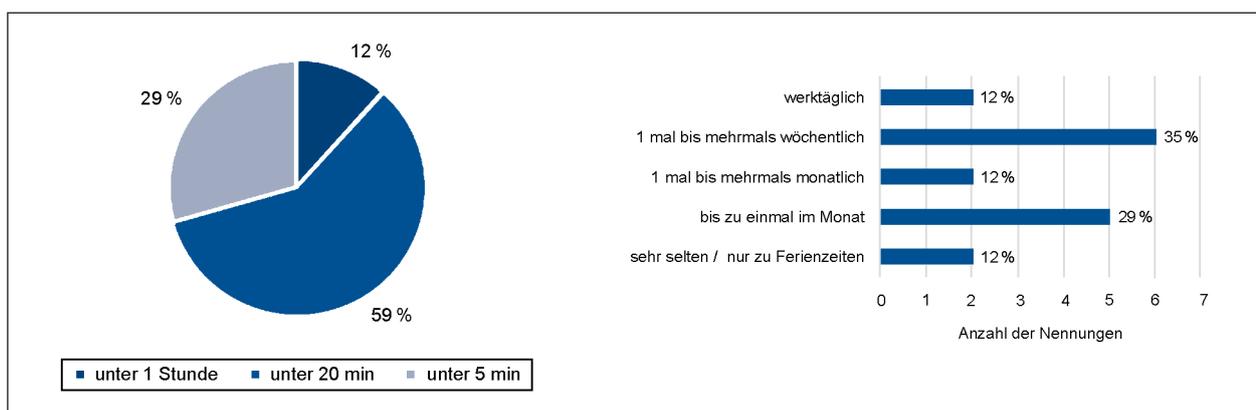


Bild 43: Dauer (links) und Häufigkeit (rechts) der Nutzung des freien WLAN an den PWC-Anlagen (n = 17)

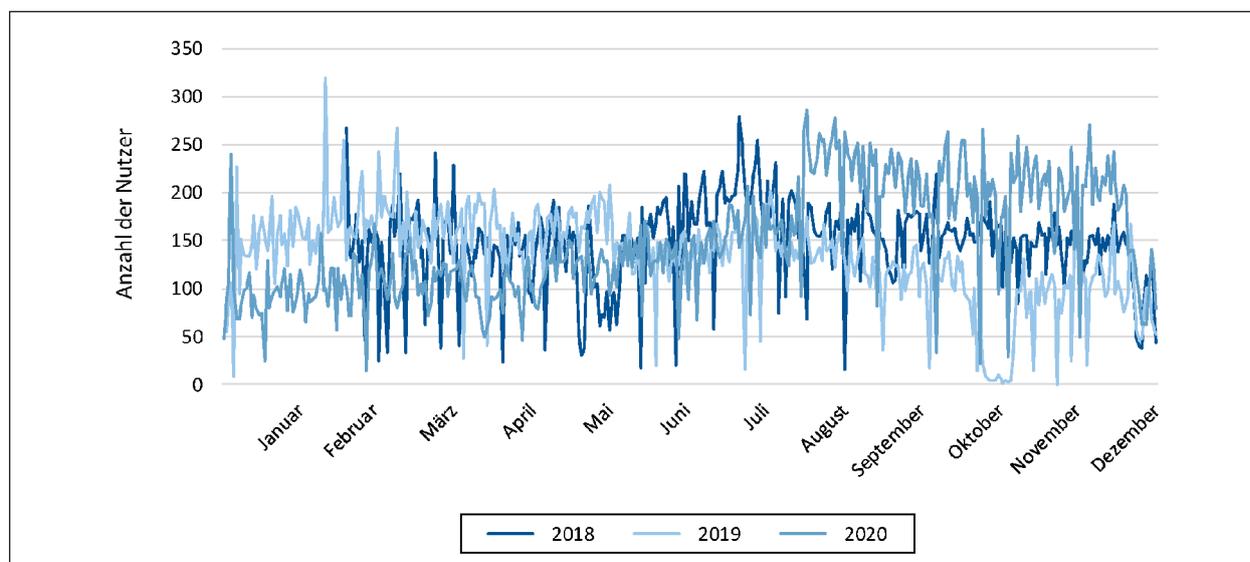


Bild 44: Anzahl der tatsächlichen Nutzer eines Tages über drei Jahre Analysiert – Anmeldestufe 4, summiert über alle ausgestatteten PWC-Anlagen

Zusätzlich zu den Befragungen wurden Statistiken bezüglich der Nutzung des freien WLAN analysiert, die durch den Anbieter des Datendienstes (DIGINEO) zur Verfügung gestellt wurden. Bild 44 zeigt den Verlauf der angemeldeten Nutzer pro Tag über die drei verfügbaren Jahre 2018, 2019 und 2020 summiert über alle ausgestatteten PWC-Anlagen. Es ist zu erkennen, dass in den Wintermonaten die Nutzerzahlen etwas sinken. Die Corona-Pandemie schlägt sich ab März 2020 kaum merklich in den Daten nieder.

Auf Basis der Erfahrungen des Betreibers des freien WLAN wurden auch die Kostenstrukturen analysiert. Unter Berücksichtigung der Installationskosten der acht Rastanlagen und einer Abschreibung auf zehn Jahre, ergeben sich zusammen mit den laufenden Kosten für den Internetzugang und Wartungsarbeiten Gesamtkosten von etwa 6.800 € pro Monat auf dem DTA.

Eine konkrete Kosten-Nutzen-Analyse lässt sich jedoch nicht aufstellen, da der Nutzen des freien WLAN nicht monetarisierbar ist. Dieses Angebot stellt einen Service dar, der den Komfort der Nutzer von PWC erhöht⁷².

4.8.5 Bewertung und Ausblick

Die Analysen haben gezeigt, dass das freie WLAN grundsätzlich positiv angenommen wird. Allerdings kommt die überwiegende Mehrzahl der Nutzer unbewirtschafteter Parkplätze bereits derzeit gut ohne das freie WLAN aus. Die wenigen bisherigen Nutzer finden den Service gut und sind mit der Qualität des freien WLAN sehr zufrieden. Wenn das freie WLAN genutzt wird, dann bisher meist nur sehr kurz (bis zu 20 Minuten).

Zukünftig wird der Ausbau der Mobilfunknetze weiter vorangetrieben werden, was zusammen mit den neuen Technologien wie 5G zu einer besseren Verfügbarkeit von mobilen Datenanbindungen für den Endnutzer führen wird. Da die Installation und der Betrieb des freien WLAN erhebliche Kosten mit sich bringt, ist eine flächendeckende Installation des freien WLAN kritisch zu hinterfragen. Zumindest in abgelegenen Regionen ohne gute mobile Netzabdeckung kann die Installation von freiem WLAN jedoch durchaus sinnvoll sein. Ein weiterer Nutzen des angebotenen WLAN ergibt sich ggf. durch die Platzierung aktueller Verkehrs- und Baustelleninformationen oder einer Verkehrsinformations-APP auf der Landingpage.

⁷² METZGER, B.; SPANGLER, M.; BOGENBERGER, K. [2021]: Begleitende Systemevaluation der Maßnahme „Interparkplatz – Freies WLAN“. Schlussbericht im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Digitalen Testfelds Autobahn. https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Beichte/unterreihe-v/Berichte_V_node.html

4.9 Tank- und Rastanlage der Zukunft

4.9.1 Ausgangssituation

Den Verkehrsteilnehmern in Deutschland stehen auf dem ca. 13.000 km umfassenden Autobahnnetz rund 1.500 unbewirtschaftete und 441 bewirtschaftete Rastanlagen zur Verfügung (Stand 31.12.2018)⁷³. Auf den Rastanlagen haben die Verkehrsteilnehmer die Möglichkeit, notwendige Erholungspausen einzulegen und sich bei Bedarf zu versorgen. Mit ihrer Versorgungs- und Erholungsfunktion leisten diese Einrichtungen daher einen wichtigen Beitrag zur Verkehrssicherheit.⁷⁴

Die Verantwortung für ein ausreichendes Rastanlagensystem auf BAB liegt beim Straßenbaulastträger Bund. Der entsprechende Versorgungsauftrag des Bundes gegenüber allen Verkehrsteilnehmern wird von privaten Konzessionsnehmern durch den Bau und Betrieb von Nebenbetrieben (z. B. Tankstellen, Raststätten) erfüllt.

Einhergehend mit dem digitalen Wandel, welcher zu einem Umbruch in allen Bereichen des Verkehrs und der Mobilität führt, sowie durch neue Mobilitätsformen steigen auch die Anforderungen an die bestehenden und zukünftigen Tank- und Rastanlagen. Dies drückt sich unter anderem im Bedarf an neuen Energieträgern für Fahrzeuge (wie z. B. Wasserstoff, Ladesäulen für Strom), schnellen Internetzugängen sowie dem Wunsch nach einer effizienten Nutzung der vorhandenen Verkehrsflächen aus.

Weitere Anforderungen ergeben sich u. a. im Sinne eines energieeffizienten und nachhaltigen Betriebs der Tank- und Rastanlagen, welche die Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung als auch der globalen Umsetzungsstrategie zur Agenda 2030 (Sustainable Development Goals, SDGs)⁷⁵ unterstützen.

4.9.2 Zielsetzung

Ziel der Maßnahme „Tank- und Rastanlage der Zukunft“ war es, den Herausforderungen zu begegnen, die mit dem digitalen Wandel einhergehen sowie im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung notwendig sind. Konkret sind im Zusammenhang mit der an der A9 in Fürholzen West bei München entstandenen Tank- und Rastanlage der Zukunft folgende Teilziele adressiert worden (Bild 45):

- Selbstversorgende Einrichtung im Sinne eines Energie-Plus-Standards (es wurde ein Überschuss zum Jahresprimärenergiebedarf von 10 % angestrebt),
- Elektroschnellladestationen und Wasserstofftankstelle neben dem Angebot aller Kraftstoffe einschließlich LPG/CNG,
- Betrieb der Rastanlagen- und Ladeinfrastruktur aus erneuerbaren Energien,
- Zeitgemäße, betriebliche Komponenten: z. B. kostenloses WLAN, moderne Bezahlssysteme, ressourcenschonender Betrieb (wie z. B. wasserlose Toiletten),
- Aufnahme in das Lkw-Parkleitsystem der BAB A9.

Besonders hervorzuheben ist die Umsetzung der gesamten Anlage nach dem Energie-Plus-Standard. Übergeordnetes Ziel dabei ist es, Energieerzeuger und -verbraucher so miteinander zu vernetzen und zu steuern, dass die vor Ort erzeugte Energie optimal eingesetzt und ein Energieüberschuss erzeugt wird.



Bild 45: Computermodell der Tank- und Rastanlage Fürholzen West; Quelle: Autobahn Tank & Rast Gruppe GmbH & Co. KG, Erfahrungsbericht zur „Raststätte der Zukunft“ Fürholzen West

⁷³ Verkehrsinvestitionsbericht für das Berichtsjahr 2018, BMVI

⁷⁴ BMVI, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/nebenbetriebe-rastanlagen.html> (Abruf 01/2021)

⁷⁵ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklaert-232174> (Abruf 09/2020)

4.9.3 Durchführung

Die Umsetzung der Maßnahme ist aufgrund der Komplexität und des hohen Innovationsgehalts sehr intensiv für den Baulastträger Bund durch die zuständige Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH vorbereitet worden. Ein wesentlicher Teil dieser Vorbereitung war die Ausarbeitung eines detaillierten Machbarkeitskonzepts⁷⁶, welches die Anforderungen und den Rahmen für die technische bzw. praktische Umsetzung vorgibt, insbesondere im Hinblick auf den Energie-Plus-Standard. Das Machbarkeitskonzept, dessen wesentliche Inhalte folgend dargestellt werden, bildete damit eine wesentliche Grundlage für die Ausschreibung der Dienstleistungskonzession und war im Anschluss auch Teil der Vergabeunterlagen.

Machbarkeitskonzept

Zur Überprüfung der Umsetzbarkeit der Anforderungen an den Energie-Plus-Standard und um das Lastmanagement (ermöglicht die intelligente Vernetzung von Energieerzeugern und -verbrauchern) zu planen, ist im Vorlauf der Vergabe und der baulichen Umsetzung ein Machbarkeitskonzept durch die Vergabestelle erstellt worden. Dieses wurde im Rahmen der Ausschreibung der Tank- und Rastanlage der Zukunft potenziellen Bietern für die Angebotserstellung zur Verfügung gestellt und umfasst die folgenden vier umzusetzenden Bausteine:

1. Minimaler Energiebedarf der Tank- und Rastanlage durch ein bedarfsoptimiertes Gebäude und den Einsatz energieeffizienter Technologien.
2. Regenerative Stromerzeugung durch Photovoltaik, die vor Ort mehr Energie erzeugt, als die Tank- und Rastanlage in der Jahresbilanz benötigt.
3. Wasserstoff-Innovationskreislauf auf Grundlage der für die Tankmedien der Zukunft (E-Mobility und Wasserstoff) vorhandenen Infrastruktur, in Kombination mit der Photovoltaik, dem Elektrolyseur und dem Blockheizkraftwerk.
4. Intelligente Vernetzung der Energieerzeuger und -verbraucher durch ein Lastmanagement

(Smart Grid). Dies ermöglicht, so viel wie möglich der erzeugten Energien, direkt an den Verbrauchern zu nutzen, einen Teil des Überschusses zu speichern, der E-Mobility zur Verfügung zu stellen oder mithilfe des Elektrolyseurs in Wasserstoff umzuwandeln und den Rest über die Direktvermarktung an das öffentliche Netz abzugeben.

Grundlage für die Kontrolle des Energie-Plus-Standard bildet der Bilanzrahmen, welcher den Umfang der einbezogenen Energieverbraucher und -erzeuger definiert (siehe Bild 46). Zu den Verbrauchern zählen die Gebäude, die Tankanlage, die Verkehrsanlage inkl. Beleuchtung sowie der Nutzerstrom. Die Energieerzeuger sind die Photovoltaikanlagen, das Blockheizkraftwerk (BHKW) sowie der Brennkessel.

Auf Basis des für das Machbarkeitskonzept erstellten Bilanzrahmens ist im Folgenden der Gesamtenergiebedarf der Anlage ermittelt worden. Die Ermittlung umfasste eine EnEV (Energieeinsparverordnung)-Berechnung für das Gebäude sowie eine Bedarfsprognose für die Verbraucher außerhalb des EnEV-Bilanzrahmes. Im Rahmen der EnEV-Berechnung sind u. a. Effizienzmaßnahmen zur Erzeugung von Wärme, Trinkwarmwasser und dem Stromverbrauch von Beleuchtungsanlagen durchgeführt worden. Zu den Verbrauchern, die nicht in der EnEV-Berechnung eingeschlossen sind, zählen u. a. der Nutzerstrom und die Erzeugung von Kälte auf der Rastanlage. Unter Einbeziehung des Bedarfs von Energie und Wärme wurde somit ein Primärenergiebedarf von ca. 1.905 MWh/a ermittelt (Primärenergiefaktor Strom: 2,4; Primärenergiefaktor Wärme: 1,1) (siehe Bild 47).

Die Primärenergie soll durch Photovoltaik erzeugt werden. Für die Auslegung der benötigten Fläche der Photovoltaikanlage wurde das o. g. Ziel der Erwirtschaftung eines Überschusses zum ermittelten Jahresprimärbedarfs von 10 % berücksichtigt. Als mögliche Flächen für die Photovoltaikmodule sind der Rasthof (1.), der Lärmschutzwall (2.) zur Autobahn, die Carports (3.), die E-Ladestationen (4.) und der Wirtschaftshof (5.) ermittelt worden (siehe Bild 48). Die angenommenen Flächen ermöglichen eine Überdeckung des Jahresprimärenergiebedarfs von 12 %. Die Kalkulation erfolgte auf Basis beispielhaft ausgewählter Photovoltaikmodule.

Ein weiterer Kernbestandteil der Maßnahme Tank- und Rastanlage der Zukunft ist die Wasserstofftech-

⁷⁶ Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH, Vergabeunterlagen, Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, 2015

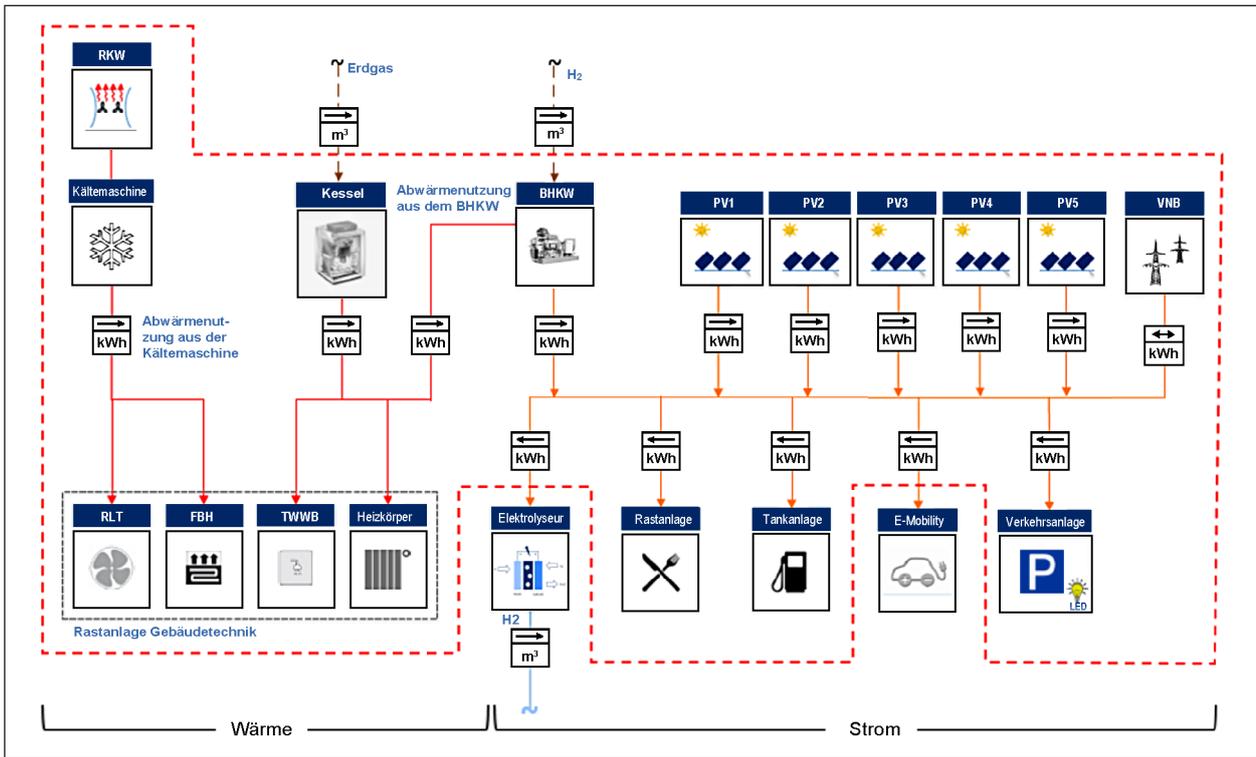


Bild 46: Definierter Bilanzrahmen für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH, 2015

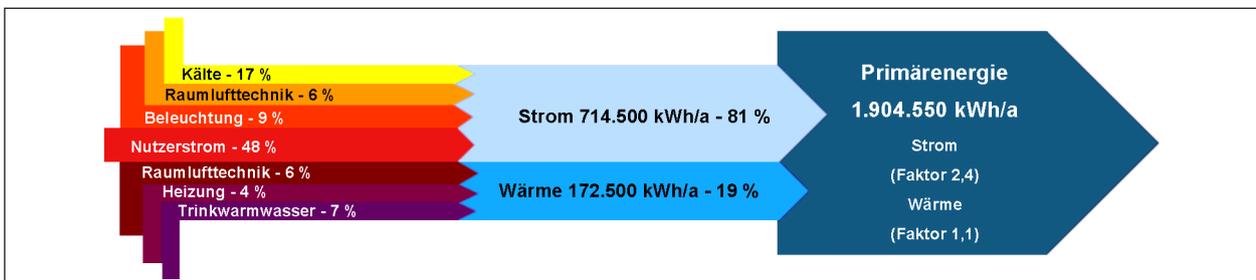


Bild 47: Übersicht über den Energiebedarf für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH

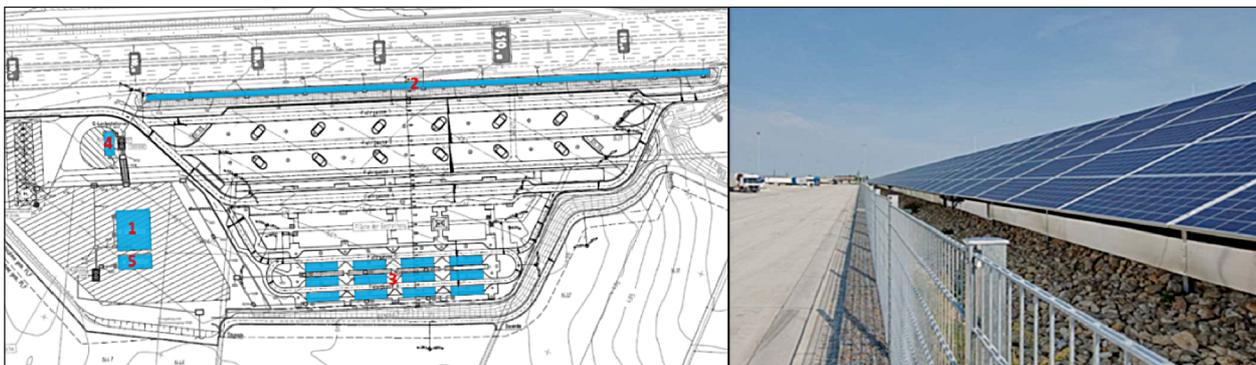


Bild 48: links: Mögliche Startorte der Photovoltaikmodule für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH; rechts: Photovoltaikmodule auf dem Lärmschutzwall; Quelle: Autobahn Tank & Rast Gruppe GmbH & Co. KG, Erfahrungsbericht zur „Raststätte der Zukunft“ Fürholzen West

nologie. Wie auch schon beim Stromverbrauch sollen die vorhandenen Potenziale am Standort maximal ausgenutzt werden und energetische Verluste auf ein Minimum reduziert werden. Dazu wird der überschüssige Strom der Photovoltaikanlage zum Betrieb eines Elektrolyseurs verwendet, der die elektrische Energie in Wasserstoff umwandelt (Power to Gas). Das so erzeugte Gas kann einerseits zur Betankung von Fahrzeugen mit einer Brennstoffzelle und andererseits als Brennstoff für das BHKW verwendet werden. Der somit entstandene Wasserstoff-Kreislauf ist in Bild 49 dargestellt. Falls zusätzliche Bedarfe an Wasserstoff bestehen, können diese durch einen Flüssig-Tank bedient werden. Der Tank kann durch externe Wasserstoffanlieferungen befüllt werden.

Eine wesentliche Grundlage zur Umsetzung des Gesamtenergiekonzepts bildet das Lastmanagement in Kombination mit einem Smart-Grid, welches die Energieerzeuger und -verbraucher geeignet miteinander vernetzt. Zudem muss es diese so steuern, dass die vor Ort erzeugte Energie optimal eingesetzt werden kann. Darüber hinaus muss es auftretende Spannungsspitzen mit einer geeigneten Regelstrategie glätten, um die Elektro-Infrastruktur sowie die öffentlichen Netze zu entlasten, die durch die E-Mobility und die Photovoltaikanlagen entstehen. Über ein Zählerkonzept kann der Umsatz der Energieerzeuger und -verbraucher erfasst werden und ein bilanztechnischer Nachweis ermittelt werden.

Umgesetzt wurde das Konzept vom Konzessionär Autobahn Tank & Rast GmbH. Nach knapp 9 Monaten Bauzeit und Investitionen des Konzessionärs

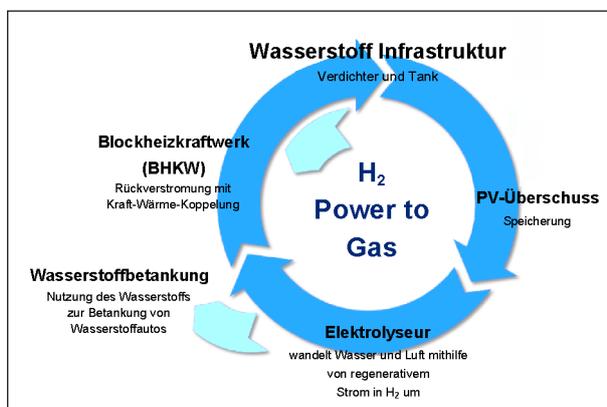


Bild 49: Wasserstoff-Innovationskreislauf für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH

von ca. 20 Mio. Euro ist in Fürholzen West die „Raststätte der Zukunft“ am 1. September 2017 in Betrieb gegangen.

4.9.4 Ergebnis

Entstanden ist eine Anlage mit ca. 1.700 m² Grundfläche. Neben den gastronomischen Ausstattungsmerkmalen verfügt die Anlage über 10 Pkw- und 4 Lkw-Tankplätze mit Standardprodukten, Flüssiggas (LPG) sowie Erdgas (CNG). Zudem stehen für die Elektromobilität zwei Ladesäulen mit 300 kW und zwei Ladesäulen mit 175 kW mit insgesamt 8 Ladepunkten zur Verfügung. Darüber hinaus wird Wasserstoff (CCH₂/CGH₂) an zwei Wasserstoffsäulen angeboten.

Das Wärme-, Kälte- und Stromerzeugungskonzept wurde entsprechend der Vorgaben nach dem Energie-Plus-Standard aufgebaut. Auf einer Fläche von ca. 7.200 m² (Carpools, E-Ladesäulen und Lärmschutzwand) wird mit den Photovoltaikanlagen (1,3 MW_{peak}) der Primärenergieverbrauch der Rastanlage zu mehr als 110 % gedeckt. Nach regelstrategischer Vorgabe wird der PV Strom zunächst zur Deckung des Eigenbedarfes der T&R Anlage genutzt, im Anschluss zur Versorgung der E-Mobilität zur Verfügung gestellt und danach zur Ladung des Batteriespeichersystems (224 kW). Der danach überschüssige PV-Strom wird in dem Elektrolyseur (200 kW_{el}) in Wasserstoff umgewandelt und in einem gasförmigen GH₂-Speicher (100 kg) gelagert. Daraus wird der regenerativ erzeugte Wasserstoff entweder zur Betankung von Fahrzeugen entnommen oder in der Nacht in einem Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk in Wärme (7,2 kW_{th}) und Strom



Bild 50: E-Ladesäulen auf der Tank- und Rastanlage Fürholzen West; Quelle: Autobahn Tank & Rast Gruppe GmbH & Co. KG, Erfahrungsbericht zur „Raststätte der Zukunft“ Fürholzen West

(10,4 kW_{el}) umgewandelt. Der nach Einhaltung der Regelstrategie dann überschüssige PV-Strom wird in das öffentliche Netz, zur Direktvermarktung, eingespeist. Als erstes Raststätten-Gebäude in Deutschland erhält die Tank- und Rastanlage Fürholzen West damit die Auszeichnung „Klimapositiv“ (auf Basis der ermittelten Werte von 2019), welches den positiven Beitrag des Gebäudes zum Klimaschutz würdigt⁷⁷.

Erfahrungen der Autobahn Tank und Rast GmbH als Betreiber der Tank- und Rastanlage der Zukunft

Die seit der Eröffnung der Anlage am 1. September 2017 gemachten Erfahrungen und Auswertungen wurden vom Konzessionär in einem Erfahrungsbericht zusammengefasst⁷⁸. Ein besonderer Fokus lag insbesondere auf dem Energie-Plus-Standard, welcher Anhand der Primärenergiebilanz mit der Unterstützung eines Prüfungsdienstleisters für die ersten beiden Betriebsjahre ausgewertet wurde. Mit einem Überschuss von 12,2 %⁷⁹ und 11,6 %⁸⁰ lag der Wert jeweils über der Forderung von 10 % des Baulastträgers. Erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist, dass in den beiden ausgewerteten Betriebsjahren es jeweils zu teilweisen Ausfallzeiten (ca. 6 Wochen im ersten Betriebsjahr und ca. 4 Wochen im zweiten Betriebsjahr) der Photovoltaikanlagen gekommen ist, sodass grundsätzlich ein deutlich höherer Überschuss möglich gewesen wäre (im zweiten Betriebsjahr ca. 20 %).

Weiterhin wird vom Konzessionsnehmer im Rahmen eines Erfahrungsberichts⁷⁸ erläutert, dass die Photovoltaikmodule im Peak bis zu 1,3 MW Strom produzieren können, die Anlage durchgehend arbeitet und ausreichend Energie für das Gesamtsystem erzeugt wird. Ursprünglich angenommene Be-

triebsstörungen aufgrund von Vandalismus an den Photovoltaikmodulen haben sich nicht bestätigt.

Kritisch wird vom Betreiber die Kapazität der verbauten Pufferbatterie gesehen (224 kWh). Das System ist grundsätzlich technisch ausgereift, jedoch ist der Betrieb der Anlage damit nur 2 bis 3 Stunden möglich. Auf Basis der gesammelten Erfahrungen wäre die Sicherstellung des Betriebs für 8 bis 10 Stunden wünschenswert, was eine Erhöhung der Speicherkapazität auf ca. 1 MW bedeuten würde.

Grundsätzlich wird die Gebäudeleittechnik kombiniert mit der Verbrauchserfassung als Grundlage für die Regelstrategie und zur Steuerung der Einzelkomponenten sowie zum Automatikbetrieb als sehr effizient vom Betreiber bewertet. Weiterhin wird die Möglichkeit zur Fernüberwachung der gesamten Anlage als positiv eingestuft.

Bezüglich der Mobilitätsversorgung hat der Konzessionsnehmer erste Erfahrungswerte mit den installierten Schnellladestationen sowie den Wasserstofftankstellen sammeln können. An den Schnellladestationen finden derzeit (08/2020) insgesamt durchschnittlich 7 Ladevorgänge pro Tag statt. Diesbezüglich ist zu beachten, dass die Auslastung aufgrund der SARS-CoV-2 Pandemie im Betrachtungszeitraum reduziert ist. Die Auslastung wird durch die Anzahl der vorhandenen Ladesäulen sehr gut abgedeckt. Für die Anzahl der Betankungen mit Wasserstoff wurde für das erste Halbjahr 2019 ein Wert von durchschnittlich 0,5 Betankungen pro Monat mit durchschnittlich 2 kg Tankinhalt registriert. Erwähnenswert ist, dass sich die 0,5 Betankungen nur auf den komprimierten, gasförmigen Wasserstoff (CgH² 700 bar) beziehen. Eine Nachfrage nach tiefkalten, gasförmigen Wasserstoff (CcH² 300 bar) besteht bisher nicht. Aus diesem Grund wird eine mögliche Umrüstung der CcH² Anlage auf CgH² diskutiert. Vorteil der Umrüstung wäre, dass in Zukunft der Wasserstoff zu 100 % mithilfe des Stroms der Photovoltaikanlage lokal erzeugt werden kann. Eine Entscheidung dazu steht derzeit noch aus.

4.9.5 Bewertung und Ausblick

Das entwickelte Konzept zur Realisierung des Energie-Plus-Standards sowie die reale Umsetzung der Tank- und Rastanlage der Zukunft wird als erfolgreich bewertet.

Mit der Realisierung des im Vorfeld detailliert ausgearbeiteten Machbarkeitskonzepts mit einherge-

⁷⁷ https://tank.rast.de/presse/news-details.html?tx_news_pi1%5Bnews%5D=225&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=73a6de09a4c0bc5eb98344c39803426d (Abruf 04/2021)

⁷⁸ Autobahn Tank & Rast Gruppe GmbH & Co. KG, Erfahrungsbericht zur „Raststätte der Zukunft“ Fürholzen West

⁷⁹ TÜV SÜD, Unterstützung bei der Prüfung und Auswertung der Primärenergiebilanz im 1. Betriebsjahr an der Tank- und Rastanlage Fürholzen West einschließlich Stellungnahme

⁸⁰ TÜV SÜD, Unterstützung bei der Prüfung und Auswertung der Primärenergiebilanz im 2. Betriebsjahr an der Tank- und Rastanlage Fürholzen West einschließlich Stellungnahme

henden Vorgaben zum minimalen Energieverbrauch, der regenerativen Stromerzeugung durch Photovoltaik, dem Wasserstoff-Innovationskreislauf und der intelligenten Vernetzung der Energieerzeuger und -verbraucher durch ein Lastmanagement wurde eine innovative Lösung gefunden. Die Effizienz der Anlage kann u. a. mit den Ergebnissen zu den erzielten Überschüssen in der Primärenergiebilanz der ersten zwei Betriebsjahre belegt werden. In den Folgejahren ist ebenfalls mit einer positiven Primärenergiebilanz zu rechnen. Aufgrund der positiven Ergebnisse ist eine Übertragung des Konzepts bei der Planung künftiger Tank- und Rastanlagen zu prüfen. Zudem sollte auch bei geplanten Umbauten/Modernisierungen bestehender Anlagen eine Übertragung zumindest einzelner Aspekte jeweils geprüft werden, da diese zur Erreichung der Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie als auch der globalen Umsetzungsstrategie zur Agenda 2030 (Sustainable Development Goals, SDGs) beitragen können.

Die Auslastung der Stromladesäulen deckt, laut den Erfahrungen des Konzessionärs, den derzeitigen Bedarf gut ab. Mit der Installation der Ladepunkte leistet die Tank- und Rastanlage der Zukunft einen Beitrag, den Aufbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland zu unterstützen, welche derzeit über ca. 28.000⁸¹ öffentliche Ladepunkte verfügt. Einhergehend mit der ebenfalls stetigen Zunahme der zugelassenen E-Fahrzeuge und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge ist zukünftig mit einer steigenden Auslastung zu rechnen. Dieser Entwicklung kann die Tank- und Rastanlage der Zukunft durch die eingeplante Skalierbarkeit der vorhandenen Stromladesäulen-Infrastruktur begegnen.

Bezüglich der Nachfrage nach einer Betankung mit Wasserstoff, zeigen die Erfahrungen des Konzessionärs bisher ein niedriges Niveau. Dies ist aufgrund der insgesamt relativ geringen Zahl der zugelassenen Brennstoffzellenfahrzeuge in Deutschland nachvollziehbar. Um die Attraktivität in der Bevölkerung und der Wirtschaft für den Erwerb entspre-

chender Fahrzeuge zu steigern, ist der Ausbau der Wasserstofftankstellen ein entscheidender Faktor. Mit derzeit 84⁸² Wasserstofftankstellen in Deutschland (europaweit sind es 134) ist man von einer flächendeckenden Versorgung noch weit entfernt. Aus diesem Grund ist ein weiterer Ausbau auch auf weiteren Tank- und Rastanlagen als sinnvoll zu erachten. In Deutschland sind derzeit 507 Pkw mit Brennstoffzelle zugelassen⁸³.

4.10 Intelligenter Reißverschluss – Baustellenoptimierung

4.10.1 Ausgangssituation

In Deutschland wurden im Jahr 2019 ca. 708.500 Staus auf Autobahnen registriert, welche mit einer Gesamtlänge von etwa 1.423.000 Kilometern (2019) ein Vielfaches des Umfangs der Erde ausmachen. Zur Statistik zählen der Stau mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit kleiner als 20 km/h sowie der stockende Verkehr mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen 20 und 40 km/h⁸⁴. Betrachtet man die Gesamtdauer der gemeldeten Staus über die vergangenen Jahre, so ist insgesamt ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen (siehe auch Ausführungen und Bild 1 in Kapitel 1). Auslöser für Stau sind u. a. das stetig wachsende Mobilitätsbedürfnis bzw. die stetig wachsende Zahl der zugelassenen Fahrzeuge. Prognosen zufolge wird sich diese in den nächsten Jahren insbesondere für den Güterverkehr weiter erhöhen.

Ein Großteil des Verkehrsaufkommens entfällt auf die Bundesautobahnen (BAB). Diese wurden zumindest in den westlichen Bundesländern zwischen 1965 und 1985 für den Verkehr frei gegeben und sind zunehmend sanierungsbedürftig. Insbesondere der wachsende Güterverkehr wird in den kommenden Jahren zu einer weiteren Verschlechterung beitragen. Resultat der beschriebenen Entwicklungen ist eine steigende Anzahl von Arbeitsstellen auf den Autobahnen, um benötigte Sanierungen durch-

⁸¹ <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/zdw-jeder-zehnte-deutsche/> (Abruf 12/2020)

⁸² <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/wasserstoffauto-so-funktioniert-es/> (Abruf 12/2020)

⁸³ <https://www.spiegel.de/auto/wasserstoff-autos-diese-modelle-gibt-es-in-deutschland-zu-kaufen-a-088cfeed-f8c5-4fdc-a773-cfbf5e18749d> (Abruf 12/2020)

⁸⁴ ADAC; <https://www.adac.de/verkehr/verkehrsinformationen/staubilanz-alt/> (Abruf 11.12.2020)

zuführen. Damit geht zumeist die unvermeidbare Sperrung von Fahrstreifen einher, was voraussichtlich zu weiteren Staus und auch Unfällen an den Stauenden führen wird.

4.10.2 Zielsetzung

Eine Möglichkeit Staus vor den Arbeitsstellen zu verhindern oder zumindest zu verkürzen ist eine geeignete Optimierung des Verkehrsablaufs im Vorfeld der Fahrstreifenreduzierung. Ziel der Maßnahme „Intelligenter Reißverschluss“ war es deshalb, neue Verfahren zur optimierten Verkehrsbeeinflussung mittels temporärer Telematik im Vorfeld von Arbeitsstellen zu entwickeln.

In Abhängigkeit von der Verkehrsdichte soll mit einer Steuerung intelligent entschieden werden, ob das Einordnen der Verkehrsteilnehmer über eine längere Strecke hinweg erfolgen soll oder ob das bisherige Reißverschlussprinzip am Ende des einzuziehenden Fahrstreifens angewendet wird, um mithilfe der zu konzipierenden Anlage die Verkehrsteilnehmer beim Fahrstreifenwechsel zu unterstützen (siehe Bild 51). Letztlich sollen durch die bedarfsgerechte Signalisierung des Verkehrs, unnötige Bremsvorgänge vermieden und die Kapazität der Autobahn länger aufrechterhalten werden. Weiterhin soll die Anlage es auch ermöglichen, die zulässige Höchstgeschwindigkeit an die jeweilige Verkehrsnachfrage anzupassen. Beispielsweise erfolgt bei einer geringen Verkehrsnachfrage kein Eingriff. Ist diese jedoch hoch, ist das Ziel der Steuerung, durch die Verlangsamung des Verkehrs im Verflechtungsbereich, die Engstelle auf dem Niveau ihrer Kapazität zu betreiben und eine Staubildung zu verhindern.

Erste theoretische Grundlagen sind dazu im Rahmen der wissenschaftlichen Studie „Entwicklung

einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“ (FE 03.0533/2015/FRB, externe Forschung der BASt) erarbeitet worden. Gesamtziel der Studie war es, eine Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage zu entwickeln, welche die Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit an Engstellen erhöht. Teilaspekte waren hierbei sowohl die Entwicklung eines Steuerungsverfahrens als auch die Detektion des Verkehrsflusses sowie einer entsprechenden Signalisierung⁸⁵. Die theoretisch hergeleitete verkehrsabhängige Steuerung soll im Vorfeld der Arbeitsstelle zur Optimierung des Verkehrsflusses dienen. Diese Grundlagen sollten im Rahmen des Digitalen Testfeldes Autobahn praktisch erprobt und wissenschaftlich evaluiert werden.

Zunächst sollten insbesondere Konzepte entwickelt bzw. weiterentwickelt werden, die theoretischen Grundlagen verfeinert sowie eine praktische Erprobung auf dem Digitalen Testfeld Autobahn stattfinden. Jedoch erfolgte keine entsprechende Umsetzung, da im Projektzeitraum keine geeignete Arbeitsstelle auf der A9 eingerichtet worden ist. Benötigt worden wäre insbesondere eine Arbeitsstelle, welche eine Evaluation über einen längeren Zeitraum ermöglicht. Zudem muss die Arbeitsstelle zu einer Reduzierung von mindestens einem befahrbaren Fahrstreifen führen. Bei der Reduzierung von mehreren Fahrspuren können entsprechend komplexere Situationen untersucht werden. Weiterhin

⁸⁵ Projektschlussbericht „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“, HEINRICH, T.; MAIER, F. W.; PAPAGEORGIOU, M.; PAPAMICHAIL, I.; SCHÖBER, C.; STAMATAKIS, I.; TRANSVER GmbH Verkehrsforschung und Beratung München, BASt-Bericht V302, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1889/file/V302_barrierefreies_ELBA_PDF.pdf

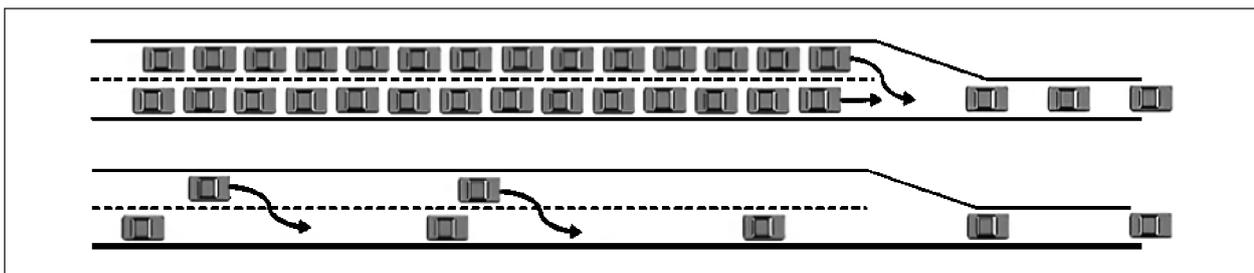


Bild 51: Reißverschlussverfahren bei freiem Verkehr und stockendem Verkehr, Quelle: Projektschlussbericht „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“, HEINRICH, T.; MAIER, F. W.; PAPAGEORGIOU, M.; PAPAMICHAIL, I.; SCHÖBER, C.; STAMATAKIS, I.; TRANSVER GmbH Verkehrsforschung und Beratung München, BASt-Bericht V302, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1889/file/V302_barrierefreies_ELBA_PDF.pdf

sind folgende infrastrukturseitige Einrichtungen notwendig:

- Wechselverkehrszeichen
- Detektoren für die Verkehrsdatenerfassung
- Energieversorgung
- Datenübertragung

In den folgenden Kapiteln der Beschreibung zum Intelligenten Reißverschluss wird auf die Durchführung, das Ergebnis sowie auf die Bewertung und Ausblick der bereits durchgeführten Studie eingegangen.

4.10.3 Durchführung

Grundlage für die Studie „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“ war die Entwicklung einer Mikrosimulation, um das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer stromaufwärts einer Arbeitsstelle bei unterschiedlichen Steuerungsstrategien nachbilden zu können. Für die Umsetzung der Simulation wurde das sogenannte Intelligent-Driver-Modell (IDM) gewählt. Wesentliche Arbeitsschritte, um das Modell für den Anwendungszweck einsetzen zu können, waren die Kalibrierung sowie die Validierung des Modells. Für die Kalibrierung wird das Modell mithilfe von realen Verkehrsdaten in einem iterativen Prozess so angepasst, bis eine ausreichend hohe Übereinstimmung des Modells mit der Realität anhand ausgewählter Kenngrößen erreicht wird. Im Rahmen der Validierung des Simulationsmodells ist, unter Verwendung der gleichen Parameter wie bei der Kalibrierung, die Übereinstimmung des Modells mit der Realität überprüft worden. Dazu erfolgte die Nachbildung eines empirischen Datensatzes unter der Voraussetzung, dass dieser nicht für die Kalibrierung des Modells herangezogen wurde.

Weiterhin erfolgten die Ausarbeitung des regelungstechnischen Entwurfs und die Simulation. Das angestrebte Grundkonzept führte zur Festlegung entsprechender Führungs-, Stell- und Regelgrößen und sieht für die Reduktion der Fahrbahn um einen Fahrstreifen stromaufwärts der Engstelle drei Beeinflussungszonen vor (siehe Bild 52). Unmittelbar vor der Engstelle befindet sich die Beschleunigungs- und Spurwechselzone (BSZ). Sie ist mindestens 300 m lang und soll mittels Steuerungsmaßnahmen möglichst staufrei gehalten werden. Mithilfe der an der stromaufwärtigen Grenze der Zone befindlichen

Kapazität-VGB (variable Geschwindigkeitsbeschränkung) wird die Maximierung der Kapazität in der Engstelle angestrebt. Angrenzend an die BSZ befindet sich stromaufwärts die Zurückhalte- bzw. Drosselungszone (ZDZ), welche ebenfalls mindestens 300 m lang ist. Wird die Kapazität der Engstelle überschritten, wird an der stromaufwärtigen Zonengrenze die Geschwindigkeit herabgesetzt (an der ZD-VGB, siehe Bild 52), sodass die Bildung von Staus direkt an der Engstelle und den damit verbundenen Einbruch der Kapazität vermieden werden. Stromaufwärts vor der ZDZ befindet sich die Geschwindigkeitstrichterzone (GTZ), welche eine oder mehrere Trichter-VGB zur Reduzierung der Geschwindigkeit ankommender Fahrzeuge in Mindestabständen von 500 m beinhaltet.

Für die Ermittlung der notwendigen Eingangsgrößen der Steuerungsfunktionen sind eine Reihe von Messquerschnitten vorgesehen (siehe Bild 52). Dazu zählen die Messung der Belegungsgrade direkt an der Engstelle (ES-Messung) sowie die stromaufwärtigen BSZ- und Trichter-Messungen, welche jeweils die mittlere Geschwindigkeit ermitteln. Als Stellglieder dienen die variablen Geschwindigkeitsbeschränkungen (Kapazität-VGB, ZD-VGB, Trichter-VGB) sowie die Fahrstreifenwechselsignalisierung (FWS). Wenn die BSZ staufrei ist, zeigt die FWS auf Früh-Einfädeln, um komfortable, sichere und effiziente Fahrstreifenwechselbedingungen zu gewährleisten. Bei niedrigen Geschwindigkeiten wird das Einfädeln nach dem Reißverschlussprinzip angezeigt. Das Steuerungsintervall für die Simulation wurde auf eine Minute festgelegt.

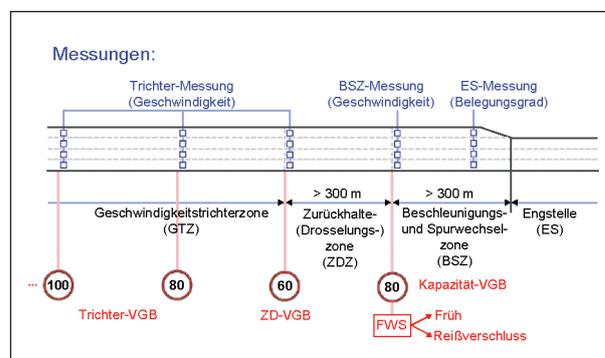


Bild 52: Grundkonzept der Verkehrssteuerung stromaufwärts einer Arbeitsstelle; Quelle: Projektschlussbericht „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“, HEINRICH, T.; MAIER, F. W.; PAPAGEORGIOU, M.; PAPAMICHAIL, I.; SCHÖBER, C.; STAMATAKIS, I.; TRANSVER GmbH Verkehrsforschung und Beratung München, BAST-Bericht V302, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1889/file/V302_barrierefreies_ELBA_PDF.pdf

Weitere Aspekte die im Rahmen der Studie untersucht wurden sind u. a. die Anzeigehalte und -technologien, das Detektionskonzept, die Energieversorgung, die Datenübertragung, das Ausfallkonzept, das Kommunikationskonzept sowie das Signalisierungskonzept. Weiterhin wurde eine Befragung von Verkehrsteilnehmern und Experten durchgeführt.

4.10.4 Ergebnis

Im Kern der theoretischen wissenschaftlichen Studie sind zur Entwicklung der Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage zwei Komponenten betrachtet worden, die Fahrstreifenwechselsignalisierung und die verkehrsabhängige Geschwindigkeitsbeschränkung, welche unabhängig voneinander betrieben werden können und über einen Regelkreis gesteuert werden sollen. Ziel der Verkehrssteuerung ist es, die Geschwindigkeit sowie die Anzeige zum Wechsel der Fahrstreifen an das Verkehrsaufkommen anpassen zu können. Bei freiem Verkehr kann so die Geschwindigkeit beispielsweise

se deutlich höher als bei dichtem Verkehr vorgegeben werden, sodass eine Verdichtung des Verkehrs möglichst verhindert bzw. verzögert wird (siehe Bild 53).

Die simulationsbasierte Studie hat gezeigt, dass eine stauindernde Dosierung des Verkehrs über Geschwindigkeitsbeschränkungen möglich ist. Diese erfordert jedoch bei zunehmender Verkehrsstärke auch eine Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 40 km/h. Bezüglich der Untersuchungen zur Signalisierung des optimalen Ortes für einen Fahrstreifenwechsel in Abhängigkeit der Verkehrsstärke weisen die simulativ ermittelten Erkenntnisse ebenfalls in eine positive Richtung. Eine dynamische Signalisierung erwies sich in der Simulation als wirksam.

Im Rahmen der durchgeführten Studie wurden unterschiedliche Technologien für die o. g. infrastrukturseitigen Einrichtungen miteinander verglichen. Für die Wechselverkehrszeichen wird die LED-Technologie empfohlen. Diese ermöglicht die Darstellung unterschiedlicher Anzeigen und verfügt

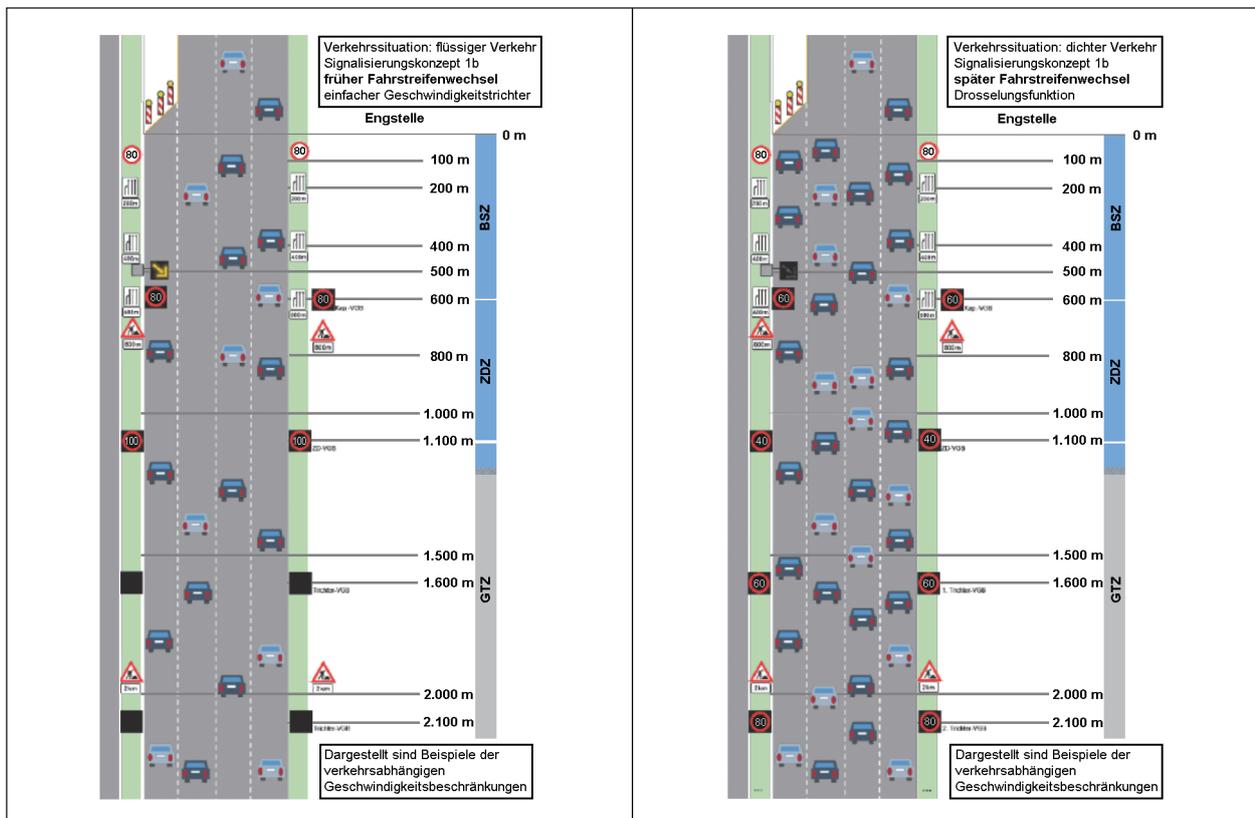


Bild 53: Vorgehen intelligentes Reißverschlussverfahren bei flüssigem Verkehr und dichtem Verkehr, Quelle: Projektschlussbericht „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“, Thomas Heinrich, Frank W. Maier, Markos Papageorgiou, Ioannis Papamichail, Christin Schober, Ioannis Stamatakis, TRANSVER GmbH Verkehrsforschung und Beratung München, BAST-Bericht V302, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/in dex/docId/1889/file/V302_barrierefreies_ELBA_PDF.pdf

z. B. gegenüber der Prisma-Technologie über ein größeres Repertoire an Anzeigen. Zudem werden aufgrund der Vergleichsergebnisse für die Detektoren die Nutzung von Seitenradaren und zur Energieversorgung die Verwendung von Photovoltaikanalagen angeraten. Die Datenübertragung sollte drahtlos erfolgen und muss die Anforderungen an die Datensicherheit und zum Datenschutz berücksichtigen. Die genannten Vorschläge der Studie lassen aber weitere Lösungswege offen. So kann beispielsweise auch eine kabelgebundene Verbindung zwischen den Detektoren und der Vorortsteuerung sinnvoll bzw. notwendig sein, wenn dies die Datenübertragungsrate erfordert.

Des Weiteren ist im Vorfeld einer derartigen Erprobung, neben der Definition der notwendigen Randbedingungen für eine praktische Erprobung, auch ein entsprechendes Bewertungskonzept für die Umsetzung zu erarbeiten. Dieses wurde bisher nicht umgesetzt, da die fahrstreifenweise Signalisierung des Fahrstreifenwechsels gemäß existierender Regelwerke hinsichtlich der Kosten für eine zeitlich begrenzte, temporäre Anwendung vor Arbeitsstellen als zu hoch zu bewerten ist⁸⁵.

4.10.5 Bewertung und Ausblick

Die Ergebnisse der Studie, die vor der eigentlich geplanten praktischen Umsetzung auf dem Digitalen Testfeld Autobahn durchgeführt worden ist, haben gezeigt, dass der Einsatz einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage in bestimmten Situationen zu einer Verbesserung des Verkehrsflusses führt und somit zu einer Reduzierung von Stau bzw. stockendem Verkehr beitragen kann. Allerdings müssen einige Randbedingungen vor Umsetzung in der Praxis erfüllt sein bzw. die Ausführung auf Basis existierender Regelwerke führt derzeit zu einem hohen Kostenansatz.

Wie dargestellt erfolgte eine praktische Umsetzung bisher nicht. Unter Berücksichtigung der möglichen positiven Einflüsse auf den Verkehr und vor dem Hintergrund einer stetig wachsenden Verkehrsleistung sowie der zu erwartenden notwendigen Sanierungsmaßnahmen ist der Einsatz einer entsprechenden Anlage grundlegend als sinnvoll zu erachten. Zur weiteren Ausgestaltung des Systems und zur Klärung der noch offenen Fragen sollte eine praktische Erprobung angestrebt werden. Aufgrund der hohen Kosten und des teilweise recht hohen Implementierungsaufwandes, insbesondere an

temporären Arbeitsstellen, sollte die Erprobung möglichst an einer Lokalisation mit schon vorhandener Fahrstreifenwechselsignalisierung und verkehrsabhängiger Geschwindigkeitsbeschränkung erfolgen. Die Erstellung eines entsprechenden Bewertungskonzepts ist dafür die Grundlage, deren Erarbeitung jedoch ohne eine konkrete Planung zur praktischen Erprobung als nicht sinnvoll zu bewerten ist.

4.11 Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen

4.11.1 Ausgangssituation

Bei Kontrollen von Fahrzeugen auf Autobahnen durch das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) wurden Fahrzeuge bisher durch auf der Bundesautobahn (BAB) stehendes BAG-Kontrollpersonal manuell ausgeleitet. Aus Gründen der Arbeitssicherheit für das BAG-Kontrollpersonal sowie der allgemeinen Verkehrssicherheit besteht der Bedarf, das bisherige Ausleitverfahren durch eine technische Ausleitmethode zu ersetzen. Im Projekt „Sicheres Anhalten von Kraftfahrzeugen und Fahrzeugkombinationen bei (Stand-)Kontrollen des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) auf Autobahnen“ (FE 82.0520/2011)⁸⁶ wurde eine automatisierte Ausleitmethode entwickelt, die ein Betreten der Autobahn

⁸⁶ Kurzbericht Sicheres Anhalten von Kraftfahrzeugen und Fahrzeugkombinationen bei (Stand-)Kontrollen des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) auf Autobahnen, http://www.bast.de/DE/Presse/Downloads/2014-04-sicheres-ausleiten-bag-kurz.pdf?__blob=publicationFile (Abruf 01/2021).



Bild 54: Herkömmliches Ausleitverfahren des BAG, Quelle: Bundesamt für Güterverkehr (BAG)

in Funktion des Ausleitpostens durch das Kontrollpersonal nicht mehr erforderlich macht. Bei dieser Ausleitmethode kommen neben einer Bedienstation auch Kameratechnik und eine LED-Ausleitanzeige zum Einsatz. Die Ergebnisse des Projektes zeigten, dass „im Vergleich zum derzeit angewandten, klassischen Ausleiten durch einen BAG-Kontrollleur [...] unter den gegebenen verkehrlichen Umständen an unterschiedlichen Kontrollplätzen mit dem automatischen Ausleiten im Schnitt deutlich höhere Ausfahr- und Kontrollraten erzielt werden“⁸⁷.

Anfang September 2017 wurde die erste Pilotanlage für das „Sichere Ausleiten bei BAG Standkontrollen“ am Parkplatz mit WC (PWC) Sophienberg im Rahmen des Digitalen Testfelds Autobahn (DTA) an der A9 offiziell in Betrieb genommen. Weitere vier Standorte – in Hessen am PWC Theistal an der A3, in Nordrhein-Westfalen am PWC Allenstein an der A2, in Brandenburg am PWC Schieferberg an der A10 und in Schleswig-Holstein am PWC Ellerbrook an der A1 – wurden ebenfalls eingerichtet und sind in Betrieb, siehe Bild 55. Die Hauptziele der neuen Ausleittechnik sind das gefahrlose Ausleiten der Fahrzeuge, die direkte Ansprache des Fahrzeugführers und ein effizienter Ablauf der Standkontrollen.

Die genannten Pilotanlagen können zum sicheren Ausleiten von Lkw, Bussen und Fahrzeugen mit Anhängern mittels Pulk-Ausleitung sowie der individuellen Fahrzeugausleitung in Form der Aufschaltung des amtlichen Kennzeichens (Kennzeichen-Ausleitung bzw. Individual-Ausleitung) genutzt werden und sind sich untereinander ähnlich. Sie bestehen aus der Vorerfassung durch eine Kennzeichenerfassungs- und eine bersichtskamera, einer Ausleittafel inklusive einer weiteren bersichtskamera und der Steuerungseinheit, welche sich mithilfe einer WLAN-Verbindung über einen Laptop vom jeweiligen PWC aus bedienen lässt. Eine Ausnahme bildet der Pilotstandort Allenstein, bei dem keine Vorerfassung des Kennzeichens stattfindet. Das

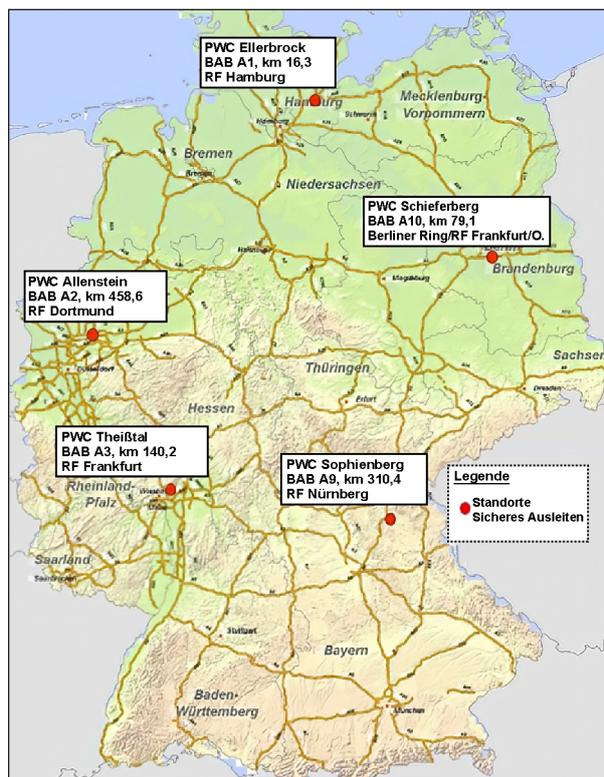


Bild 55: Übersichtskarte zu Pilotstandorten, Quelle: Bundesamt für Güterverkehr (BAG)

heißt, dass an diesem Standort keine Individual-, sondern nur eine Pulk-Ausleitung möglich ist.

Im Rahmen des von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragten Projekts „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ (FE 03.0541/2015) wird durch eine begleitende Systemevaluation der Maßnahme „Sicheres Ausleiten bei BAG-Stationen“⁸⁸ die neue Ausleittechnik an den Pilotstandorten umfassend evaluiert. Eine detaillierte Beschreibung der Systemevaluation und der Ergebnisse kann dem Abschlussbericht „Begleitende Systemevaluation der Maßnahme ‚Sicheres Ausleiten bei BAG Stationen‘“ entnommen werden.

⁸⁷ Sicheres Ausleiten des Verkehrs während einer BAG-Kontrolle: [Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben... FE 82.0520/2011...]/DINER, E.; KEMPER, D.; OESER, M.; SKOTTKE, E.-M.; MSSELER, J. – Bremen: Fachverlag NW in der Carl Schnemann Verlag GmbH, 2014. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik/Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau; Heft 1104), ISBN 978-3-95606-064-9

⁸⁸ Schlussbericht Begleitende Systemevaluation der Maßnahme „Sicheres Ausleiten bei BAG Stationen“ (2021); M.Sc. FEHN, F.; Dr.-Ing. SPANGLER, M.; Dipl.-Ing. MARGREITER, M.; Univ.-Prof. Dr.-Ing. BOGENBERGER, K. Lehrstuhl für Verkehrstechnik, TU München; M.Sc. EMMERMANN, B.; M.Sc. LEHSING, C.; Univ.-Prof. Dr.-Phil. BENGLER, K.; Lehrstuhl für Ergonomie, TU München; Dipl.-Ing. VIERKÖTTER, M.; M.Sc. NEDKOV, M.; TÜV Rheinland Consulting GmbH; Dr. FELDGES, M., AVT-Consult GmbH; Dipl.-Ing. HOLST, L., freier MA AVT-Consult GmbH

Im Folgenden werden die Evaluationsziele und die Ergebnisse in zusammengefasster Form wiedergegeben.

4.11.2 Zielsetzung

Mit der Umsetzung der Maßnahme „Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen“ werden Verbesserungen bei der Durchführung von Standkontrollen durch das BAG in mehreren Bereichen erwartet. Hauptsächliches Ziel der Maßnahme ist es, die Sicherheit des BAG-Kontrollpersonals während einer Standkontrolle zu erhöhen, indem eine technologische Alternative erprobt wird, bei der auf den Ausleitposten auf der BAB verzichtet werden kann. Weiterhin wird an den Pilotstandorten praktisch erprobt, wie sich die sichere Ausleittechnik in den realen Kontrollprozess integrieren lässt und welches Potenzial für die Effizienz und Qualität des Ausleitverfahrens besteht.

Der Ausleitposten erfüllt während einer konventionellen BAG-Standkontrolle mehrere Funktionen. Er ist am rechten Fahrbahnrand postiert, um die Auswahl eines zu kontrollierenden Fahrzeuges vorzunehmen und dieses ausgewählte Fahrzeug durch händische Signalzeichen auf den Kontrollplatz auszuleiten. Die Auswahl eines Fahrzeuges für eine Standkontrolle erfolgt unter anderem auf Basis des Fahrzeugtyps, der Art der transportierten Güter und der optischen Erscheinung des Fahrzeugs. Die Entscheidung, ob ein Fahrzeug ausgeleitet werden soll, muss in einem vergleichsweise kurzen Zeitfenster vom Ausleitposten getroffen werden. Nachdem die Entscheidung zur Kontrolle eines Fahrzeuges getroffen wurde, fordert der Ausleitposten den Fahrzeugführer über ein Sichtzeichen mit Anhaltetafel zur Ausfahrt auf den Kontrollplatz auf. Durch die Positionierung am Fahrbahnrand im Allgemeinen und die möglicherweise kurzfristigen Ausfahrmanöver von ausgeleiteten Fahrzeugen ist das BAG-Kontrollpersonal während dieser Tätigkeit gefährdet. Eine technologische Alternative zur Erhöhung der Arbeitssicherheit muss daher dafür sorgen, dass kein Ausleitposten mehr am Fahrbahnrand postiert werden muss, aber gleichzeitig die Funktionen der Fahrzeugauswahl und der Übermittlung der Aufforderung zum Ausfahren gewährleistet sind.

Bei der Umsetzung der sicheren Ausleittechnik können wegen der grundlegenden Umgestaltung des Arbeitsprozesses weitere positive Effekte erzielt werden. Die entwickelte Ausleitmethode mit Kenn-

zeichenvorerfassung unter Zuhilfenahme von Kameras ermöglicht es beispielsweise, ein Fahrzeug gezielt nach unterschiedlichen optischen und technischen Aspekten auszuleiten. Durch die Anzeige von mit der Kamera erfassten Bildern bleibt dem BAG-Kontrollpersonal an der Steuerungseinheit mehr Zeit für die Entscheidung, welches Fahrzeug der Kontrolle unterzogen werden soll. Die sichere Ausleittechnik bietet weiterhin zusätzlich zum Ausleiten eines einzigen Fahrzeuges die Möglichkeit, auf einer LED-Anzeige flexibel die Ausfahrt aller Fahrzeuge einer bestimmten Verkehrsart, beispielsweise ausschließlich Lkw, durch eine sogenannte Pulk-Ausleitung anzuordnen. Auf diese Weise stehen bei einer BAG-Standkontrolle zusätzliche Durchführungsvarianten zur Verfügung und es kann eine effizientere Arbeitsweise des BAG-Kontrollpersonals ermöglicht werden. Es ist Ziel der begleitenden Systemevaluation, die Auswirkungen der sicheren Ausleittechnik bei BAG-Standkontrollen wissenschaftlich zu untersuchen. Folgende Aspekte werden bei der Systemevaluation betrachtet bzw. näher untersucht:

Verkehrstechnische Untersuchungen

- Empirische Untersuchungen am Standort PWC Sophienberg
- Befragungen von Lkw-Fahrenden und BAG-Kontrollpersonal zum Ausleitssystem

Technische Bewertung der Ausleittechnik

- Bewertung und Optimierung der Kennzeichen-erkennung
- Technische Bewertung und Optimierung der Datenkommunikation, der Anzeige, der Energieversorgung, der Sicherheit der IT Infrastruktur und der Funktionalitäten der Bedienung und der Visualisierungs-Software (BuV-Software)
- Weiterentwicklung der Komponenten und des Gesamtsystems

Ergonomische Untersuchungen

- Evaluation und Umgestaltung der aktuellen Anzeigehalte der Ausleittafel
- Evaluation und Umgestaltung der aktuellen BAG Bediensoftware

Untersuchungen zu flächendeckendem Ausbau der Ausleittechnik, zukünftiger Fahrzeug-Vernetzung und -Automatisierung sowie Regelplananpassungen

- Flächendeckender Ausbau der Ausleittechnik
- Zukünftige Entwicklung und deren Auswirkung auf die Ausleittechnik

4.11.3 Durchführung

Die Durchführung von BAG-Standkontrollen mit dem sicheren Ausleiten kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Ein Übersichtsplan des Aufbaus zum sicheren Ausleiten ist in Bild 56 dargestellt.

Im Vorlauf bzw. am Ort der Ankündigung der Verkehrskontrolle durch ein Verkehrszeichen am Streckenrand findet eine Bildaufzeichnung von passierenden Fahrzeugen mit Kennzeichenerfassung statt. Das aufgenommene Bild des Fahrzeuges dient dazu, dass sich das BAG-Kontrollpersonal an der Steuerungseinheit einen visuellen Eindruck vom Fahrzeug verschaffen kann. Soll ein Fahrzeug, dessen Kennzeichen erfasst wurde, einzeln ausgeleitet werden (Kennzeichen-Ausleitung bzw. Individual-Ausleitung), so wird auf der in LED-Technik ausgeführten Ausleitertafel das Kennzeichen des Fahrzeuges angezeigt mit der Aufforderung, zur Kontrolle abzufahren. Auf diese Weise wird ein Fahrzeug gezielt angesprochen. Alternativ kann auf die Ausleitertafel eine Aufforderung für alle Verkehrsteilnehmer einer bestimmten Verkehrsart aufgeschaltet werden. So können unter anderem Lkw, Busse oder Pkw mit Anhänger symbolisch mit einer Aufforderung zum Abfahren verknüpft dargestellt werden (Pulk-Ausleitung). Beispiele für beide Varianten der Ausleitung werden in Bild 57 dargestellt.

Im Rahmen der Systemevaluation der Maßnahme wurde zunächst eine Bestandsaufnahme existierender Systeme durchgeführt. Diese ergab, dass vor allem in Österreich und der Schweiz schon ähnliche Systeme im Einsatz sind, welche in der weiteren Evaluierung des deutschen Systems berücksichtigt wurden. Des Weiteren wurden bereits bestehende Projektberichte und Untersuchungen detailliert analysiert und ebenfalls in die Betrachtung integriert. Im Anschluss wurde ein Versuchsplan erarbeitet, welcher eine detaillierte Vor-Ort-Untersuchung am PWC Sophienberg und die Besichtigung aller weiteren aktiven Kontrollstandorte umfasste.

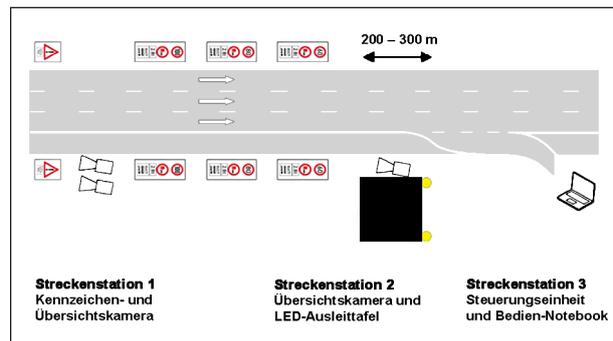


Bild 56: Übersichtsplan des Aufbaus zum sicheren Ausleiten bei BAG Standkontrollen, Quelle: Bundesamt für Güterverkehr (BAG)

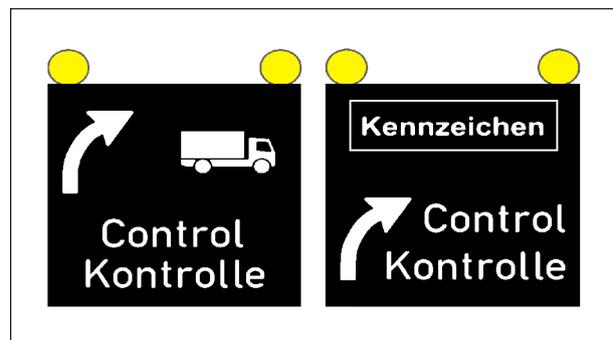


Bild 57: Beispiele angezeigter Inhalte der Ausleitertafel während einer Pulk-Ausleitung (links) und einer Individual-Ausleitung (rechts).

Verkehrstechnische Untersuchungen

In der Maßnahmenevaluation wurden weiterhin empirische Untersuchungen durchgeführt. Diese Untersuchungen gliederten sich in drei große Untersuchungsblöcke: die Untersuchungen am PWC Sophienberg, die standortübergreifende Befragung von Fahrzeugführern und des BAG-Kontrollpersonals sowie die Evaluierung der Anzeigehalte der Ausleitertafel. Am PWC Sophienberg wurden Videoaufzeichnungen im Bereich des Verzögerungsstreifens zur Ermittlung des Befolgungsgrades der Ausleitertafel sowie der Ermittlung des Zeitpunktes des Wechsels vom Hauptfahrstreifen auf den Verzögerungsstreifen (Sicherheit des Ausfahrmanövers) durchgeführt. Darüber hinaus fanden Videoaufzeichnungen im Bereich der Kennzeichenerfassung statt, um die Frage zu beantworten, ob Fahrzeugführer die Kennzeichenerfassung, welche nur entsprechende Fahrzeuge auf dem Hauptfahrstreifen detektiert, umfahren. Des Weiteren wurde das Geschwindigkeitsverhalten im Zulauf zum PWC Sophienberg mittels Radarmessgeräten während mehrerer Standkontrollen (jeweils über den gesam-

ten Zeitraum der Standkontrolle) untersucht. Parallel wurden an allen aktiven Pilotstandorten Parkplatzzählungen und Befragungen mit den Fahrzeugführern durchgeführt. Außerdem fand eine standortübergreifende Befragung des BAG-Kontrollpersonals statt.

Technische Bewertung der Ausleittechnik

Im Rahmen der technischen Bewertung der Ausleittechnik erfolgte eine Bewertung und Optimierung der Kennzeichenerkennung. Des Weiteren fand eine technische Bewertung und Optimierung der Datenkommunikation, der Anzeige, der Energieversorgung, der Sicherheit der IT Infrastruktur und der Funktionalitäten der Bedienung und Visualisierungs-Software statt. Abschließend wurde die Weiterentwicklung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems eingehend betrachtet und Empfehlungen diesbezüglich ausgesprochen.

Ergonomische Untersuchungen

Im Rahmen der ergonomischen Untersuchungen der TUM stand die Evaluation und Umgestaltung der aktuellen Anzeigehalte der Ausleit tafel sowie der aktuellen BAG Bedienssoftware im Fokus.

Für die Neugestaltung der Software, die vom BAG-Kontrollpersonal zum Ausleiten von Lkw verwendet wird, wurde zunächst der Status Quo der Software hinsichtlich grundlegender Usability-Kriterien analysiert. Durch das Durchlaufen von definierten Nutzungsszenarien, wie beispielsweise die Pulk- oder Individualausleitung und dem Erfassen von Tatbeständen, konnten Stärken und Schwächen der Software aus der Nutzersicht identifiziert werden. Für die verbesserte Gestaltung der Benutzungsoberfläche wurde in einer ersten Iteration in Form eines Pen-and-Paper-Prototyps neue Funktionsstrukturen realisiert. In weiteren Iterationen wurden die Prototypen hinsichtlich psychologischer Gestaltungsprinzipien und gängiger Standards und Normen optimiert.

Die Neugestaltung der Ausleitbeschilderung erfolge anhand des nutzerzentrierten Gestaltungsprozesses nach der DIN EN ISO 9241-210:2010. Zunächst wurden in einem Workshop wichtige Gestaltungselemente identifiziert auf deren Basis mehrere Beschilderungsvarianten erstellt wurden. Im Rahmen einer Expertenbefragung wurden diese evaluiert und entsprechend verbessert. Es resultierten zwei

Beschilderungsvarianten, die sich hinsichtlich der Verwendung von Elementen aus der Straßenverkehrsordnung unterscheiden. Mit einem Okklusionsversuch und einer anschließenden qualitativen konnte die Verständlichkeit beider Beschilderungsvarianten verifiziert und weitere Verbesserungen eingearbeitet werden. Im Rahmen einer Online-Umfrage wurden die Beschilderungsvarianten miteinander verglichen.

Des Weiteren wurde getestet, inwiefern eine zweite Ausleit tafel die zuvor ausgewählte Ausleit tafel ergänzen kann. Da die erste Ausleit tafel eine hohe Informationsdichte aufweist, wurde für die zweite Ausleit tafel eine komprimierte Version erstellt, die den Lkw-Fahrenden im Abstand von 300 m eine letzte Handlungsaufforderung zum Ausfahren kommunizieren soll. Eine detaillierte Aufschlüsselung der berücksichtigten Gestaltungsnormen und getroffenen Überlegungen sowie die Ergebnisse der im folgenden adressierten Umfrage können dem Projektbericht⁸⁸ entnommen werden.

Untersuchungen zu flächendeckendem Ausbau der Ausleittechnik, zukünftiger Fahrzeug-Vernetzung und -Automatisierung sowie Regelplananpassungen

Im Laufe der Untersuchungen wurden außerdem weiterführende Aspekte eines zukünftigen flächendeckenden Ausbaus der Ausleittechnik untersucht. So wurde betrachtet, welche Rastplätze an deutschen BAB besonders geeignet sind, um BAG-Standkontrollen mithilfe der Ausleittechnik durchzuführen. Zu diesem Zweck wurde ein Bewertungsverfahren mit Gewichtung von aufgestellten Kriterien zur Identifizierung besonders geeigneter Kontrollplätze erarbeitet. Die Kriterien sind zum einen auf Basis von allgemeinen Fakten und Kenntnissen abgeleitet worden und zum anderen ist mit Vertretern des BAG-Kontrollpersonals ein Workshop durchgeführt worden, um weitere wichtige Kriterien direkt aus der praktischen Erfahrung mit den Kontrollplätzen aufzustellen. In weiteren Diskussionsrunden mit dem BAG wurden die Bewertungskriterien verfeinert, die Gewichtungen optimiert und am Ende eine Bewertung von über 700 Parkplätzen durchgeführt.

Des Weiteren wurde auf Grundlage einer Zusammenstellung des technologischen Fortschritts im Bereich des vernetzten und automatisierten Fahrens untersucht, wie das sichere Ausleiten in Zu-

kunft durch die Integration von Nachrichten und Services von kooperativen Verkehrssystemen erweitert und verbessert werden könnte. Es stellte sich weiterhin die Frage, ob das sichere Ausleiten von automatisierten und elektronisch gekoppelten Lkw-Konvois (Platoons) möglich ist und wie es idealerweise gestaltet werden kann. Zuletzt wurden auch die Regelpläne für die Beschilderung einer BAG-Kontrollstelle (u. a. auch auf Basis der neuen Erkenntnisse aus den empirischen Untersuchungen) betrachtet und neue Varianten für geänderte Konfigurationen, bspw. die Integration einer zweiten, zusätzlichen Ausleittafel, entworfen und evaluiert.

4.11.4 Ergebnis

Verkehrstechnische Untersuchungen

Die Videoauswertung der Untersuchungen am PWC Sophienberg zeigen, wie viele ausgeleitete Verkehrsteilnehmer der Aufforderung zum Ausfahren zur Kontrolle nachkommen. Während des Beobachtungszeitraums der Auswertung bekamen bei der Pulk-Ausleitung 762 Fahrzeugführer eine Ausfahraufforderung auf der Ausleittafel angezeigt. 496 Fahrzeugführer entschieden sich daraufhin, ihr Fahrzeug auf den PWC Sophienberg zu lenken. Die übrigen 266 Fahrzeugführer missachteten die Aufforderung. Die Gründe für das Missachten der Aufforderung wurden in Befragungen eruiert. Der Befolgungsgrad bei Pulk-Ausleitung beträgt demnach 65,1 %. Bei der Kennzeichenausleitung bekamen insgesamt 19 Fahrzeugführer die Aufforderung angezeigt, ihr Fahrzeug für eine Kontrolle auf den PWC Sophienberg zu lenken. Hierbei befolgten 14 der 19 Fahrzeugführer die Aufforderung, was einem Befolgungsgrad von 73,7 % entspricht.

Bei der Pulk-Ausleitung von Lkw konnten weitere Aspekte herausgearbeitet werden. Im Falle von in Gruppen fahrenden Lkw wurde häufig festgestellt, dass ein Folgeverhalten stattfindet. Das bedeutet, dass das Verhalten des ersten Fahrzeugs einen erheblichen Einfluss auf das Verhalten der nachfolgenden Lkw hat. Kommt bspw. der erste Lkw der Aufforderung zum Ausfahren nach, so befolgen alle dahinter befindlichen Lkw ebenfalls die Aufforderung. Teilweise besteht dieses Verhalten fort, selbst wenn die Ausleittafel bereits wieder deaktiviert wurde. Je nach Kontrollplatzkapazität und Verkehrsstärke kann die Pulk-Ausleitung daher nur für einen begrenzten Zeitraum erfolgen, damit es nicht in un-

kontrollierbarer Weise zum Rückstau auf die BAB kommt. Befolgt hingegen das erste Fahrzeug die Aufforderung nicht oder wird die Ausleittafel während der Vorbeifahrt einer Lkw-Gruppe eingeschaltet, so kommen die nachfolgenden Lkw der Aufforderung zum Ausfahren regelmäßig ebenfalls nicht nach. Es wird vermutet, dass dieses Verhalten von dem Bekanntheitsgrad des Systems und insbesondere der Pulk-Ausleitung abhängig ist. Mit zunehmendem Bekanntheitsgrad des Systems wird auch ein höherer Befolgungsgrad erwartet.

Die Videoaufzeichnungen im Bereich der Kennzeichenerfassung des PWC Sophienberg gaben Aufschluss darüber, wie oft die Kennzeichenerfassung durch einen Spurwechsel umgangen wird. Die Kennzeichenerfassung deckt nur den Hauptfahrstreifen ab und in diesem Bereich ist noch kein Lkw-Überholverbot angeordnet. Es bestünde also die Möglichkeit, dass Fahrzeugführer absichtlich oder unabsichtlich der Kennzeichenerfassung ausweichen. Die Untersuchungen ergaben, dass 10,6 % der Lkw-Fahrzeugführer durch einen Spurwechsel bzw. durch Fahrt auf dem Überholfahrstreifen nicht von der Kennzeichenerfassung detektiert werden konnten.

Die Untersuchungen zum Zeitpunkt des Wechsels auf den Verzögerungsstreifen können einerseits Aufschluss über die Verständlichkeit der Ausfahraufforderung geben und andererseits stellt der Fahrstreifenwechsel ein sicherheitskritisches Fahrmanöver dar, das möglichst früh und gleichmäßig eingeleitet werden sollte. Von den insgesamt im Untersuchungszeitraum während der BAG-Kontrollen durchgeführten Spurwechseln auf den Verzögerungsstreifen wurden 95,6 % als sichere oder sehr sichere Spurwechsel eingestuft. Lediglich 4,4 % haben erst zu einem späten Zeitpunkt auf den Verzögerungsstreifen gewechselt.

Die Beobachtung des Geschwindigkeitsverhaltens der Lkw-Fahrenden im Zulauf des PWC Sophienberg ließen erkennen, dass die Lkw-Fahrenden im Allgemeinen etwas schneller als die maximal zulässige Geschwindigkeit fahren. Nach der ersten angeordneten Geschwindigkeitsbegrenzung von 80 km/h reduzieren die Lkw-Fahrenden ihre Geschwindigkeit jedoch und passten sie an die zulässige Geschwindigkeit an. Es zeigte sich, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit bei aktiver Pulk-Ausleitung an der letzten Messstelle (200 m vor Beginn des Verzögerungsstreifens) nur etwa 1 km/h unter der Durchschnittsgeschwindigkeit im Normalbetrieb

(Geschwindigkeitsbegrenzung aktiv, aber keine Pulk-Ausleitung) liegt. Es kommt somit nicht zu einer deutlichen Geschwindigkeitsreduzierung während der Ausleitung und im Regelfall auch nicht zum Rückstau.

Des Weiteren fanden Befragungen sowohl der Lkw-Fahrer vor Ort an vier Standorten, u. a. am PWC Sophienberg auf dem DTA, als auch des BAG-Kontrollpersonals mittels Fragebogen statt. Innerhalb der Befragungen wurde das Bestandssystem evaluiert und Verbesserungsvorschläge abgefragt. Die Ergebnisse ließen eine Bewertung des aktuell verwendeten LED-Ausleitsystems zu und bildeten die Grundlage für tiefgreifende ergonomische Untersuchungen.

Technische Bewertung der Ausleittechnik

Im Rahmen der technischen Bewertung der Ausleittechnik erfolgte eine Bewertung und Optimierung der Kennzeichenerkennung. Dazu gehören insbesondere Detektionsraten, Leseraten der Kennzeichen, Zuordnung der Kennzeichen zu Lkw im Übersichtsbild, Anteile Lkw, Pkw mit Anhänger und Busse an der Gesamtdetektion. Da die Qualität der ANPR-Detektion (Automatic Number Plate Recognition) von der Witterung abhängig ist, wurden in Abstimmung mit dem BAG und der BASt sinnvolle Witterungsszenarien berücksichtigt. Als Anforderungen an die Detektionsrate Kennzeichen/Fahrzeuge wurde ein Wert von $\geq 90\%$ und für die Leserate $\geq 95\%$ angenommen. Diese Anforderungen konnten unter guten Witterungsverhältnissen durchgehend an allen untersuchten Standorten erreicht werden. Lediglich bei schlechten Witterungsverhältnissen fielen sowohl die Detektions-, als auch die Leseraten unter die definierten Anforderungswerte.

Des Weiteren fand eine technische Bewertung und Optimierung der Datenkommunikation, der Anzeige, der Energieversorgung, der Sicherheit der IT-Infrastruktur und der Funktionalitäten der BuV-Software statt.

Abschließend wurde die Weiterentwicklung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems eingehend betrachtet und Empfehlungen diesbezüglich ausgesprochen.

Ergonomische Untersuchungen

Auf Grundlage der in der Durchführung beschriebenen Maßnahmen wurden zwei klickbare high-Fidelity

Prototypen erstellt, die sich hinsichtlich ihrer Funktionsstruktur unterscheiden. Variante A orientiert sich hierbei stärker an der bestehenden Software; Variante B weicht in ihrer Struktur stärker von dieser ab. Eine ausführliche Beschreibung der Prototypen und der Zugriff auf diese können dem Projektbericht⁸⁸ entnommen werden.

Die Beschilderungsvarianten A und B können Bild 58 entnommen werden. Beide Ausleitflächen sind animiert, sodass die Textbausteine abwechselnd auf Deutsch und auf Englisch angezeigt werden. Variante A verwendet Elemente, die aus der bestehenden Straßenverkehrsbeschilderung entnommen wurden und somit eine hohe Wiedererkennungsrate begünstigen sollen. Variante B hingegen weist keine Elemente auf, die in dieser Form in der bestehenden Straßenverkehrsbeschilderung bekannt sind und bedient sich hingegen einer Animation, die das Ausfahren aller Lkw auf den nächstgelegenen Parkplatz verdeutlicht. Eine detaillierte Aufschlüsselung der berücksichtigten Gestaltungsnormen und getroffenen Überlegungen sowie die Ergebnisse der im Folgenden adressierten Umfrage können dem Projektbericht⁸⁸ entnommen werden.

Die Online-Umfrage wurde überwiegend von Lkw-Fahrern aus dem deutschsprachigen Raum ausgefüllt. Die Beschilderungsvarianten A und B (Bild 58) wurden in einem between-subjects-Design 53 % bzw. 47 % der Teilnehmer präsentiert. Die Abfrage der Verständlichkeit der Beschilderungsvarianten erfolgte anhand von offenen Fragen und einer fünf-

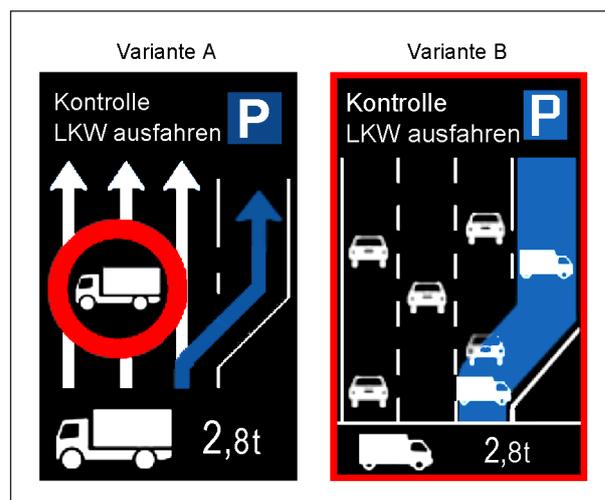


Bild 58: Beschilderungsvarianten A und B. Alle Textbausteine sind animiert und werden abwechselnd auf Deutsch und Englisch angezeigt. Zusätzlich dazu enthält Beschilderungsvariante B animierte Pkw und Lkw, die die Ausfahrtrichtung der Lkw auf den nächstgelegenen Parkplatz verdeutlichen.

stufigen Likert-Skala (1 = schlecht verständlich; 5 = sehr gut verständlich). Variante A wurde mit $M = 4,24$ und Variante B mit $M = 4,38$ bewertet. Hinsichtlich ihrer Verständlichkeit sind die Beschilderungsvarianten demnach als vergleichbar hoch zu bewerten. Auf Grundlage von Überlegungen hinsichtlich des Implementierungspotenzials unter den Projektbeteiligten wird Variante B bevorzugt und als Untersuchungsgegenstand herangezogen.

Die zweite Tafel der Ausleitbeschilderung, die zusätzlich zu der Variante B (Bild 58) verwendet werden soll, kann Bild 59 entnommen werden. Die zweite Ausleittafel ist ebenfalls animiert, sodass die Textbausteine abwechselnd auf Deutsch und auf Englisch angezeigt werden. Zusätzlich enthält sie die Information, dass sich die Ausfahrt auf den nächstgelegenen Parkplatz in 300 m befindet.

Die Online-Umfrage wurde überwiegend von Lkw-Fahrern aus dem polnischsprachigen Raum ausgefüllt. Obwohl den Umfrageteilnehmern die Informationen auf der Ausleitbeschilderung in einer Fremdsprache (Deutsch und Englisch) und anhand der Symbolik kommuniziert wurde, konnte eine hohe Verständlichkeit der Ausleitaufforderung identifiziert werden, $M = 4,22$. Auch die offenen Fragen bestätigen diese Aussage. Eine detaillierte Ergebnisdarstellung kann dem Projektbericht⁸⁸ entnommen werden. Um einerseits die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass die Beschilderung nicht übersehen

wird und andererseits die kommunizierte Aufforderung zum Ausfahren auf den nächstgelegenen Parkplatz zwecks einer Kontrolle korrekt verstanden wird, ist die Verwendung von beiden Beschilderungen zu empfehlen.

Untersuchungen zu flächendeckendem Ausbau der Ausleittechnik, zukünftiger Fahrzeug-Vernetzung und -Automatisierung sowie Regelplananpassungen

Neben den schon dargestellten Ergebnissen haben frühere Untersuchungen schon gezeigt, dass das sichere Ausleiten eine Vielzahl von Vorteilen hat, insbesondere im Bereich des Arbeitsschutzes. In Zukunft soll daher das sichere Ausleiten eine weite Verbreitung in Deutschland finden und an vielen BAG-Kontrollplätzen eingesetzt werden. Zu diesem Zweck wurde ein Bewertungsverfahren zur Identifizierung besonders geeigneter Kontrollplätze erarbeitet. Die Ergebnisse aus den beschriebenen Untersuchungen in Kapitel 4.11.3 wurden zu einem Kriterienkatalog zur Bewertung der Eignung von Rastplätzen an deutschen BAB hinsichtlich des sicheren Ausleitens zusammengefügt. In diesen Kriterienkatalog wurden von 729 PWC die Daten zu Lkw-Stellplatzkapazität, durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, Entfernung zu vor- und nachgelagerten Anschlussstellen, Nutzbarkeit von Achslastmessstellen und Mautbrücken und zu weiteren relevanten Kriterien eingefügt. Mittels Nutzwertanalyse wurde im Kriterienkatalog zu jedem PWC eine Bewertung hinsichtlich der Eignung für das sichere Ausleiten ermittelt. Die Ergebnisse können flexibel gefiltert und angezeigt werden, um den weiteren Ausbau der sicheren Ausleittechnik in Deutschland zu planen. Eine Anpassung der Gewichtung der Kriterien kann auch für eine weitere Ausarbeitung und Nutzung der Bewertungsmethode samt Datenbasis vorgenommen werden. Eine implementierte, anschauliche, geografisch aufgelöste grafische Darstellung der Bewertungsergebnisse, dient der Unterstützung dabei.

Die Befragungen des Lkw-Fahrpersonals ergab, dass mehrheitlich sowohl Ausfahrer als auch Nichtausfahrer sich eine weitere Ausleittafel im Vorfeld der Kontrollstelle wünschen. Im Rahmen der Erarbeitung weiterer Varianten für Regelpläne einer zukünftigen Kontrollstellenbeschilderung wurde für den PWC Sophienberg untersucht, wie eine zweite, zusätzliche Ausleittafel in den Regelplan integriert werden könnte. Die Untersuchung ergab, dass es

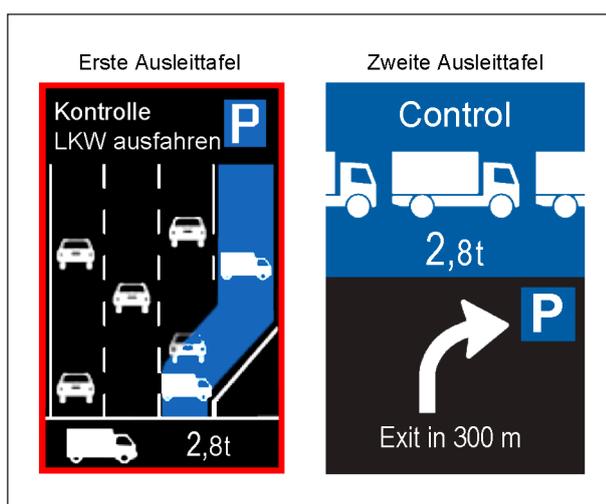


Bild 59: Die in dem Arbeitspaket erarbeitete erste Ausleittafel (links) wird durch die Verwendung einer zweiten Ausleittafel (rechts) unterstützt. Alle Textbausteine sind animiert und werden abwechselnd auf Deutsch und Englisch angezeigt. Zusätzlich dazu enthält die erste Ausleittafel animierte Pkw und Lkw, die die Ausfahrtrichtung der Lkw auf den nächstgelegenen Parkplatz verdeutlichen.

möglich wäre, eine zweite Ausleittafel aufzustellen, welche die Aufmerksamkeit und das Verständnis bzgl. des stattfindenden Ausleitvorgang erhöhen könnte. Dieses Ergebnis (zweite Ausleittafel) wurde wie oben dargestellt entsprechend bei den beschriebenen ergonomischen Untersuchungen berücksichtigt.

Weiterhin wurden Überlegungen zum zukünftigen Einsatz der Ausleittechnik auch im Zusammenspiel mit kooperativen Systemen oder elektronisch gekoppelten Lkw angestellt, damit der erfolgreiche Einsatz des sicheren Ausleitens auch zukünftig möglich bleibt und auch ggf. auf dieser Basis weiterentwickelt werden kann.

Zur Einbindung kooperativer Systeme (V2X-Kommunikation) ergaben die Untersuchungen, dass verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten via WLAN oder Mobilfunk existieren. Eine dezentrale Umsetzungsmöglichkeit wäre die Erweiterung der Ausleittafel zu einer „Intelligent Transportation System Roadside Station“ oder auch „Roadside Unit“ (RSU), sodass der Beschilderungsinhalt der Ausleittafel in passierenden Fahrzeugen angezeigt wird. Auch die Übertragung der Information über Mobilfunk und ein zentraler Ansatz ist möglich. Die zukünftige Verbreitung der Kommunikationstechnologie im Fahrzeug und auch rechtliche Rahmenbedingungen unter anderem zum Datenschutz müssen bei der zukünftigen Erweiterung der Ausleittechnik zu einem kooperativen System beachtet werden.

Ergebnis der Untersuchung war auch, dass zukünftig die Nutzung kooperativer Systeme zum Ausleiten von elektronisch gekoppelten Lkw-Konvois vorteilhaft sein kann. Elektronisch zu einem Konvoi gekoppelte Lkw, die hochautomatisiert in sehr geringem Abstand hintereinanderfahren, stellen eine Herausforderung für das sichere Ausleiten dar, weil die Kennzeichenerfassung und das Erkennen der Beschilderung wegen der geringen Fahrabstände eingeschränkt sein kann. Einer Abschätzung auf Basis der verwendeten Erfassungstechnik ergab, dass ab einem Fahrabstand kleiner als 6,5 m keine zuverlässige Kennzeichenerfassung mehr möglich ist. Zudem kann die Aufmerksamkeit beim Führen eines dem Führungsfahrzeug folgenden Lkw nicht permanent gefordert und verringert sein, sodass die Aufforderung zum Ausfahren zur Standkontrolle ggf. nicht verstanden oder empfangen wird. Weiterhin können Gefahrensituationen entstehen, wenn der Ausfädelungstreifen zu kurz ist und wenn nicht

zum Konvoi gehörige Fahrzeuge dem Konvoi wegen des Nachfolgeverhaltens ohne Aufforderung zum Ausfahren auf den Rastplatz folgen, was zu Rückstau führen könnte. Eine Lösung könnte sein, dass Lkw-Konvois vor einer BAG-Kontrollstelle aufgelöst werden müssen. Alternativ könnte mittels kooperativer Systeme gezielt ein bestimmter Konvoi angesprochen werden und Aufforderung zur Auflösung und zum Ausfahren auf den Kontrollplatz als in das Fahrzeug übersandte Nachricht übermittelt werden.

4.11.5 Bewertung und Ausblick

Insgesamt hat sich bei der Umsetzung der Maßnahme gezeigt, dass sich eine sichere Variante des Ausleitens bei BAG-Standkontrollen mit der entwickelten sicheren Ausleittechnik in der Praxis gut durchführen lässt. Die wissenschaftliche Systemevaluation bestätigte dieses Potenzial. Aus den Ergebnissen der wissenschaftlichen Untersuchungen ließen sich weitere Empfehlungen zur Verbesserung des Gesamtsystems ableiten. Es wird erwartet, dass mit höherem Bekanntheitsgrad des Systems die Ausleitquoten steigen werden. Die Videoauswertungen zeigen, dass bereits der Großteil der Fahrstreifenwechsel auf den Verzögerungstreifen rechtzeitig, umsichtig und sicher ausgeführt werden. Die Ausleittechnik wird also grundsätzlich von den Verkehrsteilnehmern verstanden und die Aufforderung zum Ausfahren umgesetzt.

Die Kennzeichenerfassung wird bei ca. 10 % der untersuchten Fälle absichtlich oder unabsichtlich durch einen Fahrstreifenwechsel umgangen, wie die Untersuchung anhand von Videoaufzeichnungen ergeben hat. Um diese Quote zu verringern, könnte es sinnvoll sein, auch den ersten Überholfahrstreifen mit der Kennzeichenerfassung abzudecken. Eine frühere Anordnung des Überholverbots würde nicht die prinzipielle Nutzung des zweiten Fahrstreifens verbieten, weshalb die Maßnahme nicht geeignet wäre, die Umgehung der Kennzeichenerfassung zu verhindern. Die Sperrung von Fahrstreifen für Lkw im Vorlauf der Kontrollstelle mittels Schilder würde dieses Problem adressieren. Jedoch müssten hierfür zusätzliche schaltbare Schilder (LED-Tafeln) aufgestellt werden, was wiederum grundsätzlich in der Vorlaufstrecke zu klären und zugleich mit hohen Kosten verbunden wäre. Zudem ist an der Stelle die Rechtsverbindlichkeit dieser Schilder nicht gesichert. Hier scheint die Lösung mit einer weiteren Kamera zur Detektion des

weiteren Fahrstreifens die einfachere und kostengünstigere Variante zu sein.

Die Ergebnisse der empirischen Befragung des ausgeleiteten Lkw-Personals ergab bezüglich der Gestaltung der Ausleittafel, dass vor allem eine Animation der Inhalte wünschenswert wäre. Auch die Maximierung der Darstellungsgrößen der verschiedenen Symbole wurde häufig angeregt. Diese Maßnahmen können zu einer Erhöhung des Befolgungsgrades führen. Die Ergebnisse zeigten außerdem, dass sich die Mehrheit der Befragten grundsätzlich eine zweite Ausleittafel zusätzlich zur bestehenden an einer weiteren Position wünscht. Auf Basis der Antworten der empirischen Untersuchungen wird es weiterhin als sinnvoll erachtet, den Bekanntheitsgrad des Systems unter den Fahrzeugführern weiter zu steigern und die Konsequenzen der Nichtbeachtung stärker zu publizieren. Gleichzeitig wird sich die Bekanntheit des sicheren Ausleitens im Allgemeinen erhöhen, je länger das System an den Pilotstandorten genutzt wird und je mehr Standorte mit der sicheren Ausleittechnik ausgestattet werden.

Die Befragung von BAG-Mitarbeitern, welche schon im Vorfeld Erfahrungen mit dem neuen System sammeln konnten, zeigte bereits eine breite Akzeptanz des neuen Systems. Die große Mehrheit bevorzugt das sichere Ausleiten gegenüber dem konventionellen Ausleiten. Trotzdem gibt es Aspekte bei der Durchführung von Standkontrollen mit dem sicheren Ausleiten, wie bspw. die Möglichkeit der Ahndung von Vergehen und die Vereinfachung der Beweisführung bei Verstößen, auf die in den Antworten zur Befragung hingewiesen wurde und welche nach Ansicht des befragten BAG-Kontrollpersonals noch verbessert werden können. Ein Lösungsansatz für die automatisierte Detektion von Durchfahrern ist zukünftig der Aufbau einer kamerabasierten Nacherfassung hinter der Ausfahrt auf den Kontrollplatz. Zusammen mit einer softwareseitigen, automatisierten Dokumentation von Durchfahrern, welche der Aufforderung zum Ausfahren nicht gefolgt sind, kann eine kamerabasierte Nacherfassung eine sinnvolle Maßnahme für die Verfahrensvereinfachung und Ahndung von Vergehen darstellen.

In Zukunft soll das sichere Ausleiten eine weite Verbreitung in Deutschland finden und an vielen BAG-Kontrollplätzen eingesetzt werden, da die Vorteile insbesondere hinsichtlich des Arbeitsschutzes sowie auch der (Verkehrs-)Sicherheit als sehr gut ein-

geschätzt werden. Dabei sind insbesondere der Schutz der BAG-Mitarbeiter, die nahezu regelkonforme Anpassung der Fahrgeschwindigkeiten der Lkw und die als sehr sicher bewerteten Ausfahrmanöver der Fahrzeugführer zu nennen. Zu diesem Zweck können zukünftig auf Basis der durchgeführten Standorterueierung und des erarbeiteten Bewertungsverfahrens besonders geeignete Kontrollplätze identifiziert werden und der weitere Ausbau der Ausleittechnik geplant werden. Zudem können die Überlegungen zum zukünftigen Einsatz der Ausleittechnik im Zusammenspiel mit kooperativen Systemen und elektronisch gekoppelten Lkw fortgeführt werden, um im Zuge der zukünftigen technischen Entwicklungen im Straßenverkehr die sichere Ausleittechnik anzupassen und zukünftig noch effizienter zu gestalten.

4.12 C2VBA – Virtuelle Verkehrsbeeinflussung und strategisches Routing

4.12.1 Ausgangssituation

Verkehrslenkungsstrategien der öffentlichen Hand stehen derzeit für handelsübliche Navigationssysteme nicht zur Verfügung. Diese besitzen jedoch aus Sicht der Verkehrssicherheit einen nicht zu unterschätzenden Nutzen für die Verkehrsteilnehmer. Auch die dynamischen Wechselverkehrszeichen, die z. B. dynamische Geschwindigkeitsbeschränkungen, Lkw-Überholverbote, temporäre Seitensstreifenfreigaben oder Warnungen anzeigen, konnten bislang noch nicht in maschinenlesbarer Form weitergegeben werden.

Mit den kooperativen Systemen und der Entwicklung des automatisierten Fahrens entstehen neue Anforderungen und Möglichkeiten für die Verkehrssteuerung. Ein wichtiger Baustein ist die Intelligente Infrastruktur, wodurch eine direkte und zeitnahe Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur möglich wird.

Die Maßnahme C2VBA deckt hier den Teilbereich der virtuellen Verkehrsbeeinflussung (VBA) ab und hat die Voraussetzungen für die Kommunikation von Anzeigen der Wechselwegweiser und Streckenbeeinflussungsanlagen ins Fahrzeug geschaffen.



Bild 60: Wechselwegweiser beim Eindrehen eines Ziels,
Quelle: ZVM

4.12.2 Zielsetzung

Ziel der Maßnahme war die Bereitstellung der Schaltzustände von Wechselzeichengebern (WZG), wie diese bei Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) auf bundesdeutschen Autobahnen verwendet werden, sowie die Bereitstellung der Schaltzustände von Wechselwegweisern (WWW) (Bild 60) zur kollektiven Wegweisung auf dem Mobilitätsdaten-Marktplatz (MDM) für ausgewählte Abschnitte auf dem Digitalen Testfeld Autobahn. Auch Messungen der Latenzzeiten waren Teil des Projekts.

Damit die Verkehrsteilnehmer nicht, wie bisher, nur anhand von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) über Wechselwegweisungen und Wechselverkehrszeichen informiert werden, werden die Anzeigen in digitaler Form auch der Automobilindustrie und über den Mobilitätsdaten Marktplatz (MDM) auch Diensteanbietern für Navigations- und Fahrerassistenzsysteme zur Verfügung gestellt, um entsprechend im Fahrzeug angezeigt zu werden bzw. bei der Planung von Routen entsprechend Berücksichtigung zu finden. Mit einer Übernahme ins Fahrzeug kann eine optimierte Lenkung der Verkehrsteilnehmer vorgenommen und Widersprüche zwischen individuellen und kollektiven Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen vermieden werden.

Eine im April 2018 vorgelegte Studie⁸⁹ der TU München zu Befolgungsraten von Wechselwegweisungen an dNet⁹⁰ Bayern-Standorten belegt, dass die

Befolgungsraten signifikant steigen, wenn die Information auf den Wegweisern mit denen in Navigationssystemen übereinstimmen. So liegt für den Testfall einer geschalteten Alternativroute am dNet Bayern-Standort AK Biebelried die Befolgungsraten (bezogen auf den Quelle-Ziel-Verkehr Würzburg-Nürnberg) bei rd. 26 % wenn die Routenempfehlung der amtlichen Wechselwegweisung mit denen der Navigationssysteme übereinstimmen. Weichen die Routenempfehlungen von Navigationssystem und amtlicher Wegweisung ab, können die Befolgungsraten auf bis zu 5 % absinken. Ziel war es daher, die derzeit noch bestehende Diskrepanz von kollektiver Netzbeeinflussung und fahrzeuginternen Assistenzsystemen aufzulösen.

Auch in Bezug auf Wechselverkehrszeichen ist durch eine Vereinheitlichung von Anzeigen auf Außenanlagen und Fahrzeug-internen Systemen mit einer besseren Befolgungsraten zu rechnen, was wiederum zu einer verbesserten Verkehrssicherheit beiträgt. Die Automobilindustrie setzt zudem – insbesondere beim automatisierten Fahren – auf redundante Systeme. Beispielsweise kann für die Erkennung von dynamischen Geschwindigkeitsbeschränkungen sowohl auf eine im Fahrzeug verbaute Kamera zurückgegriffen werden, als auch ins Fahrzeug übertragene Schaltinformationen aus der Infrastruktur eingespielt werden. Dies erhöht die Ausfallsicherheit und die Verlässlichkeit der Daten.

4.12.3 Durchführung

Die Problematik der widersprüchlichen Fahrtempfehlungen wurde bereits im bayerischen Kooperationsprojekt (2010 – 2013) „Strategisches Routing mit Demonstration Tunnelssperrung Allach und Allianz Arena“⁹¹ untersucht. In diesem Projekt wurde die Weitergabe von dynamischen Umleitungsrouten anhand eines Demonstrators am Beispiel der Sperrung des Tunnels Allach auf der A99 und der dynamischen Wegweisung zur Münchner Fußball-Arena getestet. Der Demonstrator wurde von der bayerischen Straßenbauverwaltung zusammen mit der

⁸⁹ Masterarbeit „Wirkungen und Akzeptanz von Wechselwegweisungen – Verfahrensentwicklung anhand der Netzmasche A3-A7-A6“, Technische Universität München – Lehrstuhl für Verkehrstechnik, RANK, L., 2018

⁹⁰ dNet Bayern = Dynamische Netzsteuerung Bayern

⁹¹ Ergebnisse der Kooperation zwischen der BMW AG und dem Freistaat Bayern finden sich im Paper „Optimizing the approach to the car park of the Allianz Arena Munich via strategic routes“; ISAAC, G.; HASPEL, U.; 22nd IST World Congress, Bordeaux, France, 5-9 Oktober 2015

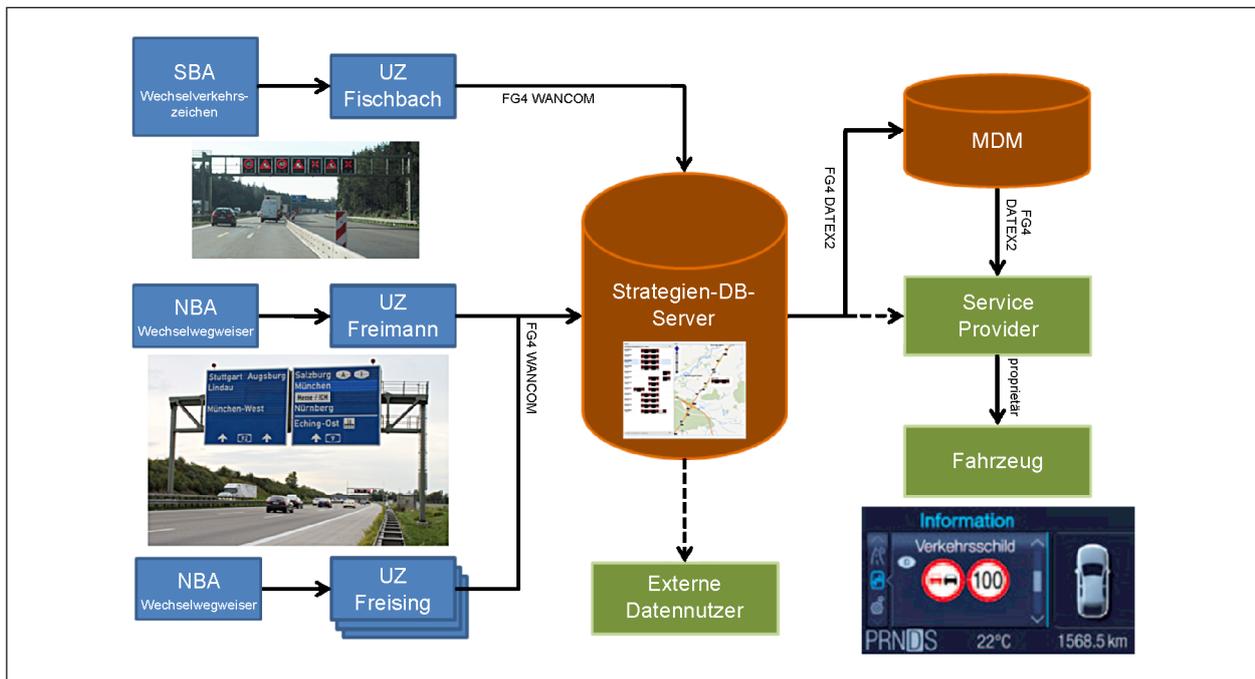


Bild 61: Systemarchitektur Strategisches Routing/Virtuelle VBA, Quelle: ZVM

BMW Group aufgesetzt, welche spezielle Testfahrzeuge zur Verfügung stellte. Fokus war in diesem Projekt die Übernahme der dynamischen Wegweisung in die Navigation, also die Fahrzeugseite. Hier wurde die Infrastrukturseite nur provisorisch angebunden (via Knopfdruck des VBZ-Operators auf einer durch BMW bereitgestellten App).

Das Unterfangen zur elektronischen Bereitstellung der kollektiven Verkehrsbeeinflussung zur Integration in das individuelle Routing der Autofahrenden auf den bayerischen Bundesautobahnen ging mit der Maßnahme „Strategisches Routing/virtuelle VBA“ im Rahmen des Digitalen Testfeldes Autobahn in eine zweite Phase. Dieses Projekt hatte im Gegensatz zum ersten Demonstrator den Fokus auf der technischen Umsetzung der Infrastrukturseite. Im Rahmen des Projekts wurde zunächst die Bereitstellung der Schaltzustände für WZG am Beispiel der SBA A9 Fischbach bei Nürnberg und für WWW für die Netzmasche A9/A92/A99 im Münchner Norden umgesetzt. In einer Erweiterung wurde dann die SBA A9 Freimann integriert. Zur Umsetzung wurde der folgende Lösungsansatz entwickelt (siehe Bild 61): die FG4-Daten, die Informationen über den aktuellen Schaltzustand eines Anzeigerschnitts (AQ) enthalten, sind von dem Strategie-DB Server entgegenzunehmen, zu interpretieren und in der Strategiedatenbank abzulegen. Diese Daten werden von den bestehenden Subsystemen (wie unter anderem Unterzentralen, System-

integration) gemäß TLS geliefert. Neben den Schaltzuständen der WWW sind auch die ausgewiesenen Routen zu ermitteln. Diese Routen werden neben den Schaltzuständen der AQs auch an den MDM übermittelt.

Für die Ablage der Schaltzustände auf dem MDM wurde ein entsprechendes Profil im DATEX II Format definiert (siehe Bild 62), mit dem Ziel dies für den angedachten Rollout weiterzuverwenden und einer Standardisierung zuzuführen. Für die Ablage der Routeninformationen wurde auf das bestehende MDM-Profil „Datenmodell für strategiekonformes Routen“ zurückgegriffen.

Zusätzlich wurden die Informationen, welche auf dem MDM bereitgestellt werden, auch direkt Dritten (wie z. B. Automobilhersteller) zur Verfügung gestellt. Hierzu wurde eine Peer-to-Peer Verbindung eingerichtet. Parallel zur Umsetzung des Demonstrators wurden begleitend Latenzzeitmessungen und Prüfungen der Datenintegrität durchgeführt.



Bild 62: Abbildung von TLS-Inhalten in DATEX II, Quelle: ZVM

4.12.4 Ergebnis

Während des Pilotprojektes ist die hierfür erforderliche Datenbank in Betrieb gegangen. Zum Monitoring der Schaltzustände und der ausgewiesenen Routen wurde eine webbasierte grafische Benutzeroberfläche (GUI) erstellt (vgl. Bild 63).

Ein Abschlussbericht⁹² und die wissenschaftliche Evaluation liegen⁹³ vor. Bei der Evaluation wurde insbesondere die Latenzzeit zwischen dem Aktivieren einer Strategie durch den Operator und der Anzeige im Fahrzeug untersucht. Sofern eine Rückmeldung der Außenanlage abgewartet wird, liegt diese im Durchschnitt bei ca. 7 Sekunden bei Betrachtung der gesamten Informationskette von der Auslösung der Schaltung bis ins Fahrzeug. Wird die Information weitergegeben, ohne dass auf eine Rückmeldung der Außenanlage gewartet wird, wur-

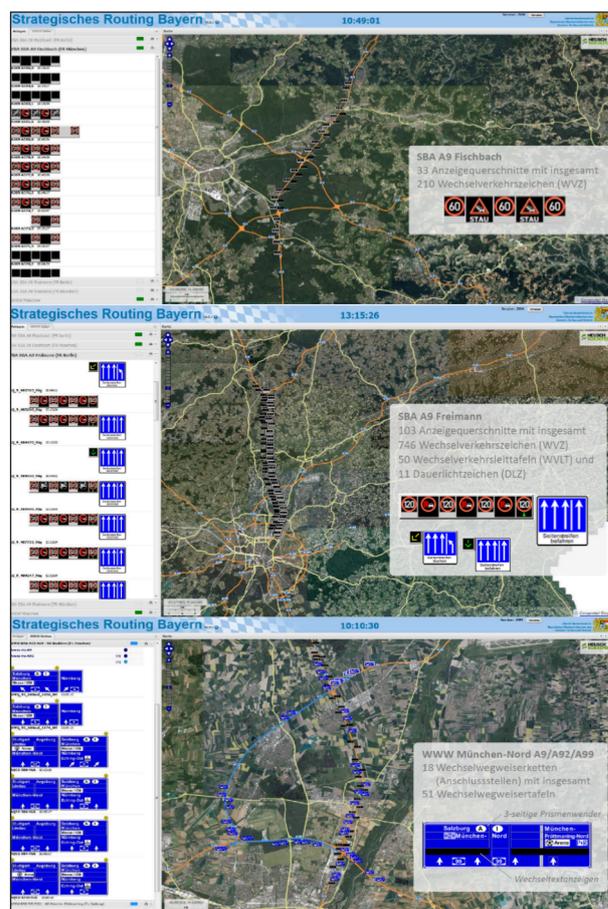


Bild 63: Anlagenumfang der Maßnahme anhand von Ausschnitten der Nutzeroberfläche, Quelle: ZVM; Kartengrundlage: BayernAtlas der LDBV

⁹² SCHENDZIELORZ, T.; KRABBE, A.; SCHMIDT, M.; SCHÜRENBERG, I.: Strategiedatenbankserver Bayern – Aufbau eines Demonstrators zum Strategiedatenbank-Server mit Informationsübertragung zum MDM, Aachen, 03.04.2018 (unveröffentlicht)

⁹³ Fraunhofer ESK: Evaluierung von Zeitverhalten und Datenintegrität einer virtuellen SBA, München, 11.01.2018 (unveröffentlicht)

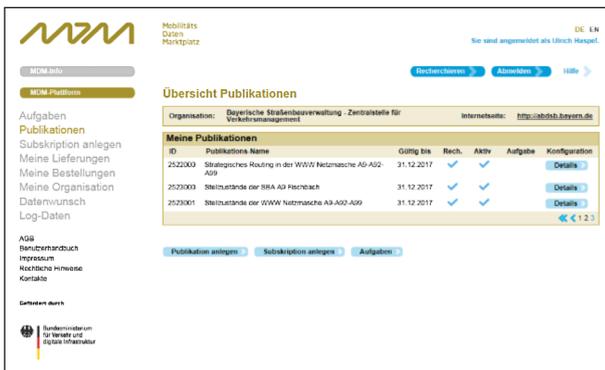


Bild 64: MDM-Publikationen, Quelle: <https://www.mdm-portal.de/>

den im Durchschnitt 4 Sekunden gemessen, wobei die Ergebnisse auch von der eingesetzten Kommunikationstechnologie abhängig sind.

Auf dem MDM werden drei Publikationen angeboten (Bild 64):

- **Strategisches Routing:**
Angabe der angezeigten Alternativrouten
- **Stellzustände SBA:**
Angabe der Stellzustände der Streckenbeeinflussungsanlagen in maschinenlesbarer Form
- **Stellzustände WWW:**
Anzeige der Schildzustände von Wechselwegweisern als Bild-Datei

Mehrere Dienstleister rufen die Daten beim MDM ab und nutzen diese für Pilotanwendungen und Forschungszwecke. Zulieferer der Automobilindustrie nutzen die Daten bereits in operativen Diensten.

4.12.5 Bewertung und Ausblick

Die technische Umsetzung konnte ohne nennenswerte Probleme vorangetrieben werden. Die Nutzung von bestehenden Datenströmen war hierbei hilfreich. Lediglich die Aufarbeitung der Konfiguration von Bestandsanlagen (z. B. die Beklebung von einzelnen Prismen eines Wechselwegweisers) erwies sich als komplex.

Das Projekt stieß auf großes Interesse bei der Industrie, sowohl bei Fahrzeugherstellern, als auch deren Zulieferern. Zwei Zulieferer nutzen die Daten der SBA-Anzeigen mittlerweile im Operativbetrieb,

mehrere weitere Partner für Forschungszwecke. Zudem war auch die Resonanz der Verkehrszentralen Nord- und Südbayern sowie der Messestandorte Nürnberg und München sehr positiv, da man sich eine bessere Möglichkeit der Verkehrslenkung erhofft. Aufgrund der positiven Rückmeldungen und dem Einsatz der Daten in der Praxis sollen die Aktivitäten ausgeweitet und vom Pilot hin zu einem regelbasierten Betrieb überführt werden.

Das erfolgreiche Pilotprojekt kann für andere Infrastrukturbetreiber eine Vorbildfunktion haben, insbesondere in Bezug auf die technische Umsetzung. So ist z. B. geplant, die im Projekt entwickelten DATEX II-Profile einer Standardisierung zuzuführen. Hierzu hat die BAST eine Aktivität initiiert.

Mit den 2019 angelaufenen Projekten C2NBA und C2SBA soll die Maßnahme, die die technische Machbarkeit demonstrierte, in die nächste Phase überführt werden. Ziel ist es, das sich bis zum jetzigen Zeitpunkt nur auf ausgewählte Anlagen beschränkende System inhaltlich zu erweitern und in einen bayernweiten Regelbetrieb zu überführen. Integriert werden sollen nun sämtliche Streckenbeeinflussungen auf Autobahnen und Bundesstraßen in Bayern (SBA) im Teil C2SBA und sämtliche Netzbeeinflussungen im Zuständigkeitsbereich des Freistaats Bayern (NBA) mithilfe von dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation (dWiSta) bzw. additiven oder substitutiven Wechselwegweisern (WWW) im Teil C2NBA.

Das aufzubauende System hat folgenden Umfang:

- Sämtliche Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) im Zuständigkeitsbereich der bayerischen Niederlassungen der Autobahn GmbH (insgesamt 710 km beeinflusste Streckenabschnitts-km mit geschätzten ein AQ pro 2,5 km)
- Sämtliche Anlagen zur temporären Seitenstreifenfreigabe (TSF) im Zuständigkeitsbereich der bayerischen Niederlassungen der Autobahn GmbH (insgesamt 132 km beeinflusste Streckenabschnitts-km)
- Sämtliche Netzbeeinflussungen (NBA) mithilfe von dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation (30 dWiSta-Tafeln) bzw. additiven oder substitutiven Wechselwegweisern (120 WWW-Standorte)

Neben den bisher bereits bereitgestellten Schal- tungsinformationen soll das System dahingehend

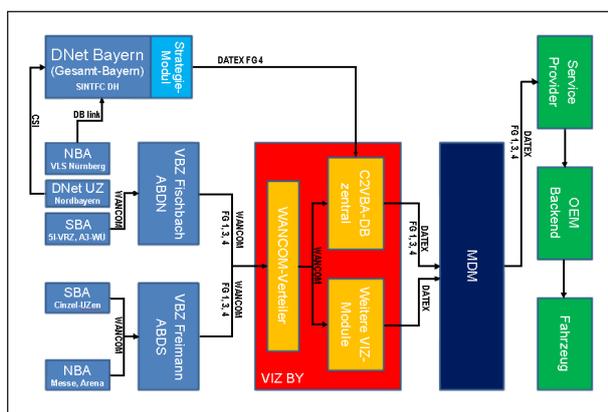


Bild 65: Systemarchitektur der Stufe 1 in den Projekten C2SBA und C2NBA, Quelle: ZVM

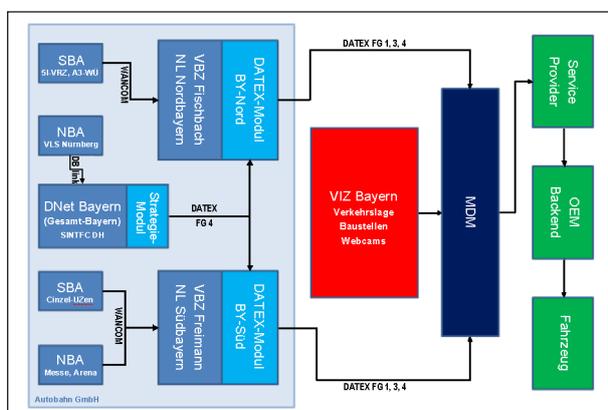


Bild 66: Systemarchitektur der Stufe 2 in den Projekten C2SBA und C2NBA, Quelle: ZVM

erweitert werden, dass auch Verkehrsdaten (FG1) und Umfelddaten (FG3) im DateX II-Format am MDM bereitgestellt werden können. Die FG1 und FG3-Daten werden Anbietern von Navigationsdienstleistungen zur Ergänzung und Kalibrierung der eigenen Datenquellen genutzt. Weiterhin erfolgt die Nutzung der Daten im Rahmen von Studien, wie beispielsweise zum Verkehrsaufkommen während des Corona-Lockdowns oder zur Gegenüberstellung der Luftqualität und der Verkehrsmenge.

Die Systemarchitekturen sind so ausgerichtet, dass das System auch ohne die Systeme des Freistaats Bayern betrieben werden kann. Bild 65 stellt die erste Ausbaustufe dar, bei der die Datenbereitstellung der VBZen an den MDM noch über die VIZ Bayern läuft. In der zweiten Ausbaustufe (siehe Bild 66) können die Daten zukünftig direkt von den VBZen im DATEX II-Format an den MDM geliefert werden.

Eine Fertigstellung des Gesamtsystems ist für 2022 geplant.

5 Untersuchte/Bewertete Maßnahmenideen für das Digitale Testfeld Autobahn (DTA)

Im Rahmen der „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds Autobahn auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ sind die im Kapitel 4 genannten Maßnahmen untersucht, begleitet und unterstützt worden. Parallel dazu fand ebenfalls die Bewertung unterschiedlicher neuer Projektansätze und Technologien im Hinblick auf eine potenzielle Umsetzung auf dem Digitalen Testfeld Autobahn in unterschiedlicher Tiefe statt. Die Betrachtung reichte dabei von einer einfachen Recherche bis hin zu detaillierten Bewertungen.

Auf Seiten der technologischen Ansätze sind beispielsweise weitere Falschfahrerwarnsysteme, Weigh-in-Motion (WIM) Systeme sowie Systeme zum Verkehrsmonitoring identifiziert, beschrieben und im Hinblick auf eine Umsetzung auf dem DTA bewertet worden.

Offenes smartphone- und cloudbasiertes Falschfahrerwarnsystem von Bosch

Neben den innerhalb der Maßnahme Telematische Falschfahrerwarnung untersuchten infrastruktureseitigen Falschfahrerwarnsystemen sind auch weitere Systeme zur Falschfahrerwarnung im Rahmen der „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds Autobahn auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ betrachtet worden.

Unter anderem hat die Firma Bosch eine kooperative fahrzeugunabhängige Lösung, die auf Informationen aus Smartphones basiert, entwickelt⁹⁴. Das System nutzt anonymisierte Bewegungs- und Positionsinformationen der Smartphones und wertet diese in einem Backend (Cloud) aus. Konkret wird im Hintergrund von bestimmten Apps, die aktuelle Position des Smartphones ausgewertet. Bewegt sich das Gerät mit der App nun in die Nähe einer Auf- bzw. Abfahrt (Anschlussstelle) einer Autobahn, wird eine Kommunikation mit einer Cloud aktiviert

⁹⁴ Robert Bosch GmbH, „Cloudbasierte Falschfahrerwarnung,“ <https://www.bosch-mobility-solutions.de/de/produkte-und-services/pkw-und-leichte-nutzfahrzeuge/fahrerassistenzsysteme/cloud-basierte-falschfahrerwarnung/> (Abruf 01/2021)

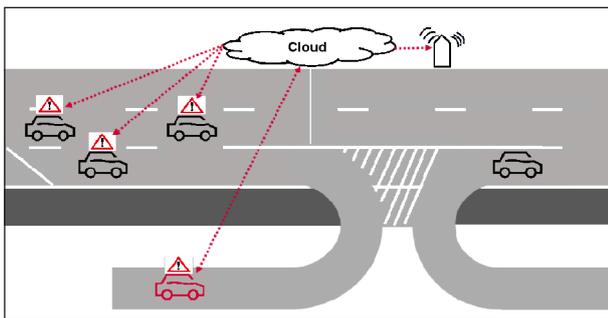


Bild 67: Skizzierte Funktionsweise Bosch Falschfahrerwarnsystem

und Bewegungsdaten anonymisiert zur Auswertung in die Cloud geladen. In der Cloud werden die dort hinterlegten erlaubten Wege an der Auf- bzw. Abfahrt mit der Bewegungstrajektorie des Geräts im Fahrzeug abgeglichen. Kommt es zu Unregelmäßigkeiten und darauf basierend zu der Einschätzung einer Falschfahrt, wird der Fahrende unverzüglich über die App auf seine Falschfahrt aufmerksam gemacht. Zudem wird die Warnung sofort an alle vernetzten Verkehrsteilnehmer (die auch die App-Funktion installiert haben) im Gefahrenbereich weitergeleitet (Bild 67).

Wie schon erläutert, ist die Funktionalität im Hintergrund von verschiedenen Apps (aktuell über 15) implementiert. Neben der Bosch-eigenen-App (Bosch Driving App) zählen dazu Apps von Radiostationen, wie Antenne Bayern, bigFM und Radio ffn sowie Navigations-Apps wie V-Navi und die Nachrichten-App von FOCUS Online mit mehr als einer Million Downloads. Zur einfachen Implementierung der Funktionalität in den Apps bietet Bosch ein entsprechendes Software Development Kit (SDK) für iOS und Android mit Dokumentation und Beispielen an.

Zur Verwendung der Falschfahrerwarnfunktion in den zuvor genannten Apps, muss der Nutzer die Funktion zunächst noch aktivieren, d. h. er muss sie in den Einstellungen der App selbstständig einschalten. Zudem muss er bei der Installation der App den Berechtigungen zugestimmt haben, die für die Funktion der Falschfahrerwarnung notwendig sind, wie z. B. den Zugriff auf die Positionsdaten des Smartphones. Ebenfalls muss der Nutzer eine mobile Datenverbindung haben, die Standortbestimmung aktiviert haben und es auch hinnehmen, dass in der Nähe von Anschlussstellen sein Datenvolumen durch den Datenaustausch mit der Cloud von Bosch belastet wird.

Das von Bosch entwickelte Falschfahrerwarnsystem bietet damit die Funktion, Falschfahrende an

Ab- und Auffahrten flächendeckend ohne infrastrukturseitige Baumaßnahmen bzw. festverbaute, fahrerseitige Systeme zu erkennen sowie davor zu warnen. Das System schöpft dabei aber noch nicht das gesamte Potenzial der Vernetzung aus. Zunächst ist das System darauf beschränkt, dass nur Fahrzeuge erfasst bzw. deren Insassen gewarnt werden können, wenn einer der Fahrzeuginsassen ein Smartphone mit einer der o. g. Apps und den Freigaben für die Funktionalität Falschfahrerwarnung sowie eingeschalteter Standortbestimmung und mobilen Datenanbindung bei sich führt. Eine weitere systemseitige Einschränkung ist, dass die Sammlung und Auswertung der Smartphonedaten aktuell nur an Anschlussstellen durchgeführt wird. Falschfahrten, die an anderer Stelle beginnen, können damit zum jetzigen Zeitpunkt nicht erfasst werden. In einem weiteren Schritt wäre hier eine Erkennung von anderen Ausgangspunkten von Falschfahrten außerhalb von Anschlussstellen, z. B. durch das Wenden auf der Autobahn, wünschenswert. Zudem sollten die gewonnenen Informationen nicht nur auf den Kreis der App-Nutzer beschränkt sein, sondern die Informationen sollten auch anderen Stellen, die ggf. als „Multiplizierer“ dienen können, zur Verfügung stehen (z. B. Verkehrszentralen). Dabei sollte aber eine Angabe zur Qualität/Zuverlässigkeit der Aussage (erkannter Falschfahrender) nicht fehlen, sodass die weitergebende Stelle eine Einschätzung zur Verlässlichkeit der Aussage hat. Insbesondere bei Informationen von staatlicher Seite wird von den Nutzern – und das zu Recht – eine hohe Zuverlässigkeit erwartet. Hierbei wären hohe Fehlerraten somit nicht akzeptabel. Auf Seiten der privaten Anbieter ist dies sicher etwas anders gelagert, da die Funktion zunächst einmal als ein kostenloser Zusatzdienst angeboten wird. An diese haben Nutzer normalerweise eine nicht ganz so hohe Erwartungshaltung. Jedoch darf die Funktionalität auch nicht so unzuverlässig sein (z. B. eine hohe Rate von Falschinformationen), dass die Informationen eher „nerven“, nicht mehr beachtet und damit auch nicht mehr akzeptiert werden. Das wäre insgesamt fatal für das Vertrauen und damit auch für die Wirkung solcher Systeme.

Technologisch gesehen birgt der cloudbasierte Ansatz allein auch noch gewisse Nachteile, wie eine zwingende Datenverbindung, ein erhöhter Datentransfer und höhere Latenzzeiten. Hier können fahrerseitige unabhängige Systeme in intelligenter Kombination mit der Fahrzeugvernetzung zukünftig sicherlich Abhilfe schaffen. Erste Ansätze bei den

Fahrzeugherstellen sind hier erkennbar. Teilweise sind auch schon Systeme in aktuellen Fahrzeugserien (z. B. bei Ford⁹⁵ und Daimler⁹⁶) verbaut, die basierend auf den Sensor- und Lokalisierungsinformationen im Fahrzeug eigene Falschfahrten erkennen und den Fahrenden auch darüber informieren. Eine Weitergabe der Informationen erfolgt aktuell nicht, u. a. vor dem Hintergrund des Themas „Selbstanzeige“, welches bei allen Systemen in Betracht gezogen werden muss. Insbesondere die Fahrzeughersteller haben ein Interesse, dass die Weitergabe von der Information einer eigenen Falschfahrt, nicht einer solchen gleichkommt, da dies sicher nicht im Interesse des Kunden ist.

Insgesamt gesehen ist das von Bosch entwickelte Falschfahrererkennungssystem ein vielversprechender Ansatz, um Falschfahrten unabhängig von infrastruktur- und fahrzeugseitigen Systemen zu erkennen sowie vor diesen zu warnen. Jedoch ist das System aufgrund systemischer Einschränkungen bzw. Anforderungen an den Nutzer nur sehr bedingt als verlässliches Falschfahrerwarnsystem geeignet. Damit kann dieses System aktuell die von öffentlicher Hand vorgenommenen Maßnahmen zur Erfassung von Falschfahrten sowie Warnung vor diesen nicht ersetzen. Auch eine Unterstützung der öffentlichen Vorgehensweise ist unter den Einschränkungen nicht vorstellbar. Für eine Einbindung in die öffentlichen Prozesse ist eine hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich der Falschfahreraussage sowie deren Verfügbarkeit erforderlich. Beide Punkte sind aktuell bei dem Boschsystem noch stark zu hinterfragen. Bzgl. der Verfügbarkeit ist zudem zu berücksichtigen, dass das System nur funktioniert, wenn ein Fahrzeuginsasse

- ein Smartphone besitzt,
- dabei eine App mit dem Bosch-System installiert hat,
- alle Rechte für die Falschfahrerwarnfunktion in seinem Smartphone freigegeben hat,

- die Falschfahrwarnfunktion aktiv in der jeweiligen App selbstständig und bewusst aktiviert hat sowie
- die Standortbestimmung eingeschaltet hat sowie eine Datenverbindung zur Verfügung steht.

Insbesondere der Punkt, dass nicht jeder Smartphonebesitzer direkt die Funktionalität auf seinem Smartphone besitzt, sondern diese erst durch das Herunterladen von einer der oben genannten Apps ermöglicht wird, schränkt die Nutzergruppe und damit die Reichweite ein. Auch vor dem Hintergrund das mit der Nachrichten-App Fokus, mit über einer Millionen Installationen, die Funktion in einer recht verbreiteten App implementiert ist, ist dies gegenüber den 47,7 Millionen zugelassenen Pkw in Deutschland (Stand: 01.01.2020)⁹⁷ ein kleiner Anteil.

Räumlich betrachtet können bisher auch nur an Anschlussstellen Falschfahrten erkannt werden, andere Ausgangspunkte von Falschfahrten (wie z. B. Wenden auf der Autobahn) können derzeit nicht erkannt werden, was wiederum die Reichweite bzw. Wirkung einschränkt.

Hinsichtlich der Zuverlässigkeit des Systems gibt es bisher keine öffentlichen Angaben, jedoch lässt die aktuelle Vorgehensweise auf eine vorhandene Fehlerquote schließen. Zum einen muss die Eigenlokalisierung der Smartphones berücksichtigt werden, welche fehlerbehaftet ist. Zum anderen besteht der Bedarf einer stabilen Kommunikation mit der Cloud. Beides funktioniert derzeit nicht sicher, sodass immer eine Ungenauigkeit bzw. ein Risiko für Fehler gegeben ist. Für genauere Aussagen zur Zuverlässigkeit müssten messtechnische Untersuchungen angestellt werden.

Schlussendlich ist das appbasierte Falschfahrerwarnsystem eine nette Zusatzfunktion für Nutzer von Apps, in denen die Funktion als Feature implementiert ist. Das System kann aber nicht die vom Bund vorgenommenen Maßnahmen zur Erfassung

⁹⁵ Ford Media Center, „Falschfahrer-Warnfunktion: Technologie des neuen Ford Focus hilft bei der Vermeidung von „Geisterfahren“, <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/de/de/news/2018/08/06/falschfahrer-warnfunktion--technologie-des-neuen-ford-focus-hilf.html> (Abruf 01/2021)

⁹⁶ Daimler AG, „Die Fahrassistenzsysteme: Helfer im Hintergrund“, <https://media.daimler.com/marsMediaSite/ko/de/9904281> (Abruf 01/2021)

⁹⁷ Kraftfahrt-Bundesamt, Jahresbilanz – Bestand, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/b_jahresbilanz_inhalt.html?jsessionid=F8DD61CB05FCA06DBF803DBE730ED516.live21301?nn=2598042 (Abruf 01/2021)

von und Warnung vor Falschfahrenden ersetzen sowie als zuverlässige Informationsquelle für den Bund gesehen werden. Gründe dafür sind die zuvor thematisierten Einschränkungen. Perspektivisch können aber kooperative Lösungsansätze, die direkt fest in Fahrzeugsysteme integriert, datenschutzrechtlich konform und ohne die zuvor dargestellten systemischen Einschränkungen sowie Anforderungen an den Nutzer funktionieren von Interesse zur Unterstützung der von öffentlicher Seite verantworteten Falschfahrerwarnungen sein.

Verkehrsmonitoringsystem der Firma OptaSense

Auf Seiten konkreter Projektansätze ist eine Anfrage begutachtet worden, in der es darum ging, ob eine Evaluierung eines auf Lichtwellenleitern basierten Verkehrsmonitoringsystems der Firma OptaSense auf dem DTA realisierbar und sinnvoll ist. Die Firma OptaSense, welche zur weltweit tätigen QinetiQ Group Plc gehört, entwickelt und bietet Sensortechnologien auf Basis von Glasfaserkabeln bzw. Lichtwellenleitern (LWL) an. Das Begutachtungsergebnis ist in einem Kurzbericht⁹⁸ festgehalten worden, welcher dem Abschlussbericht als Anlage beigefügt ist (Anlage 1). Im Rahmen des Berichts ist die Bewertung aufbauend auf der Vorstellung der verwendeten Technologie und Ergebnissen einer Erprobung des Systems in den Niederlanden unter Federführung von Rijkswaterstaat vorgenommen worden. Der Bericht schließt mit einer Empfehlung zum Umgang mit der LWL-Technologie ab. Folgend eine kurze Zusammenfassung des Berichts:

Das OptaSense Verkehrsmonitoringsystem basiert auf der Nutzung eines bis zu 100 km langen Lichtwellenleiters als Sensor, welcher Verkehrsinformationen aufgrund von mechanischen Einflüssen auf den Lichtwellenleiter sammelt. Durch entsprechendes Equipment ausgewertet, kann Nutzern die Verkehrsstärke, die durchschnittliche Geschwindigkeit, eine Stau- und Wartezeiterkennung, durchschnittliche Reisezeiten und die Fahrzeuganzahl angezeigt bzw. zur Verfügung gestellt werden. Die Erprobungsergebnisse aus den Niederlanden sind überwiegend positiv bewertet worden. Festgehalten wurde, dass das in den Niederlanden vorhandene

Induktionsschleifen basierte System im Wesentlichen ersetzt werden kann. Als Vorteil wurde insbesondere die höhere Anzahl der Messstellen bzw. die höhere Granularität (50 m gegenüber 500 m bei induktionsschleifenbasiertem System) entlang des überwachten Streckenabschnitts genannt. Jedoch sind auch negative Aspekte identifiziert worden. So konnte z. B. mit der verwendeten Testkonfiguration keine fahrstreifengenaue Auflösung realisiert werden und die Messergebnisse wichen teilweise gegenüber einer Referenz ab. Auf Basis der Erkenntnisse aus den Niederlanden und der eigenen Recherche erfolgte eine Bewertung und eine Empfehlung im Hinblick auf eine pilothafte Erprobung auf dem Digitalen Testfeld Autobahn. Grundsätzlich kann dem Lichtwellenleiter basierten System ein hohes Potenzial attestiert werden. Ein Einsatz ist jedoch nur unter bestimmten Randbedingungen als sinnvoll zu bewerten.

Dazu zählt beispielsweise die Möglichkeit, Lichtwellenleiter entsprechend der Vorgaben des Anbieters zu verlegen bzw. vorhandene freie Lichtwellenleiter nutzen zu können. Auf dem Digitalen Testfeld Autobahn konnte den Hersteller-Anforderungen (u. a. eine gute akustische Kopplung der LWL, eine Verlegetiefe der LWL zwischen 30 bis 50 cm, eine Verlegung der LWL möglichst direkt neben der Fahrbahn) nicht entsprochen werden. Eine Umsetzung erfolgte aus diesem Grund nicht. Die Gründe dafür liegen u. a. in den stark variierenden und teilweise großen Abständen zwischen den vorhandenen Lichtwellenleitern und dem ersten Fahrstreifen von ca. 5 und 15 m sowie in den recht hohen Verlegetiefen von 80 bis 100 cm. Darüber hinaus sind die vorhandenen LWL lose in Leerrohren (Kabelschutzrohren) eingebracht und nicht fixiert, was ebenfalls für das gesamte Bundesgebiet gilt. Von einer Neuverlegung von Lichtwellenleitern auf dem DTA wurde abgesehen, da u. a. aufgrund des Seitenstreifens, vorhandener Böschungen, Einschnitten mit Entwässerungsmulden und Kanälen die Randbedingungen des Herstellers meist nicht erfüllt werden können. Weiterhin können auch Brücken, Unterführungen und Tunnel ggf. dazu führen, dass eine Verlegung der LWL neben der Fahrbahn nicht möglich ist.

Für Autobahnabschnitte, die bisher keine oder nur eine sehr begrenzte Verkehrsdatenerfassung aufweisen sowie für Autobahnen, welche neu gebaut bzw. ausgebaut werden, könnte das OptaSense-System unter Umständen eine geeignete Technolo-

⁹⁸ Der Kurzbericht „OptaSense Monitoringsystem“ wurde im Rahmen des FE 03.0541/2015 erstellt.

gie darstellen, da für die Montage jedes Verkehrsdatenerfassungssystems bauliche Maßnahmen einzuplanen sind.

Weigh-in-Motion Systeme (WIM)

Im Rahmen des Projekts zum Digitalen Testfeld Autobahn erfolgte auch eine Recherche zum aktuellen Stand der Forschung von Weight-in-Motion Systemen. Die Systeme ermöglichen es, Gewichtsmessungen von Fahrzeugen während der Fahrt durchzuführen. Dies ist u. a. für das Bundesamt für Güterverkehr von Interesse, um die Überladung von Lkw direkt auf der Autobahn oder im Rahmen von Standkontrollen zu erkennen. Als Einsatzszenario für ein solches System sind zwei Varianten denkbar. Im ersten Fall wird das System zur Vorselektion eingesetzt. Als zu schwer vom System erkannte Lkw würden in diesem Fall z. B. auf einen Rastplatz geleitet und dort weiteren Kontrollen unterzogen werden. Im zweiten Fall kann das System das Fahrzeuggewicht gerichtsfest messen. Weitere Kontrollen könnten dabei ggf. entfallen, da die ermittelten Werte bei Verstößen als Beweismittel eingesetzt werden können.

Aus der Recherche ging hervor, dass derzeit eine gerichts feste Messung mit WIM-Systemen in Deutschland nicht zulässig ist, unabhängig von der eingesetzten Technologie. Grund dafür sind sowohl das fehlende Regelwerk als auch die Grundlage, nach welcher die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) WIM-Systeme für gerichts feste Messungen zertifizieren kann.

Im Rahmen der Recherchetätigkeiten wurde u. a. ein im Jahr 2020 vorgestelltes System der Firma Kistler⁹⁹ betrachtet, welches eine Messgenauigkeit des Fahrzeuggewichts von bis $\pm 2\%$ erreichen kann. Dies bedeutet eine deutliche Genauigkeitssteigerung gegenüber bis zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Systemen, die Genauigkeiten von ca. $\pm 5\%$ erreichen können. Allen Systemen gemeinsam ist jedoch, dass diese derzeit für eine gerichts feste Messung nicht zertifiziert werden können.

⁹⁹ <https://www.kistler.com/de/loesungen/verkehrsmesstechnik/weigh-in-motion/> (Abruf 01/2021)

6 Zusammenhänge und Synergien zwischen den einzelnen Maßnahmen

Ein Ziel des Digitalen Testfelds Autobahn ist es, einen optimalen öffentlichen Erprobungsraum für digitale Technologien im Zusammenspiel Autobahn, Infrastruktur und Fahrzeug zu schaffen. Die Umsetzung erfolgt, wie im Kapitel 3 (Teilbereiche des Digitalen Testfelds Autobahn) beschrieben, durch die beiden thematischen Teilbereiche (Schwerpunktsetzungen) „Automatisiertes und Vernetztes Fahren (AVF)“ und „Intelligente Infrastruktur“.

Im Rahmen des Teilbereichs „Intelligente Infrastruktur“ sind, wie ausführlich in Kapitel 4 dargestellt, insgesamt 12 Maßnahmen gestartet bzw. durchgeführt worden. Die inhaltliche Durchführung der Maßnahmen fand projektorientiert statt. Ein inhaltlicher Austausch erfolgte in Form von regelmäßigen bilateralen Gesprächen. Zudem sind die aktuellen Stände der Maßnahmen auf den regelmäßig durchgeführten Betreuerkreissitzungen zum Digitalen Testfeld Autobahn diskutiert sowie auf Veranstaltungen des BMVI (z. B. Runder Tisch Automatisiertes Fahren, Fachgespräch „Nutzung digitaler Testfelder für das automatisierte und vernetzte Fahren“) präsentiert worden. Zusätzlich sind, wie im Kapitel 3 beschrieben, Informationen aus den Maßnahmen heraus auch in den Teilbereich AVF transportiert worden. Trotz der weitestgehend eigenständigen Durchführung der einzelnen Maßnahmen im Teilbereich Intelligente Infrastruktur bestehen untereinander, zum Teilbereich AVF und anderen Bereichen Beziehungen, u. a. auch synergetischer Natur. Diese werden im folgenden Kapitel beschrieben.

Die Zusammenhänge und Synergien der infrastrukturseitigen Maßnahmen untereinander lassen sich übergreifend in drei Kategorien einteilen:

1. Direkte Beziehungen
2. Indirekte Beziehungen über Eigenschaften, Systemkomponenten und Methoden
3. Indirekte Beziehungen über Nutzer/Adressaten

Direkte Beziehung ergeben sich dadurch, dass Maßnahmen, z. B. durch die Übermittlung von Daten/Ergebnissen, direkt voneinander profitieren können. Ein Überblick mit Beispielen findet sich in Tabelle 8.

Neben den direkten Beziehungen bestehen auch indirekte Beziehungen zwischen den Maßnahmen.

Die indirekten Beziehungen über die Eigenschaften, Systemkomponenten und Methoden sind dadurch gekennzeichnet, dass Maßnahmen Charakteristika besitzen, welche Sie mit anderen Maßnahmen gemeinsam haben. Beispiele für gemeinsame Charakteristika sind u. a. Sensordaten, die von einzelnen Maßnahmen erfasst, aufbereitet und an andere Stellen/Maßnahmen weitergeben werden oder der direkte/indirekte Einfluss der Maßnahmen auf die Verkehrseffizienz. Aufgrund der zahlreichen Möglichkeiten ist diese Form der indirekten Beziehungen auf die vier Unterkategorien Daten, Auswirkungen, Technologie und Organisation aufgeteilt worden, welche im weiteren Verlauf des Kapitels beschrieben werden. Eine weitere Ausprägung der indirekten Beziehungen lässt sich über die Nutzer und Adressaten der Maßnahmen herstellen. Beziehungen der Maßnahmen untereinander in diesem Kontext ergeben sich beispielsweise dadurch, dass Maßnahmen im Hinblick auf das automatisierte und vernetzte Fahren einen Beitrag leisten. Ein Überblick zu den indirekten Beziehungen ist in Tabelle 8 dargestellt.

Direkte Beziehungen

Die erste Kategorie der Zusammenhänge und Synergien sind die direkten Beziehungen. Sie zeichnen sich durch den direkten Nutzen der Ergebnisse bzw. des Outputs einer Maßnahme auf eine andere Maßnahme auf dem Digitalen Testfeld Autobahn A9 aus. Zudem werden unter dieser Kategorie weitere Synergien subsummiert, welche sich auf weitere Stellen/Einrichtungen, wie zum Beispiel Verkehrsleitzentralen, beziehen. In der folgenden Tabelle 7 werden für jede der zwölf Maßnahmen Beispiele von Synergien zu anderen Maßnahmen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn (DTA) und weitere darüber hinaus gehende Synergien dargestellt.

Tabelle 7 macht die enge Verknüpfung der infrastrukturseitigen Maßnahmen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn A9 deutlich, indem für einen Großteil der Maßnahmen Synergien zu weiteren Maßnahmen bestehen. Auffällig ist der Bezug vieler Maßnahmen zu „C2VBA“. Grund dafür ist insbesondere, dass die Verkehrsbeeinflussung durch die Verwendung von weiteren relevanten Daten (C2X), z. B. zur Verkehrs- oder Wetterlage, optimiert werden kann. Einige Maßnahmen erzeugen solche Daten, wie die Maßnahmen iRoute/iRoute2 oder Intelligente Glättevorhersage. Sie stellen damit eine Quelle von Informationen/Daten für die Maßnahme

C2VBA dar, der hier im Vergleich zu den anderen Maßnahmen eine Art „Endabnehmerstatus“ zuzuschreiben ist. Dieser Endabnehmerstatus lässt sich zudem auf die Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur übertragen, da über diese Maßnahme bzw. die Notrufsäuleninfrastruktur relevante Daten an Fahrzeuge vor entsprechenden Lokalisationen oder Ereignissen übertragen werden können.

Weiterhin sind eine Reihe von direkten Beziehungen unter einzelnen Maßnahmen zu erkennen. Einige Beispiele dafür sind:

- V2I: Der Baustellenwarner → iRoute/iRoute2, C2VBA, Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur (ANIKA II)
- Intelligente Glättevorhersage → iRoute/iRoute2, C2VBA, Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur (ANIKA II)
- C2VBA → Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen

Die gegenseitige Beziehung der Maßnahmen entsteht auf vielfältige Weise. So können z. B. Informationen über errichtete Arbeitsstellen kürzerer Dauer von der Maßnahme V2I: Der Baustellenwarner für die Berechnung von Reisezeiten in der Maßnahme iRoute/iRoute2 einbezogen werden. Weiterhin kann die Maßnahme iRoute/iRoute2 Informationen der Intelligente Glättevorhersage zur Berechnung heranziehen, wobei diese Informationen zudem für die Maßnahmen Intelligenter Reißverschluss oder C2VBA nützlich sind. Ein anderer Weg der Ausnutzung von Synergien untereinander entsteht, wenn eine Maßnahme direkt zur Unterstützung einer weiteren Maßnahme dient. Dies ist bei C2VBA oder der Nachhaltigen Notrufsäuleninfrastruktur (ANIKA II) und dem Sicheren Ausleiten bei Standkontrollen denkbar. So könnten beispielsweise Aufforderungen zur Ausleitung den Lkw-Fahrenden direkt im Cockpit angezeigt werden oder von automatisierten Fahrzeugen direkt umgesetzt werden.

Wie in der Tabelle 8 ebenfalls dargestellt, können zudem Synergien bzw. Möglichkeiten zur Nutzung von Daten oder Einrichtungen der infrastrukturseitigen Maßnahmen auf dem DTA auf weitere Einrichtungen/Stellen außerhalb des Digitalen Testfelds Autobahn konstatiert werden. Insbesondere können Verkehrsleitzentralen durch die zusätzlich erhobenen Daten, z. B. aus den Maßnahmen iRoute/iRoute2, V2I: Der Baustellenwarner, Telematische Falschfahrerwarnung, Intelligente Glättevorhersage

Maßnahme	Welche Maßnahmen profitieren/Synergien auf dem DTA	Weitere Synergien
iRoute/iRoute2	<p>C2VBA – Informationen welche im Rahmen der Maßnahme iRoute/iRoute2 (z. B. zu stockendem Verkehr) generiert werden, können der Automobilindustrie und privaten Dienst Anbietern über das C2VBA-System zur Verfügung gestellt werden. Navigations- und Fahrerassistenzsysteme in den Fahrzeugen können die Daten dann z. B. für die Anpassung der Routenführung nutzen.</p> <p>Innovatives Lkw-Parkleitsystem – Informationen über erhöhte Reisezeiten vor Parkplätzen aus iRoute/iRoute2 heraus könnten zur Kalkulation der zukünftigen Auslastung von den Parkplätzen sowie zu erwarteten Fahrzeiten zum nächsten Parkplatz Verwendung finden.</p> <p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses.</p>	<p>Verkehrsleitzentralen – Informationen aus iRoute/iRoute2 können für eine Vielzahl von verkehrliche Steuerungs- und Regelungsaufgaben in der Verkehrsleitzentrale genutzt werden. U. a. können die ermittelten Reisezeiten zur optimierten Schaltung der Verkehrsbeeinflussungsanlagen verwendet werden (C2VBA bzw. C2SBA und C2NBA).</p> <p>Verkehrsmanagement (überregional) – Die Informationen könnten zur Optimierung eines Verkehrsmanagementsystems genutzt werden. U. a. könnten die Daten auch bei Schaltungen von Netzbeeinflussungsanlagen unterstützend eingesetzt werden.</p> <p>Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM) – Als Plattform zur Bereitstellung digitaler Daten aus dem Bereich Verkehr, werden die Daten von iRoute/iRoute2 schon weiteren Nutzern (z. B. Navigationsgeräteherstellern) zur Verfügung gestellt. Auch andere potenzielle Nutzer können über den MDM die Daten beziehen und für ihre Zwecke verwenden.</p> <p>AVF – indirekt: Informationen zu Reisezeiten könnten von automatisierten Fahrzeugen bei der Routenplanung einbezogen werden. Informationen über lokale Ereignisse (z. B. Stauende) können bei der Fahr- und Manöverplanung der automatisierten Fahrzeuge Verwendung finden.</p>
V2I: Der Baustellenwarner	<p>C2VBA – Informationen von den Baustellenwarnern können der Automobilindustrie und privaten Dienst Anbietern über das C2VBA-System zur Verfügung gestellt werden. Navigations- und Fahrerassistenzsysteme in den Fahrzeugen können die Daten dann z. B. für die Anpassung der Routenführung nutzen.</p> <p>iRoute/iRoute2 – Berücksichtigung der Informationen von den fahrbaren Absperrtafeln bei der Reisezeitermittlung in der Maßnahme iRoute/iRoute2.</p> <p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses.</p>	<p>Verkehrsleitzentralen – Informationen zu vorhandenen Arbeitsstellen können von Verkehrsleitzentralen genutzt werden. U. a. können die ermittelten Geschwindigkeiten zur Prognose der Verkehrslage sowie zur optimierten Schaltung der Verkehrsbeeinflussungsanlagen verwendet werden (bereits umgesetzt).</p> <p>Verkehrsmanagement (überregional) – Die Informationen könnten zur Optimierung eines Verkehrsmanagementsystems genutzt werden. U. a. könnten die Daten auch bei Schaltungen von Netzbeeinflussungsanlagen unterstützend eingesetzt werden.</p> <p>Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM) – Als Plattform zur Bereitstellung digitaler Daten aus dem Bereich Verkehr, können die Daten Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Diese können u. a. im Hinblick auf die Lage und Länge von Arbeitsstellen von Navigationsdienstleistern bei der Routenplanung genutzt werden (bereits umgesetzt).</p> <p>AVF – Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge können Informationen (direkt und indirekt) von den fahrbaren Absperrtafeln u. a. bei der Routenplanung, der Anpassung der Geschwindigkeit vor den Arbeitsstellen, zur Warnung vor möglichen Stauenden (automatisierte Einbremsung, Übergabe der Fahrzeugsteuerung an den Fahrenden) verwenden.</p>
Telematische Falschfahrerwarnung	<p>C2VBA – Warnungsmeldungen über Falschfahrer können auch über eine Anbindung von C2VBA der Automobilindustrie und privaten Dienst Anbietern für Navigations- und Fahrerassistenzsystemen zur Verfügung gestellt werden. U. a. könnten dadurch Fahrmanöver sowie die Route im Vorfeld geplant sowie der Fahrende informiert oder auch die Fahrzeugsteuerung an den Fahrenden übergeben werden.</p> <p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses.</p>	<p>Verkehrsleitzentralen – Informationen zu Falschfahrenden könnten von Verkehrsleitzentralen zur Warnung von anderen Verkehrsteilnehmern oder zur Alarmierung von Behörden genutzt werden. U. a. ggf. auch zur Schaltung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen.</p> <p>Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM) – Als Plattform zur Bereitstellung digitaler Daten aus dem Bereich Verkehr, könnten die Falschfahrerinformationen anderen potenziellen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Diese können u. a. bei der Routenplanung sowie zur Fahrerinformation genutzt werden.</p> <p>AVF – Einbeziehung der Informationen von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen bei der Fahr- und Manöverplanung, z. B. durch eine vorsichtigeren Fahrweise vor der Gefahrenstelle.</p>

Tab. 7: Beispiele von direkten Beziehungen/Synergien der Maßnahmen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn

Maßnahme	Welche Maßnahmen profitieren/Synergien auf dem DTA	Weitere Synergien
Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Telematische Falschfahrerwarnung • V2I: Der Baustellenwarner • Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen • Innovatives Lkw-Parkleitsystem • Intelligente Glättevorhersage • Tank- und Rastanlage der Zukunft • Intelligenter Reißverschluss • iRoute/iRoute2 <p>Die zuvor genannten Maßnahmen könnten ihre Informationen auch über V2I-Kommunikationseinheiten an Notrufsäulenstandorten verteilen und so den Fahrzeugen via pWLAN zur Verfügung stellen.</p>	<p>Verkehrsleitzentralen – könnten die V2I-Kommunikationseinheiten an Notrufsäulenstandorten zur Verteilung von Informationen nutzen (z. B. Verkehrsinformationen, Warnungen vor Falschfahrenden, Warnungen vor Glätte) oder auch als eine Art virtuelle Verkehrsbeeinflussungsanlage.</p> <p>Verkehrsmanagement (überregional) – Übertragung von relevanten Informationen an Fahrzeuge und Aufnahme von Informationen (z. B. Geschwindigkeit) über die V2I-Kommunikationseinheiten der Notrufsäulen zum Managen des Verkehrs</p> <p>AVF – Automatisierte und vernetzte Fahrzeuge könnten Informationen (z. B. zur Verkehrsauslastung, Stauenden oder zur Anzahl freier Parkplätze) über die V2I-Kommunikationseinheiten erhalten. Die Informationen könnten zur Routenplanung, Fahr- und Manöverplanung sowie zur gezielten und automatisierten Ansteuerung von freien Parkplätzen verwendet werden.</p>
Innovatives Lkw-Parkleitsystem	<p>Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen – Informationen des Parkleitsystems könnten z. B. von Behörden verwendet werden um Parkplätze mit einer ausreichend geringen Auslastung für eine Standkontrolle zu identifizieren (ausreichend Platz für Kontrollmaßnahmen)</p> <p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses</p>	<p>Verkehrsleitzentralen – Informationen zu freien Parkplätzen könnte bei der Steuerung des Lkw-Verkehrs berücksichtigt werden.</p> <p>Verwaltung der Parkplätze/Betreiber – könnten die Informationen zur Belegung der Parkflächen einsetzen, um z. B. Reinigungsintervalle von den Parkplätzen und z. B. auch sanitären Einrichtungen zu planen.</p> <p>Verkehrsmanagement (überregional) – Informationen könnten zur übergeordneten Steuerung des Verkehrs herangezogen werden.</p> <p>AVF – Automatisierte und vernetzte Lkw könnten auf Basis der Informationen gezielt freie Park- und Rastanlagen anfahren.</p>
Intelligente Brücke	<p>C2VBA – Informationen der Brückenbauwerke, z. B. zur eingeschränkten Nutzung, könnten zur Steuerung des Verkehrs verwendet werden. Entsprechende Daten könnten der Automobilindustrie und privaten Dienstleistern für Navigations- und Fahrerassistenzsystemen über das C2VBA-System zur Verfügung gestellt und entsprechend berücksichtigt werden.</p>	<p>Verkehrsleitzentralen – Könnten die Informationen zum Zustand der Brücken in die mittel- und langfristige Verkehrsplanung einbeziehen. Anstehende Reparaturen könnten somit berücksichtigt und bereits mit ausreichend Vorlauf geplant werden.</p> <p>Brückenbetreiber – können die Informationen bzgl. des Zustandes zum Monitoren einsetzen und vorausschauend Wartungen und Reparaturen planen.</p>
Intelligente Glättevorhersage	<p>C2VBA – Informationen zu Wetter und Straßenbedingungen können der Automobilindustrie und privaten Dienstleistern für Navigations- und Fahrerassistenzsystemen über das C2VBA-System zur Verfügung gestellt werden. Diese könnten entsprechende Warnmeldungen anzeigen oder mit einem geänderten Vorschlag der Routenführung reagieren. iRoute/iRoute2 – Berücksichtigung der Informationen bei der Reisezeitberechnung der Maßnahme iRoute/iRoute2. Als Grund für höhere Reisezeiten könnten somit auch durch die Wetter- und Straßenbedingungen erklärt werden. Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses.</p>	<p>Winterdienste – können die Informationen für eine effizientere und optimierte Planung verwenden.</p> <p>Verkehrsleitzentralen – Anhand der Informationen können Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) entsprechend geschaltet werden (z. B. durch Anpassung der Geschwindigkeit oder durch Warnungen)</p> <p>Informationsdienste/Radio/Navigationsdienste – können die Informationen z. B. zur Warnung der Verkehrsteilnehmer nutzen.</p> <p>AVF – Automatisierte und Vernetzte Fahrzeuge können die Informationen für den Betrieb einsetzen, indem z. B. die Geschwindigkeit an die Straßenbedingungen angepasst wird.</p>
Internet-Parkplatz	<p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe von Informationen an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität.</p>	<p>AVF – Die Fahrzeuge können über die WLAN-Verbindung z. B. Updates herunterladen.</p> <p>Gesamtgesellschaftlicher Nutzen – Besucher der Park- und Rastanlagen können die WLAN-Verbindung für den eigenen Bedarf nutzen.</p>
Tank- und Rastanlage der Zukunft	<p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe von Informationen an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität.</p>	<p>Gesamtgesellschaftlicher Nutzen – Aufgrund der energieneutralen Bauweise, z. B. durch den Einsatz von Photovoltaik, entstehen insgesamt weniger Emissionen. Zudem wird durch das Angebot alternativer Energieträger, wie z. B. Elektro und Wasserstoff, der Umstieg auf diese Lösungen gefördert. Zudem trägt die Maßnahme zur Sicherheit und Komfort bei.</p> <p>AVF – indirekt: Automatisierte und Vernetzte Fahrzeuge mit alternativen Antriebslösungen können das Angebot beim Betrieb und der Planung von Routen berücksichtigen.</p>

Tab. 7: Fortsetzung

Maßnahme	Welche Maßnahmen profitieren/Synergien auf dem DTA	Weitere Synergien
Intelligenter Reißverschluss	<p>C2VBA – Informationen der VBA im Zulauf der Arbeitsstelle können der Automobilindustrie und privaten Dienstleistern für Navigations- und Fahrerassistenzsystemen zur Verfügung gestellt werden. Die Informationen könnten zur Unterstützung der realen VBA genutzt werden.</p> <p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen an Fahrzeuge Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses.</p>	<p>Verkehrsleitzentralen – können die Informationen zur Steuerung des Verkehrs nutzen. U. a. können bereits im Vorfeld der Arbeitsstelle entsprechende Informationen an die Verkehrsteilnehmer weitergegeben werden.</p>
Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen	<p>Innovatives Lkw-Parkleitsystem – Informationen über geplante/durchgeführte Standkontrollen könnten z. B. bei den Informationen zu freien Stellplätzen berücksichtigt werden (weniger Parkplätze zur Verfügung).</p> <p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen bzw. der Aufforderung zum Abfahren an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses</p>	<p>Polizei/Zoll – Arbeitssicherheit bei Kontrollen wird erhöht, da eine händische Ausleitung durch eine Person am Rand der Fahrbahn entfällt.</p> <p>AVF – Das Ausleiten von automatisierten und vernetzten Lkw kann optimiert werden, wenn die Ausleitforderung automatisiert an die Lkw übergeben wird. Ein Übersehen der Ausleitforderung könnte damit umgangen werden.</p>
C2VBA	<p>Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen – Falls die Informationen der Standkontrolle auch in digitaler Form vorliegen (ggf. durch Schaltung von Verkehrsbeeinflussung) könnte über die C2VBA-Funktionalität auch die Informationen zusätzlich an die Informations- und Navigationssysteme für Lkw übermittelt werden.</p> <p>Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur – Weitergabe der Informationen bzw. der Aufforderung zum Abfahren an Fahrzeuge im Vorfeld der entsprechenden Lokalität bzw. des Ereignisses</p>	<p>Gesamtgesellschaftlicher Nutzen – durch optimierte Auslastung verkehrlicher Infrastruktur (verbessertes Verkehrsfluss, reduzierte Emissionen, verringerte Reisezeiten, Verkehrssicherheit)</p> <p>AVF – Die Informationen werden direkt den Fahrzeugen zur Verfügung gestellt und können zum Betrieb und in die Planung von Routen einbezogen werden.</p> <p>Automobilindustrie/Navigationsdienstleister – profitieren, indem Sie aktuelle Informationen (z. B. zur Verkehrslage), direkt im Fahrzeug zur Verfügung stellen können.</p>

Tab. 7: Fortsetzung

oder der Nachhaltigen Notrufsäuleninfrastruktur, profitieren. Übergeordnet ist ebenfalls die Einbeziehung der Daten durch ein Verkehrsmanagement möglich. Als generellen Weg gewonnene (Verkehrs-)Daten aus den Maßnahmen der Intelligenten Infrastruktur abzunehmen und weiteren Nutzern sowie Diensteanbietern zur Verfügung zu stellen, ist der Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM) als zentraler Anlaufpunkt zu berücksichtigen (vgl. delegierte Verordnung der EU)¹⁰⁰.

¹⁰⁰ Delegierten Verordnung: 2017/1926 (A, Multimodale Reiseinformationsdienste); 2015/962 (B, Echtzeit-Verkehrsinformationen); 886/2013 (C, Sicherheitsrelevante Verkehrsmeldungen)

Indirekte Beziehungen (Eigenschaften, Systemkomponenten und Methoden)

Wie bereits erwähnt, sind die indirekten Beziehungen (Tabelle 8), welche über die Eigenschaften, Systemkomponenten und Methoden entstehen, aufgrund der vielen Möglichkeiten in insgesamt vier Unterkategorien aufgeteilt worden. Folgend werden die vier Kategorien sowie die darin umfassten Unterkategorien beschrieben.

Digitales Testfeld Autobahn																			
Indirekte Beziehungen		Eigenschaften/Systemkomponenten/Methoden											Nutzer/ Adressat						
Unterkategorie		Daten				Auswirkungen				Technologie			Organisation						
Charakteristika		Datenerzeugung	Datenaufbereitung	Datenweitergabe	Datenabnehmer	Direkter Einfluss auf Verkehrseffizienz	Indirekter Einfluss auf Verkehrseffizienz	Direkter Einfluss auf Verkehrssicherheit	Indirekter Einfluss auf Verkehrssicherheit	Sensoren (Straßeninfrastruktur)	Sensoren (allgemein)	Datenverarbeitung/Algorithmik	Aktuatoren	Einführungsstrategien	Datenschutz	Rollenmodelle	Automatisiertes und vernetztes Fahren	Vorteil für den Verkehrsteilnehmer (Komfort...)	Vorteil für den Verkehrsmanager
Maßnahme																			
iRoute/iRoute2																			
V2I: Der Baustellenwarner																			
Telematische Falschfahrerwarnung																			
Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur																			
Innovatives Lkw-Parkleitsystem																			
Intelligente Brücke																			
Intelligente Glättevorhersage																			
Internet-Parkplatz																			
Tank- und Rastanlage der Zukunft																			
Intelligenter Reißverschluss																			
Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen																			
C2VBA																			

Tab. 8: Indirekte Beziehungen der infrastrukturseitigen Maßnahmen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn A9 untereinander

- Daten

Die Unterkategorie „Daten“ fasst alle Methoden zur Erzeugung von Verkehrs- und Umfelddaten sowie deren Aufbereitung und Weitergabe zusammen. Weiterhin sind auch Maßnahmen abgedeckt, welche generierte, aufbereitete und weitergegebene Daten abnehmen. Die Beschreibung der Charakteristika der Unterkategorie ist in Tabelle 9 dargestellt.

- Auswirkungen

Die Unterkategorie gibt die Einflussnahme der Maßnahmen auf den Verkehr wieder. Es wird dabei zwischen einem direkten und indirekten Einfluss unterschieden.

Die Beschreibung der Charakteristika der Unterkategorie ist in Tabelle 10 dargestellt.

Charakteristik	Beschreibung	Beispiel
Datenerzeugung	Hierzu zählen Maßnahmen, bei denen verkehrsrelevante Daten (z. B. durch Sensoren) und verkehrliche Daten zu Auswertungszwecken generiert werden (Datenquelle).	Die Erzeugung von Wetterdaten (Intelligente Glättevorhersage) oder Informationen zu Falschfahrenden (Telematische Falschfahrerwarnung) sind Beispiele für die Generierung von verkehrsrelevanten Daten. Daten zu Auswertungszwecken werden u. a. bei der Tank- und Rastanlage der Zukunft zur Ermittlung der Energiebilanz oder beim innovativen Lkw-Parkleitsystem zur Ermittlung freier Lkw-Stellplätze erzeugt.
Datenaufbereitung	Maßnahmen, die Daten (Verkehrsdaten/Sensordaten) aufbereiten (im Sinne eines technischen Prozesses), um Sie Nutzern/Anwendern zur Verfügung zu stellen oder sie durch weitere technische Systeme weiter zu verarbeiten.	Ein Beispiel sind die Daten der Maßnahme Intelligente Brücke. Diese werden vorverarbeitet, um Sie Brückenbetreibern handhabbar zur Verfügung zu stellen. Weiterhin zählt auch die Maßnahme C2VBA zur Datenaufbereitung, da Informationen zu den dynamischen Wechselverkehrszeichen für die Weiterverbreitung aufbereitet werden.
Datenweitergabe	Dem sind Maßnahmen zugeordnet, bei denen die maßnahmenrelevanten Daten über die Maßnahmengrenze hinaus Verwendung finden.	Typische Beispiele sind die Maßnahmen Telematischen Falschfahrerwarnung oder innovatives Lkw-Parkleitsystem, bei denen Informationen an die Verkehrsteilnehmer übertragen werden.
Datenabnehmer	Dazu gehören Maßnahmen, die Daten anderer Maßnahmen und anderer Stellen erhalten (Datensenke), um diese Nutzern/Anwendern zur Verfügung zu stellen.	Die Maßnahme C2VBA ist ein Abnehmer von Daten und gibt diese in aufbereiteter Form weiter. Sowohl die Maßnahme V2I: Baustellenwarner als auch die Maßnahme Nachhaltige Notrufsäule können ebenfalls als Datenabnehmer anderer Dienste dienen, um Informationen an Verkehrsteilnehmer weiter zu geben.

Tab. 9: Daten

Charakteristik	Beschreibung	Beispiel
Direkter Einfluss auf die Verkehrseffizienz	Maßnahmen, die einen direkten Einfluss auf die Verkehrseffizienz haben.	Die Maßnahmen Intelligenter Reißverschluss oder Intelligente Glättevorhersage beeinflussen direkt den Verkehr.
Indirekter Einfluss auf die Verkehrseffizienz	Maßnahmen, die indirekt die Verkehrseffizienz beeinflussen, indem sie beispielsweise relevante Verkehrsdaten weitergeben/übertragen (Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur, Internetparkplatz) oder indem die Daten der Maßnahme für die Verkehrsbeeinflussung verwendet werden können.	Die Maßnahme Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur und iRoute2 können durch die Übertragung von Daten dazu beitragen, den Verkehr effizienter zu gestalten. Informationen der Maßnahme Intelligente Brücke können durch eine darauf aufbauende und vorausschauende Verkehrsbeeinflussung zur Verkehrseffizienz beitragen.
Direkter Einfluss auf die Verkehrssicherheit	Maßnahmen, die direkt die Sicherheit des Verkehrs erhöhen.	Maßnahmen wie der V2I: Baustellenwarner, die Telematische Falschfahrerwarnung oder das Sichere Ausleiten bei Standortkontrollen haben einen direkten und positiven Effekt auf die Verkehrssicherheit.
Indirekter Einfluss auf die Verkehrssicherheit	Maßnahmen, die indirekt die Sicherheit des Verkehrs erhöhen.	Maßnahmen wie das Lkw-Parkleitsystem, der Intelligente Brücke oder die Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur können die Verkehrssicherheit indirekt positiv beeinflussen, indem Sie z. B. einen einfacheren Zugang zu Stellplätzen ermöglichen und somit eine Erholung der Verkehrsteilnehmer fördern oder indem sie Informationen zu sicherheitsrelevanten Situationen/Ereignissen bereitstellen.

Tab. 10: Auswirkungen

- Technologie

Im DTA werden z. T. neue Technologien entwickelt oder aktuelle Technologien in neuen Ansätzen eingesetzt und z. T. kombiniert. Dabei werden sowohl Technologien der Straßeninfrastruktur also auch von Fahrzeugen und externen Datensystemen eingesetzt.

Die Beschreibung der Charakteristika der Unterkategorie ist in Tabelle 11 dargestellt.

Charakteristik	Beschreibung	Beispiel
Sensoren (Straßeninfrastruktur)	Maßnahmen, in denen neue straßenseitige Sensorik entwickelt oder verfügbar gemacht wird.	Es wurden z. B. unterschiedliche Sensoren bei der Maßnahme Telematische Falschfahrerwarnung zur Detektion von Falschfahrten untersucht und eingesetzt. Weitere Beispiele sind die Erfassung des Verkehrsflusses beim Intelligenten Reißverschluss oder Sensoren zur Bilanzierung der ein- und ausgefahrenen Lkw zur Ermittlung freier Lkw-Stellplätze bei der Maßnahme Lkw-Parkleitsystem.
Sensoren (allgemein)	Maßnahmen, in denen Daten von Sensoren erfasst und verfügbar gemacht werden, die nicht der straßenseitigen Sensorik zuzuordnen sind.	Es wurden z. B. fahrerseitige Sensoren zur Ermittlung der Wasserfilmdicke bei der Maßnahme Intelligente Glättevorhersage untersucht.
Datenverarbeitung/ Algorithmen	Maßnahmen, in denen neue Datenaufbereitungs- und Steuerungsverfahren entwickelt werden.	Bei allen durchgeführten Maßnahmen sind neue Verfahren untersucht und entwickelt worden, um Daten geeignet aufzubereiten bzw. um geeignete Steuerungsverfahren zu ermöglichen. Beispiele sind z. B. die Ermittlung der Streusalzmenge bei der Maßnahme Intelligente Glättevorhersage oder die Auswertung der Sensordaten bei der Maßnahme Intelligente Brücke.
Aktuatoren	Maßnahmen, in denen neue Aktuatoren zur Kommunikation mit den Verkehrsteilnehmern entwickelt werden.	Beim Sicheren Ausleiten werden die Lkw-Fahrenden über eine neu konzipierte Anzeigetafel zum Ausfahren aufgefordert. Beim Lkw-Parkleitsystem werden die Lkw-Fahrende ebenfalls über neue Anzeigetafeln sowie Apps über Stellplatzbelegungen informiert.

Tab. 11: Technologie

- Organisation

Unter der Unterkategorie „Organisation“ werden Themen subsummiert, die nicht technologischer Natur sind, aber als Erkenntnisse über die Maßnahmengrenzen hinweg von Bedeutung sein können. Z. B. hat das Thema „Datenschutz“ immer eine Relevanz, sobald Daten gewonnen, verarbeitet oder gespeichert werden.

Die Beschreibung der Charakteristika der Unterkategorie ist in Tabelle 12 dargestellt.

Charakteristik	Beschreibung	Beispiel
Einführungsstrategien	Umfasst Maßnahmen, welche Erfahrung hinsichtlich einer realen Umsetzung sowie der Einführung von neuen infrastrukturseitigen Technologien gesammelt haben. Zu den gesammelten Erfahrungen zählen beispielsweise die Identifikation von Hemmnissen oder Risiken sowie Ermittlung eines Best-Practise.	Bei der Maßnahme Sicheres Ausleiten ist an fünf Standorten die neue Ausleittechnologie erprobt und bewertet worden. Die Erkenntnisse sollen als Grundlage für weitere Installationen von solchen neuartigen Kontrollplätzen deutschlandweit dienen.
Datenschutz	Hier sind Maßnahmen eingeschlossen, deren Umsetzung einen direkten Bezug zum Umgang mit personenbezogenen Daten hinsichtlich des Datenschutzes bzw. Erfahrungen hinsichtlich des Umgangs mit personenbezogenen Daten haben. Mögliche projektbezogene Fragestellungen sind u. a. die Identifikation entsprechender Daten, wie damit umgegangen werden muss und wer evtl. eingebunden werden muss.	Bei der Maßnahme Internetparkplatz sind z. B. Überlegungen hinsichtlich des Datenschutzes angestellt worden, da die Verwendung des Internetzugangs sich ggf. auf Personen beziehen lässt und damit personenbezogene Daten bestehen, die datenschutzrelevant sind.
Rollenmodelle	Maßnahmen die Erfahrungen hinsichtlich der unterschiedlichen Akteure gesammelt haben, die an der Umsetzung der Technologie beteiligt sind. Mögliche Aspekte die in diesem Kontext untersucht wurden sind beispielsweise die Frage, welche Akteure beteiligt sind oder welche Aufgaben und Verantwortung diese tragen.	Im Rahmen der Maßnahme C2VBA werden die Verkehrsinformationen (Daten) zwischen verschiedenen Akteuren ausgetauscht (z. B. Automobilhersteller, Navigationsgeräteanbieter, Verkehrsleitzentralen etc.). Hier sind neben der technischen Umsetzung auch Vereinbarungen zu treffen (zumeist vertraglich) wie mit den Daten umgegangen wird, usw.

Tab. 12: Organisation

Indirekte Beziehungen (Nutzer/Adressaten)

Die indirekten Beziehungen über die Nutzer und Adressaten sind in insgesamt drei Bereiche unterteilt worden. Im Hintergrund der Bereiche steht jeweils die Frage, wer letztlich von den Ergebnissen der Maßnahme profitieren kann. Konkrete Beispiele der Maßnahmen zu den drei Bereichen sind in Tabelle 8 aufgezeigt. Nachfolgend werden die drei Bereiche beschrieben:

- Automatisiertes und vernetztes Fahren

Dem Bereich sind Maßnahmen zugeordnet, welche einen Beitrag zur Realisierung des automatisierten und vernetzten Fahrens leisten oder deren Ergebnisse/Informationen von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen z. B. zum Betrieb, zur Fahr- oder Manöverplanung oder zur Wartung eingesetzt werden können.

Beispielsweise können Informationen, welche durch die Maßnahme Intelligente Glättevorhersage generiert werden, zu einem insgesamt sicheren Betrieb von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen beitragen. Durch Teilergebnisse der Maßnahme Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur hingegen, wird eine technische Möglichkeit zur Übertragung von Daten zwischen automatisierten Fahrzeugen und der Infrastruktur hergestellt.

- Vorteil für den Verkehrsteilnehmer

Maßnahmen die auf diesen Bereich zutreffen, verschaffen den Verkehrsteilnehmern direkt oder indirekt Vorteile, indem sie beispielsweise zur Reduzierung von Reisezeiten beitragen, den Verkehr sicherer machen oder auch einen Komfortgewinn ermöglichen.

So entsteht z. B. ein Gewinn an Sicherheit durch die Maßnahme Telematische Falschfahrerwarnung, indem Verkehrsteilnehmer vor entsprechenden Ereignissen gewarnt werden.

- Vorteil für den Verkehrsmanager

Der Bereich beinhaltet alle Maßnahmen, die Vorteile für Verkehrsmanager, z. B. in Verkehrsleitzentralen, ermöglichen. Die Vorteile entstehen u. a. durch die Bereitstellung von Informationen zur Verkehrslage oder dem Zustand der Verkehrsinfrastruktur und können zum Beispiel für die kurz- oder langfristige Planung/Lenkung des Verkehrs genutzt werden.

Tabelle 8 macht deutlich, dass alle Maßnahmen indirekte Beziehungen zueinander aufweisen, über die sie jeweils miteinander verknüpft sind. Im Bereich der indirekten Beziehungen, die über die Eigenschaften, Systemkomponenten und Methoden entstehen, ist die Ausprägung in den einzelnen Unterkategorien bzw. deren Charakteristika unterschiedlich und breit gestreut. Trotzdem zeigen sie Verknüpfungspunkte sowie Gemeinsamkeiten auf und damit auch Stellen, an denen ähnliche Herausforderungen auftreten können. Durch deren genauere gemeinsame Betrachtung und einem gezielten Austausch dazu, können Synergieeffekte effektiv genutzt werden.

In der Unterkategorie Daten zeigt sich, dass nahezu alle Maßnahmen Verkehrs- und Umfelddaten erzeugen und für die weitere Verwendung aufbereiten. Für die Generierung der Daten wurden unterschiedlichste Technologien wie Temperatursensoren, Dehnungsmessstreifen, Bluetooth, Radarsysteme im Rahmen der Maßnahmenumsetzung bzw. für den jeweiligen Anwendungszweck erprobt und erforscht. In der Unterkategorie Daten lässt sich zudem feststellen, dass rund die Hälfte der Maßnahmen zur Weitergabe von relevanten Daten beitragen bzw. entsprechende Anwendungen und Technologien im Rahmen der Maßnahmenumsetzung untersucht haben. Weiterhin lassen sich insgesamt drei Maßnahmen als Datenabnehmer definieren, welche Daten anderer Maßnahmen und anderer Stellen aufnehmen und sie Nutzern/Anwendern zu Verfügung zu stellen (V2I: Der Baustellenwarner, Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur und C2VBA).

Die Unterkategorie Auswirkungen zeigt die indirekten und direkten Einflüsse auf die Verkehrseffizienz und die Verkehrssicherheit. Bezüglich der Verkehrseffizienz zeigt die Abbildung, dass der Großteil der Maßnahmen einen indirekten Einfluss ausübt, indem z. B. relevante Verkehrsdaten weitergegeben werden oder die Daten der Maßnahme für die Verkehrssteuerung genutzt werden können. Maßnahmen die keinen indirekten Einfluss haben, üben stattdessen einen direkten Einfluss aus. Beispiele dafür sind die intelligente Steuerung des Reißverschlussverkehrs (Intelligenter Reißverschluss) oder die intelligente Vorhersage und Bekämpfung von Glätteis (Intelligente Glättevorhersage). Der Einfluss der Maßnahmen auf die Verkehrssicherheit teilt sich zur Hälfte auf den indirekten und direkten Einfluss auf.

In der Unterkategorie Technologie gibt es ebenfalls zahlreiche indirekte Beziehungen der Maßnahmen

untereinander, indem u. a. infrastrukturseitige und fahrzeugseitige Sensoren in den Maßnahmen untersucht worden sind. Weiterhin zeigt die Grafik, dass nahezu alle Maßnahmen im Bereich der Datenverarbeitung/Algorithmik geforscht und erprobt haben und dass auch die Untersuchung von Akteuren ein Schwerpunkt der Maßnahmen war.

Eine weitere Verknüpfung der Maßnahmen untereinander konnte auch über die Unterkategorie Organisation hergestellt werden. Die Anzahl der Maßnahmen, welche Schwerpunkte in den drei gewählten Charakteristika Einführungsstrategien, Datenschutz und Rollenmodelle hatten, ist zwar geringer als in den anderen Unterkategorien, nichtsdestotrotz konnten jeweils mehrere Maßnahmen entsprechende Erfahrungen und Ergebnisse in den Bereichen sammeln.

Zusammenfassend lässt sich zu den indirekten Beziehungen über die Eigenschaften, Systemkomponenten und Methoden konstatieren, dass zahlreiche Zusammenhänge unter den Maßnahmen bestehen und dass die Zusammenhänge auf vielen Wegen hergestellt werden. Die Untersuchung und Erprobung der unterschiedlichen Technologien im jeweiligen Einsatzbereich, das Management von Daten von der Erzeugung bis zur Weitergabe an einen Endanwender, der Umgang und das Verständnis unterschiedlicher organisatorischer Aspekte sowie die letztlich durch die Maßnahmen bedingten Auswirkungen auf die Verkehrseffizienz und -sicherheit ergeben insgesamt ein verflochtenes Gesamtbild. Von diesem zusammenhängenden Gesamtbild profitieren die Maßnahmen untereinander, der aktuelle Verkehr sowie der zunehmend automatisierte Verkehr der Zukunft. Dies zeigt sich ebenfalls in den indirekten Beziehungen über die Nutzer/ Adressaten, welche ebenfalls in Tabelle 8 dargestellt wurden. Deutlich wird, dass nahezu alle Maßnahmen weitere wertvolle Schritte auf dem Weg zum automatisierten und vernetzten Fahren darstellen sowie dass sowohl Verkehrsteilnehmer als auch Verkehrsmanager von den Maßnahmen profitieren.

Im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung wurden die Zusammenhänge und Synergien der Maßnahmen des Digitalen Testfeld Autobahn umfassend analysiert. Zudem ist während der Projektlaufzeit der wissenschaftliche Austausch sichergestellt worden, sodass sich die dargestellten Effekte optimal im DTA manifestieren konnten.

Insgesamt konnte somit ein Erprobungsraum für neue und innovative infrastrukturseitige Technolo-

gien geschaffen werden, in dem Maßnahmen sich gegenseitig im Rahmen von Synergieeffekten stärken bzw. voneinander profitieren. Zudem tragen die Maßnahmen einzeln und insbesondere in der Gesamtheit zur Realisierung des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie zur Unterstützung der Verkehrsteilnehmer und -manager bei. Letztlich unterstützt das Digitale Testfeld Autobahn so die Realisierung des Verkehrs der Zukunft.

7 Weitere Aktivitäten im Kontext Digitales Testfeld Autobahn

Das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) hat das BMVI im Jahr 2015 gemeinsam mit dem Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), der bitcom und dem Freistaat Bayern initiiert, um die Potenziale der digitalen Mobilität zu heben und damit die Ziele der Bundesregierung, wie Steigerung der Verkehrssicherheit und -effizienz, Reduktion von Emissionen, Stärkung des Standorts Deutschland zu unterstützen. Durch die Erfolgsgeschichte des DTA kamen in den folgenden Jahren weitere Testfelder hinzu.

Die Notwendigkeit zum Aufbau Digitaler Testfelder entsteht u. a. durch den Bedarf, neue infrastrukturseitige Innovationen gebündelt an einem Ort in der Praxis erproben zu können und dabei effiziente Unterstützung der Straßenbaulastträger zu erhalten. Neben Simulationen, virtuellen Tests und Tests auf Prüfgeländen sind Erprobungen im öffentlichen Verkehr unumgänglich. Beispielsweise sind die Perception von Umgebungsinformationen, die Routenplanung, die Mensch-Maschine-Interaktion sowie die Kommunikation mit dem Umfeld bzw. der vorhandenen Infrastruktur im Realverkehr zu testende Teilfunktionen, um die Mobilitätskonzepte von Morgen zu realisieren. Die Erkenntnisse aus dem realen Verkehr der Testfelder dienen wiederum dazu, die Simulationen und Prüfgeländetests zu optimieren und so im Idealfall zukünftig mit weniger teuren praktischen Erprobungen auszukommen, um den Anforderungen aus der Standardisierung und Homologation gerecht zu werden.

Nicht zuletzt werden durch die Erprobung im öffentlichen Raum der Bevölkerung die neuen digitalen Technologien und Mobilitätskonzepte nähergebracht und damit gleichzeitig fassbarer gemacht, was dazu beiträgt, Hemmnisse abzubauen und Akzeptanz zu steigern.

Mit der Einrichtung des Digitalen Testfelds Autobahn auf der BAB A9 zwischen Nürnberg und München im Jahr 2015, welches damit das erste offene öffentliche Testfeld für digitale Innovationen im Bereich des individualen Verkehrs in Deutschland war, ist ein Grundstein gelegt worden. Mit der Straßenkategorie „Autobahn“ ist eine geeignete Stufe gewählt worden, um infrastrukturseitige Innovationen sowie das automatisierte und vernetzte Fahren im Sinne einer zukünftigen Einführung sowie Umsetzung adäquat bewerten zu können, ohne direkt die technischen und wissenschaftlichen Herausforderungen aufgrund von komplexen Umgebungsbedingungen und Verkehrssituationen zu stark im Vordergrund zu haben. Auch schon bei der vermeintlich weniger komplexen Autobahn (z. B. durch baulich getrennte Richtungsfahrbahnen ohne Gegenverkehr und guter Fahrbahnmarkierung sowie wenig Bebauung) sind eine Vielzahl von Herausforderungen angegangen, erprobt und gelöst worden. Demgegenüber wurden aber auch neue Herausforderungen und technologische Grenzen aufgezeigt, die zu lösen sind. Zur Unterstützung des Weiteren Innovationswegs sind auf Basis der wertvollen Erfahrungen vom Digitalen Testfeld Autobahn eine Reihe weiterer Digitaler Testfelder entstanden, die über die Stufe „Autobahn“ hinausgehen.

Diese „neuen“ öffentlichen Testfelder in Deutschland werden auf Bundesebene von der Kommunikations- und Koordinierungsplattform Automatisiertes Fahren im BMVI (KOAF) begleitet (siehe Tabelle 8).

Sie unterscheiden sich hinsichtlich der:

- Straßenkategorie: strukturiert, weniger komplex (Autobahn); komplex (innerorts); sowohl komplex als auch weniger komplex (Autobahn + innerorts); Bundes- und Landesstraßen; Parkhäuser, Tunnel, Brücken
- Träger der Testfelder: öffentliche Träger, wissenschaftliche Einrichtungen
- Finanzierung und Aufbau: Bundesmittel, finanzielle Beteiligung von Unternehmen, finanzielle Beteiligung wissenschaftlicher Einrichtungen
- Vorhandene/geplante Ausstattung: z. B. Übertragungstechnologien, Straßenausstattung, Informationsbereitstellung
- Erprobungsschwerpunkte: z. B. automatisiertes und vernetztes Fahren von Pkw/Lkw, intermoda-

le Mobilitätskonzepte, Shuttles und On-demand-Dienste, intelligente Straßenausstattung

Ein Schwerpunkt der neu errichteten Digitalen Testfelder lag insbesondere im Bereich des städtischen Verkehrs, welcher sich gegenüber dem Verkehr auf der Autobahn durch komplexere Fahrsituationen auszeichnet. Zudem kann verstärkt die Interaktion mit VRU (Vulnerable Road Users), Lichtsignalanlagen (LSA) und Knotenpunkten getestet werden. Letztlich ergibt sich durch die unterschiedliche Charakteristik und Fokussierung der Testfelder in die o. g. Kategorien, ein idealer und geeigneter Erprobungsraum für die Entwicklung neuer digitaler Technologien und Mobilitätskonzepte in den jeweiligen Erprobungsschwerpunkten. Zur Unterstützung dieser Bestrebungen wurde zudem das Projekt Testfeldmonitoring im Jahr 2019 durch die BAST im Auftrag der KOAF gestartet (Umsetzung durch das DLR), welches Grundlagen für das Aufzeigen von Koordinierungs-, Abstimmungs- und Harmonisierungserfordernissen zwischen den Testfeldern aufzeigen soll.

Mit Tabelle 13 folgt eine Übersicht über öffentliche Testfelder in Deutschland, welche recherchiert werden konnten.

Mit dem zwischen Deutschland, Frankreich und Luxemburg eingerichteten Trilateralen Testfeld¹⁰¹ besteht zudem ein transnationales Testfeld, welches 2017 aus der „Deutsch-Französischen Initiative Elektromobilität und Digitalität“ hervorgegangen ist. Die Ziele des Testfelds sind insbesondere die Sicherstellung einer kontinuierlichen Kompatibilität automatischer Fahrfunktionen im grenzüberschreitenden Verkehr, die Verknüpfung automatisierter Fahrfunktionen mit dem vernetztem Fahren einschließlich der Verbindung zu Intelligenten Verkehrssystemen, die Untersuchung der Auswirkungen und Effekte des automatisierten und vernetzten Fahrens sowie die Lösung von Herausforderungen im Zusammenhang mit der Erzeugung, Verarbeitung, Speicherung, Weitergabe und Verwertung von Daten für das automatisierte und vernetzte Fahren.

Neben den nationalen und transnationalen Testfeldern sind Reallabore ein weiterer Baustein zur Er-

¹⁰¹ BMVI Präsentation „Digitales Testfeld Deutschland-Frankreich-Luxemburg“ 2018, https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/testfeld-deutschland-frankreich-luxemburg.pdf?__blob=publicationFile (Abruf 01/2021)

Nr.	Name des Testfeldes	Ort	Straßenkategorien
1	Digitales Testfeld Autobahn (DTA)	Testfeld auf der Bundesautobahn A9 zwischen München und Nürnberg	<ul style="list-style-type: none"> Autobahn
2	Digitales Testfeld Deutschland-Frankreich-Luxemburg (Trilaterales Testfeld)	Von Merzig (Saarland) über Saarbrücken (Saarland) nach Metz (Frankreich) in die Region Bettemburg (Süd-Luxemburg), von dort wieder nach Merzig. Merzig (A8) ↔ Saarbrücken (via A 620) – Saarbrücken ↔ Metz (via A 620, A 320 et A 4)- Metz ↔ Luxembourg (Via A31 et A3)- Luxembourg ↔ Merzig (via A3,A13 et A8	<ul style="list-style-type: none"> Alle Straßenkategorien (Bundesautobahn, Bundesstraßen, Landstraßen, Stadtverkehr etc.)
3	Testfeld Berlin Digitales Testfeld Stadtverkehr (SAFARI)	Berlin, Reinickendorf	<ul style="list-style-type: none"> Hauptverkehrsstraßen, Nebenstraßen, Bundesautobahnen (Anschlussstellen)
4	Testfeld Berlin Digital vernetzte Protokollstrecke (Dignet-PS)	Berlin, Charlottenburg und Mitte	<ul style="list-style-type: none"> Bundesstraße (Straße des 17. Juni) und angrenzende Nebenstraßen
5	Anwendungsplattform für intelligente Mobilität (AIM)	Stadt Braunschweig (Niedersachsen) und ausgewählte Bereiche des Umlandes	<ul style="list-style-type: none"> Stadtverkehr
6	Digitales Testfeld Dresden	Dresden	<ul style="list-style-type: none"> innerstädtisch; z. T. Bundesstraße außerorts
7	Digitales Testfeld Düsseldorf	Ballungsraum Düsseldorf	<ul style="list-style-type: none"> Autobahn Tunnel Bücke planfreie städtische Straßen plangleiche städtische Straßen Knotenpunkte mit und ohne LSA Parkhaus
8	Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren in Hamburg (TAVF)	Hamburg	<ul style="list-style-type: none"> Stadtstraßen im Hamburger Innenstadtbereich Brücken Knotenpunkte mit und ohne LSA
9	Testfeld Ingolstadt	Ingolstadt	<ul style="list-style-type: none"> Gemeindestraßen
10	Digitales Testfeld Kassel	Testfeld im Stadtverkehr Kassel	<ul style="list-style-type: none"> Stadtstraßen
11	ITS Testfeld Merzig (ITeM)	Merzig	<ul style="list-style-type: none"> Stadt- und Landstraßen
12	DRIVE-Testfeld Hessen (Dynamic Road Infrastructure Vehicle Environment)	Metropolregion Frankfurt Rhein-Main	<ul style="list-style-type: none"> Autobahn und Bundesstraße
13	Testfeld Niedersachsen (auf Grundlage von AIM)	Metropolregion Wolfsburg, Braunschweig, Hannover, Göttingen bzw. Hildesheim (in Niedersachsen)	<ul style="list-style-type: none"> Stadtverkehr Bundesstraßen und Landstraßen Autobahnen
14	Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW)	Städte Karlsruhe, Bruchsal, Heilbronn	<ul style="list-style-type: none"> Autobahn Bundesstraßen Landstraßen innerstädt. Straßen schienengebundener Verkehr Parkplätze, Parkhäuser, Tiefgaragen in Ausbau
15	Testfeld Friedrichshafen	Stadt Friedrichshafen	<ul style="list-style-type: none"> Bundesstraße Landstraße innerstädt. Straßen Parkhäuser
16	RealLabHH	Hamburg	<ul style="list-style-type: none"> Städtische Mobilität

Tab. 13: Übersicht von digitalen Testfeldern in Deutschland, Quelle: eigene Recherche

probung und Erforschung der digitalen Mobilität, wie z. B. das RealLabHH¹⁰² in Hamburg. In diesem Rahmen werden in mehreren Teilprojekten unterschiedliche Fragestellungen zur digitalen Mobilität untersucht. Dazu zählen beispielsweise die Vereinheitlichung unterschiedlicher Mobilitätsangebote in einer App, wie Fußgänger und Radfahrende vor Unfällen geschützt werden können, wie der Logistikverkehr durch Nutzung von Mikrodepots verringert werden kann sowie das automatisierte Fahren. Zur Erprobung des automatisierten Fahrens wird wiederum das in Hamburg errichtete Testfeld (Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren (TAVF)) genutzt, sodass ein Synergieeffekt zwischen dem Reallabor und dem Testfeld entsteht.

8 Gesamtergebnis und Ausblick

Das Digitale Testfeld Autobahn (DTA) hat sich als das Realtestfeld für digitale Innovationen im Bereich Autobahn etabliert. Seit der Einrichtung im Jahr 2015 ist eine große Anzahl innovativer Maßnahmen und Projekte auf dem DTA in den Bereichen Intelligente Infrastruktur sowie Automatisiertes und Vernetztes Fahren angestoßen und erfolgreich umgesetzt worden. Die topologischen Gegebenheiten und die zeitgemäße Grundausstattung des Autobahnabschnitts auf der A9 zwischen München und Nürnberg haben dazu die idealtypische Grundlage geboten.

Dem Bereich der Intelligenten Infrastruktur sind insgesamt zwölf Maßnahmen zuzuordnen, die sich thematisch sowie organisatorisch unterscheiden. Die Maßnahmen stellen eine Klammer dar, unter der jeweils mehrere Aktivitäten zu einem Thema subsummiert werden. Das Projekt „Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg“ hat diese zwölf Maßnahmen organisatorisch sowie wissenschaftlich begleitet.

In dem Zusammenhang sind insbesondere die Maßnahmen „V2I: Baustellenwarner“, „Telematische Falschfahrerwarnung“, „Innovatives Lkw-Park-

leitsystem“, „Internet-Parkplatz“ und „Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen“ vertieft betrachtet und teilweise durch wissenschaftlich fundierte Evaluierungsarbeiten bewertet worden. So konnte für den „V2I: Baustellenwarner“ ein positiver wirtschaftlicher Nutzen aufgezeigt werden, während für die Maßnahme „Telematische Falschfahrerwarnung“ auf Basis der Auswertung der Ergebnisse und des technologischen Fortschritts eine Weiterverfolgung nicht empfohlen werden konnte. Bei den durchgeführten Bewertungen der Maßnahmen „Innovatives Lkw-Parkleitsystem“ und „Internet-Parkplatz“, die stärker nutzerzentriert waren, (u. a. im Rahmen von Befragungen) hat sich ebenfalls ein unterschiedliches Bild ergeben. Das Lkw-Parkleitsystem wurde von den Lkw-Fahrern positiv bewertet, insbesondere bezüglich einer Lösung mit Schildern als wesentliche Informationsquelle und einer Smartphone-APP als Ergänzung. Hingegen haben die Untersuchungen zum „Internet-Parkplatz“ aufgezeigt, dass aufgrund der immer besseren Datenvolumenangebote der Mobilfunkbetreiber, das Interesse bei den Nutzern hinsichtlich eines WLAN-Angebots an Parkplätzen abnimmt. Gleichwohl war die Einrichtung von schnellen, öffentlich verfügbaren und kostenlosen Internetzugängen über WLAN an Parkplätzen mit Beginn des DTA ein Angebot, welches positiv von Nutzern aufgenommen und angenommen worden ist. Im Rahmen der Arbeiten zum Sicheren Ausleiten bei Standkontrollen konnten viele Informationen und Hinweise für die zukünftige Ausrüstung, Ausgestaltung und Umsetzung gewonnen werden, die nach Ende des Projektes Verwendung finden werden.

Auch in den anderen Maßnahmen konnten substantielle Ergebnisse und Erkenntnisse erarbeitet werden. So konnten z. B. im Rahmen der Maßnahme „Nachhaltige Notrufsäuleninfrastruktur“ die vielfältigen technologischen sowie organisatorischen Herausforderungen und Potenziale zur Verwendung der vorhandenen Infrastruktur aufgezeigt werden. Insbesondere hat sich herausgestellt, dass Anwendungen zwar mit viel technologischem Aufwand lokal realisiert werden konnten, aber eine weitere flächendeckende Umsetzung nicht sinnvoll ist. Die beiden Maßnahmen „Intelligente Brücke“ und „Intelligente Glättevorhersage“ haben wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Bauwerkserhaltung und der Glätteerkennung geliefert. Ein wissenschaftliches Projekt der Maßnahme „Intelligente Brücke“ wird auch noch nach dem Ende der wissenschaftlichen Begleitung des digitalen Testfelds fortgeführt. Auch

¹⁰² Quelle: BMVI, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/reallabor-digitale-mobilitaet-hamburg.html> (Abruf 01/2021)

die Arbeiten auf dem Themenfeld „Virtuelle Verkehrsbeeinflussung und strategisches Routing (C2VBA)“ werden auf Basis der erzielten Ergebnisse fortgeführt, indem sie für Folgeaktivitäten außerhalb von Autobahnen (Land und Stadt) verwendet werden, sodass die Technologie in der Breite zum Einsatz kommt. Die Ergebnisse von „iRoute2 – Erweiterung der Verkehrsdatenerfassung“ haben einen wesentlichen Fortschritt hinsichtlich der Erfassung von Verkehrsdaten geliefert, der als Basis für zukünftige Ausrüstungen von Autobahnen mit Verkehrserfassungssystemen herangezogen werden kann. Ebenfalls können die Ergebnisse der Maßnahme „Tank- und Rastanlage der Zukunft“ bei der Planung und dem Bau zukünftiger Rastanlagen herangezogen werden.

Die Maßnahmen haben somit für sich schon wertvolle Informationen und Ergebnisse hinsichtlich der zukünftigen Ausgestaltung der Infrastruktur mit digitalen und intelligenten Systemen geliefert. Darüber hinaus hat die Analyse der Zusammenhänge zwischen den Maßnahmen ergeben, dass durch eine Vielzahl von direkten und indirekten Beziehungen zwischen den Maßnahmen weitere Synergiepotenziale bestehen, die bei zukünftigen Umsetzungen gehoben werden können. Dies ist nicht nur auf den Bereich der Intelligenten Infrastruktur beschränkt, sondern auch übergreifend auf den Bereich Automatisiertes und Vernetztes Fahren zu verstehen.

Das DTA ist damit ein wertvoller Lieferant von Informationen und Ergebnissen hinsichtlich der zukünftigen Ausgestaltung der Infrastruktur mit digitalen und intelligenten Systemen. In Form einer Inkubatorfunktion sind durch das DTA neue und innovative Lösungen für die Infrastruktur entstanden, um so den Verkehr zukünftig effizienter und sicherer zu gestalten. Zudem hat das DTA durch seine Bekanntheit und Einzigartigkeit die Nutzer mitgenommen und damit einen besonderen Beitrag zur Akzeptanz der technologischen Weiterentwicklungen geleistet. Zugleich ist durch die besondere Präsenz des DTA ein Anreiz für neue digitale Innovationen im Bereich der intelligenten Infrastruktur geschaffen worden. Dies spiegelt sich in einer Reihe von neuen Ideen wider, die im Zusammenhang mit dem DTA entstanden und im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung im Hinblick auf eine potenzielle Umsetzung auf den DTA betrachtet bzw. bewertet worden sind.

Aufgrund des Erfolges und der Strahlkraft sollte das DTA weiterhin als Keimzelle für neuartige Entwick-

lungen erhalten bleiben. Insbesondere die aufgebaute, besondere Infrastruktur sollte dabei interessierten Dritten weiterhin zur Verfügung stehen. Zudem sollten die angestoßenen und erfolgversprechenden Projekte, die noch nicht abgeschlossen sind, fortgeführt werden, um schlussendlich auch deren Potenziale zu heben.

Erzielte Ergebnisse von abgeschlossenen Projekten im Bereich der Intelligenten Infrastruktur, die nun über das Forschungsstadium hinausgehen, sind so fortzuführen, dass sie bei nachgewiesenen positiven Effekten, in einen regulären Betrieb überführt werden können. Projekte, die ebenfalls ein Potenzial für positive Effekte aufgezeigt haben, aber noch weitere Untersuchungen erfordern, sollten als Aussatzpunkt für weitere Forschungsaktivitäten genutzt werden. Übergeordnet zeigen die Arbeiten auf dem DTA auch, dass eine Reihe von Abhängigkeiten bzw. Zusammenhänge zwischen den einzelnen Maßnahmen im Bereich der Intelligenten Infrastruktur bestehen, die wiederum ein Potenzial für eine insgesamt bessere Infrastruktur besitzen. Auch diese Punkte sollten aufgegriffen werden und in Folgemaßnahmen Berücksichtigung finden.

Dies gilt alles nicht nur für das DTA und somit für den Anwendungsfall Autobahn, sondern ist auch auf die Anwendungsräume Land und Stadt zu übertragen. Hier sollte ein Technologietransfer der Erkenntnisse von der Autobahn ausgehend erfolgen. Die nach der Errichtung des DTA entstandenen städtischen Testfelder bieten ebenfalls idealtypische Umgebungen und Möglichkeiten zur Erforschung und zum Testen innovativer Technologien.

Des Weiteren sollten die beiden auf dem DTA verfolgten Themengebiete Intelligente Infrastruktur sowie Automatisiertes und Vernetztes Fahren vermehrt gemeinsam betrachtet werden. Die Arbeiten auf dem DTA zeigen klar, dass die beiden Themengebiete eine große Anzahl an gemeinsamen Schnittstellen besitzen und zusammenwachsen. Eine verstärkte gemeinsame Betrachtung ermöglicht weitere innovative Ansätze.

Insgesamt gilt es, die innovativen Ansätze im Bereich der Intelligenten Infrastruktur weiter zu forcieren. Dabei sollte nicht zwingend auf ein Testfeld fokussiert und eine Trennung zum Automatisierten und Vernetzten Fahren vorgenommen werden. Vielmehr könnten offene Förderprogramme die Themen im Bereich der Intelligenten Infrastruktur breit adressieren und damit eine beschleunigte Wirkung

für Innovationen erzielen. Das Instrument bietet die Möglichkeit mit einem finanziellen Zuschuss, die angestoßenen Innovationen zeitnah fortzuführen und die eingerichteten Testfelder mit guten Projekten zu beleben, um damit die positiven Effekte des DTA fortzuführen.

Bilder

- Bild 1: Fahrzeugbestand (Daten vom 1. Januar des Folgejahres), Quelle: KBA
- Bild 2: Stautunden, Quelle: ADAC
- Bild 3: Getötete Straßenverkehr, Quelle: Statistisches Bundesamt
- Bild 4: Ausschnitt BAYSIS-Karte mit den Standorten der Niederlassungen Nord- und Südbayern der Autobahn GmbH, Quelle: BAYSIS
- Bild 5: Ziele Digitales Testfeld Autobahn, Quelle: TRC
- Bild 6: Teilbereiche DTA, Quelle: TRC
- Bild 7: Ausschnitt BAYSIS-Karte, Quelle: BAYSIS
- Bild 8: Punktwolke DTA, Quelle: 3D Mapping
- Bild 9: Positionsschilder, Quelle: Bundesanstalt für Straßenwesen
- Bild 10: Schilderabschnitt, Quelle: Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH
- Bild 11: Überblick der Maßnahmen im Teilbereich Intelligente Infrastruktur, Quelle: TRC
- Bild 12: Projektablauf iRoute2, Quelle: Universität der Bundeswehr München bzw. TUM
- Bild 13: ASM als Interpolationsmethode für lokale Detektion (links: Rohdaten; rechts: interpolierte Daten), Quelle: Universität der Bundeswehr München
- Bild 14: Stautypen aus fusionierten Geschwindigkeitsdaten vom 29.05.2019 in FR Nürnberg (in km/h)
- Bild 15: Identifizierte Stautypencluster vom 29.05.2019 in FR Nürnberg
- Bild 16: Zeitliche Stauverteilung aus lokaler Detektion in FR München
- Bild 17: Räumliche Stauverteilung aus lokaler Detektion in FR München
- Bild 18: Zeitlich-räumliche Stauverteilung aus lokaler Detektion in FR München
- Bild 19: Vorgehensweise bei der Kosten-Nutzen-Analyse, Quelle: TUM
- Bild 20: Vorgehensweise, Quelle: TUM
- Bild 21: Zeitabhängige Nutzen-Kosten-Verhältnisse des Baustellenwarners für die Szenarien kooperativ (oben), vernetzt (Mitte) und hybrid (unten), Quelle: TUM
- Bild 22: Skizze Falschfahrerwarnsysteme
- Bild 23: Unterschiedliche telematische Falschfahrererkennungssysteme
- Bild 24: Notrufsäule, Quelle: BAST
- Bild 25: Lkw-Parkleitsystem (PLS) im Jahr 2019, Quelle: ZVM
- Bild 26: Parkplatzinformation über BayernInfo, Quelle: ZVM
- Bild 27: Infotafel, Quelle: BAST
- Bild 28: LED-Tafel mit Anzeige der freien Lkw-Stellplätze in Echtzeit, Quelle: BAST
- Bild 29: Häufigkeitsverteilung angefahrener Rastanlagen
- Bild 30: Mittlere Anzahl angefahrener Rastanlagen FR Nürnberg
- Bild 31: Zustandsnoten nach Brückenflächen der Teilbauwerke in Prozent, Stand 01.03.2020
- Bild 32: Schema der intelligenten Brücke, Quelle: BAST
- Bild 33: Altes und neues Brückenbauwerk am Autobahnkreuz Nürnberg; Quelle: Aus Fachzeitschrift Brückenbau; Artikel „Ein Meilenstein in der Ära der digitalen Infrastruktur, Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ von ENDRES, B.; BUTZ, C. (2017)
- Bild 34: Instrumentiertes Lager; Quelle: Schlussbericht „Digitales Testfeld Autobahn – Intelligente Brücke – Datenerfassungsstrategien und Datenanalyse für intelligente Kalottengleitlager (BUTZ, C. (2021))
- Bild 35: Sensorknoten des Sensornetz; Quelle: Fachzeitschrift Brückenbau; Artikel „Ein Meilenstein in der Ära der digitalen Infrastruktur, Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“ von ENDRES, B.; BUTZ, C. (2017)

- Bild 36: Startseite der Webanwendung „Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn“, Quelle: Schlussbericht „Synchronisation von Sensorik und automatisierte Auswertung von Messdaten“
- Bild 37: Mobiler Straßenzustandssensor am Streufahrzeug der AM Greding, Quelle: BAST
- Bild 38: Streufahrzeug mit neuartigen Sensoren für die Fahrbahnzustandserkennung, Quelle: Forschung kompakt, Ausgabe 03/2020 BAST
- Bild 39: Beispiel für lokal stark unterschiedliche Messwerte. Das Beispiel zeigt die Wasserfilmdicke in μm auf einer Lkw Fahrt der SM Viechtach auf der St2139, Quelle: Bericht, Entwicklungen für eine streckenbezogene Glättevorhersage; KS-Consulting, meteoblue AG, mickS MSR GmbH/LUFFT MSR GmbH, 2018, BAST-Bericht V 329
- Bild 40: Vergleich Straßenzustand mit dem Marwis Sensor (blau) und einer parallelen Wasserfilmdickenauswertung (rot), Quelle: Bericht, Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren, Ingenieurbüro Hausmann, 2018, BAST-Bericht V 322
- Bild 41: Vergleich Wasserfilmdicke mit dem Marwis Sensor (blau) und einer durch Referenz-Messungen ermittelten Solllinie, Quelle: Bericht, Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren, Ingenieurbüro Hausmann, 2018, BAST-Bericht V 322
- Bild 42: Systemarchitektur Internetparken, Quelle: ABDN
- Bild 43: Dauer (links) und Häufigkeit (rechts) der Nutzung des freien WLAN an den PWC-Anlagen ($n = 17$)
- Bild 44: Anzahl der tatsächlichen Nutzer eines Tages über drei Jahre Analysiert – Anmeldestufe 4, summiert über alle ausgestatteten PWC-Anlagen
- Bild 45: Computermodell der Tank- und Rastanlage Fürholzen West; Quelle: Autobahn Tank & Rast Gruppe GmbH & Co. KG, Erfahrungsbericht zur „Raststätte der Zukunft“ Fürholzen West
- Bild 46: Definierter Bilanzrahmen für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH, 2015
- Bild 47: Übersicht über den Energiebedarf für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH
- Bild 48: links: Mögliche Startorte der Photovoltaikmodule für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH; rechts: Photovoltaikmodule auf dem Lärmschutzwall; Quelle: Autobahn Tank & Rast Gruppe GmbH & Co. KG, Erfahrungsbericht zur „Raststätte der Zukunft“ Fürholzen West
- Bild 49: Wasserstoff-Innovationskreislauf für die Tank- und Rastanlage der Zukunft; Quelle: Kapitel 10 – Machbarkeitskonzept für die Realisierung des Energie-Plus-Standards, A9 Tank- und Rastanlage Fürholzen West, Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH
- Bild 50: E-Ladesäulen auf der Tank- und Rastanlage Fürholzen West; Quelle: Autobahn Tank & Rast Gruppe GmbH & Co. KG, Erfahrungsbericht zur „Raststätte der Zukunft“ Fürholzen West
- Bild 51: Reißverschlussverfahren bei freiem Verkehr und stockendem Verkehr, Quelle: Projektschlussbericht „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“, HEINRICH, T.; MAIER, F. W.; PAPAGEORGIOU, M.; PAPAMICHAIL, I.; SCHÖBER, C.; STAMATAKIS, I.; TRANSVER GmbH Verkehrsforschung und Beratung München,

BASSt-Bericht V 302, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/front door/deliver/index/docId/1889/file/V302_barrierefreies_ELBA_PDF.pdf

- Bild 52: Grundkonzept der Verkehrssteuerung stromaufwärts einer Arbeitsstelle; Quelle: Projektschlussbericht „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“, HEINRICH, T.; MAIER, F. W.; PAPAGEORGIOU, M.; PAPAMICHAIL, I.; SCHOBER, C.; STAMATAKIS, I.; TRANSVER GmbH Verkehrsforschung und Beratung München, BASSt-Bericht V 302, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/front door/deliver/index/docId/1889/file/V302_barrierefreies_ELBA_PDF.pdf
- Bild 53: Vorgehen intelligentes Reißverschlussverfahren bei flüssigem Verkehr und dichtem Verkehr, Quelle: Projektschlussbericht „Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB“, HEINRICH, T.; MAIER, F. W.; PAPAGEORGIOU, M.; PAPAMICHAIL, I.; SCHOBER, C.; STAMATAKIS, I.; TRANSVER GmbH Verkehrsforschung und Beratung München, BASSt-Bericht V 302, https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/front door/deliver/index/docId/1889/file/V302_barrierefreies_ELBA_PDF.pdf
- Bild 54: Herkömmliches Ausleitverfahren des BAG, Quelle: Bundesamt für Güterverkehr (BAG)
- Bild 55: Übersichtskarte zu Pilotstandorten, Quelle: Bundesamt für Güterverkehr (BAG)
- Bild 56: Übersichtsplan des Aufbaus zum sicheren Ausleiten bei BAG Standkontrollen, Quelle: Bundesamt für Güterverkehr (BAG)
- Bild 57: Beispiele angezeigter Inhalte der Ausleit- tafel während einer Pulk-Ausleitung (links) und einer Individual-Ausleitung (rechts)
- Bild 58: Beschilderungsvarianten A und B. Alle Textbausteine sind animiert und werden abwechselnd auf Deutsch und Englisch angezeigt. Zusätzlich dazu enthält Be- schilderungsvariante B animierte Pkw und Lkw, die die Ausfahrtrichtung der Lkw auf den nächstgelegenen Parkplatz verdeutli- chen.
- Bild 59: Die in dem Arbeitspaket erarbeitete erste Ausleit- tafel (links) wird durch die Verwen- dung einer zweiten Ausleit- tafel (rechts) unterstützt. Alle Textbausteine sind ani- miert und werden abwechselnd auf Deutsch und Englisch angezeigt. Zusätz- lich dazu enthält die erste Ausleit- tafel ani- mierte Pkw und Lkw, die die Ausfahrtrich- tung der Lkw auf den nächstgelegenen Parkplatz verdeutlichen.
- Bild 60: Wechselwegweiser beim Eindrehen eines Ziels, Quelle: ZVM
- Bild 61: Systemarchitektur Strategisches Routing/ Virtuelle VBA, Quelle: ZVM
- Bild 62: Bild von TLS-Inhalten in DATEX II, Quelle: ZVM
- Bild 63: Anlagenumfang der Maßnahme anhand von Ausschnitten der Nutzeroberfläche, Quelle: ZVM; Kartengrundlage: BayernAtlas der LDBV
- Bild 64: MDM-Publikationen, Quelle: <https://www.mdm-portal.de/>
- Bild 65: Systemarchitektur der Stufe 1 in den Pro- jekten C2SBA und C2NBA, Quelle: ZVM
- Bild 66: Systemarchitektur der Stufe 2 in den Pro- jekten C2SBA und C2NBA, Quelle: ZVM
- Bild 67: Skizzierte Funktionsweise Bosch Falsch- fahrerwarnsystem

Tabellen

- Tab. 1: Auswahl von Projekten aus dem Teilbereich „Automatisiertes und vernetzten Fahrens“ auf dem DTA
- Tab. 2: Ausstattungsempfehlung für Verkehrssteuerung pro betrachteter Strecke und vorhandener Ausstattung
- Tab. 3: Durchdringungsraten von Fahrzeugen mit Empfang von FAT-Warnungen, Quelle: TUM
- Tab. 4: Untersuchungsphasen der Feldtests zum innovativen Lkw-Parkleitsystem
- Tab. 5: Übersicht über die Forschungsprojekte der Maßnahme Intelligente Brücke
- Tab. 6: Übersicht über die Teststrecken im Forschungsprojekt Streckenbezogene Glättevorhersage, Quelle: Schlussbericht, Streckenbezogene Glättevorhersage FE 04.0279; KS-Consulting, meteoblue AG, micKS MSR GmbH/LUFFT MSR GmbH; 2018
- Tab. 7: Beispiele von direkten Beziehungen/Synergien der Maßnahmen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn
- Tab. 8: Indirekte Beziehungen der infrastrukturseitigen Maßnahmen auf dem Digitalen Testfeld Autobahn A9 untereinander
- Tab. 9: Daten
- Tab. 10: Auswirkungen
- Tab. 11: Technologie
- Tab. 12: Organisation
- Tab. 13: Übersicht von digitalen Testfeldern in Deutschland, Quelle: eigene Recherche

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2020

- V 321: **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**
Diegmann, Wursthorn, 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/> 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/> 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/> 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/> 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/> 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/> 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/> 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/> 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/> 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, Löbbering, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 348: **Einsatz und Verkehrssicherheit von Fußgängerüberwegen**
Bohle, Busek, Schröder € 18,50
- V 349: **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**
Schreck-von Below € 22,00
- V 350: **Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Bartolomaeus, Strigari, Sammet
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 351: **Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung – TAUSALA II**
Holldorb, Cypra, Pape
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2022

V 352: **Abriebe von Fahrhahnoberflähen**
Düring, Schmidt, Johannsen € 19,00

V 353: **Nutzung der C2X-basierten ÖV-Priorisierung an signalisierten Knotenpunkten**
Gay, Grimm, Otto, Partzsch, Gersdorf, Gierisch, Löwe, Schütze € 16,00

V 354: **Anwendung der Methode BIM in Konformität mit den Regelwerken der FGSV und des IT-Ko**
Radenberg, Müller, König, Hagedorn, Geistefeldt, Hohmann, Heinrichs, Stiehler, Kortemeyer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 355: **Pilotversuch des Rechtsabbiegens von Rad Fahrenden bei Rot**
Niestegge, Schüller, Hantschel, Schröter, Gerike
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 356: **Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgänger-schutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen**
Medicus, Schmotz, Gerike, Reinartz, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 357: **Qualifizierung der in Deutschland verwendeten Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit verbessertem Schutz für Motorradfahrer nach den aktuellen europäischen Spezifikationen**
Klöckner, Gärtner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 358: **Nutzenpotenziale von eCall im Verkehrsmanagement**
Schaarschmidt, van Driel, Reinthaler, Nitsche, Aleksa
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 359: **Management von Neophyten – Ein Überblick über die aktuelle Situation auf Straßenbegleitflächen**
Bartels
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 360: **Wirksamkeit von Tunnelwänden als Träger photokatalytischer Oberflächen – Hauptstudie**
Stephan, Ehm, Kamaruddin
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 361: **Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur**
Hess, Lohmeier, Mielecke, Kunz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 362: **Simulation des hochautomatisierten Fahrens auf Autobahnen mit kollektiver Streckenbeeinflussung**
Hilgers, Krabbe, Haug, Grimm, Kutter, Tempelhahn, Schwietering, Füg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 363: **PERTA – Passive Sicherheit in der Straßenausstattung**
Tomasch, Radeschnig, Dünser, Sinz, Gstrein
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 364: **Verkehrsträgerübergreifender Austausch von Erneuerbarer Energie**
Chvanova, Haller, Leprich, U. Mayr, C. Mayr, Oßwald, Altmock, Gemmer, Michaels, Wagner € 23,50

V 365: **Bundesweite Verkehrsdaten 2019**
Schneider, Pelzer, Gallus, Dick, Lensing
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2023

V 366: **Akzeptanz und Verkehrssicherheit des Radverkehrs im Mischverkehr auf Hauptverkehrsstraßen**
Schüller, Niestegge, Hantschel, Kühn, Gerike, Huber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 367: **In Situ-Messungen von Reflexionseigenschaften von Fahrhahnoberflähen**
Schulze
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 368: **Methoden zur Bewertung der Verbindungsqualität in Straßennetzen**
Friedrich, Bawidamann, Peter, Waßmuth € 20,00

V 369: **Verkehrsablauf an signalisierten Knotenpunkten mit hohem Radverkehrsaufkommen**
Fritz, Grigoropoulos, Katha, Baier, Reinartz, Schuckließ, Jung-hans, Lücken, Leonhardt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 370: **Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg**
Vierkötter, Mischnick, Spangler, Gerstenberger, Windmann, Nedkov, Emmermann, Haspel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <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.