

Autonome Systeme für Straßenbetriebsdienste (AETAS BAB)

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 372

bast

Autonome Systeme für Straßenbetriebsdienste (AETAS BAB)

von

Christian Lüpkes
Daniel Kleer

AlbrechtConsult GmbH
Aachen

Christian Holldorb

Steinbeis-Transferzentrum
Infrastrukturmanagement im Verkehrswesen (IMV)
Karlsruhe

Frank Zielke

KoDeCs GmbH
Detmold

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 372

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 03.0596
Potenzialanalyse zum Einsatz automatischer/autonomer Technologien (Maschinen u. Fahrzeuge) im Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen

Fachbetreuung

Horst Badelt
Christopher Schirrmeister

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 978-3-95606-739-6

Bergisch Gladbach, August 2023

Kurzfassung – Abstract

Autonome Systeme für Straßenbetriebsdienste (AETAS BAB)

Ziel des Projekts ist die Identifikation von Use Cases für den Einsatz automatisierter, vernetzter Maschinen und Fahrzeuge im Straßenbetriebsdienst auf Bundesautobahnen und ihrer jeweiligen Einsatzbedingungen. Für diese Use Cases wurden Einsatzpotenziale aufgezeigt, dabei sollen sie sich am technisch Machbaren orientieren.

Mit dem Ergebnis der Untersuchungen soll die Industrie in die Lage versetzt werden, die Entwicklung automatisierter, vernetzter Maschinen und Fahrzeuge für den Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen fortzusetzen, sodass diese anforderungsgerecht für die Straßenbaulastträger auf dem Markt verfügbar sind. Die Ergebnisse sollen veröffentlicht werden und damit wettbewerbsfrei zur Verfügung stehen.

Besonders die drei im Projekt näher untersuchten Use Cases eignen sich besonders für weitere Forschungsprojekte, um eine möglichst zeitnahe Umsetzung von sicherheits- und effizienzsteigernden Automatisierungslösungen im Straßenbetriebsdienst zu unterstützen.

Darüber hinaus sollte, vorbereitend für den zukünftigen Einsatz autonomer Fahrzeuge im Straßenbetriebsdienst, die Rolle der Technischen Aufsicht untersucht und es sollten Erfahrungswerte in einem Pilotprojekt gesammelt werden. In diesem Kontext ist auch die Entwicklung eines autonomen Basisfahrzeugs zielführend, da dieses mit verschiedenen Aufbauten versehen und so für unterschiedliche Einsatzbereiche verwendet werden kann. Dies erhöht das Marktpotenzial für die Industrie und senkt die Kosten für den Anwender.

Zukünftig spielt die Cybersecurity vor allem im Rahmen von Automatisierungslösungen eine immer größere Rolle. Daher sollten die im Projekt gewonnen Erkenntnisse, insbesondere mit Blick auf die ausgewählten Use Cases, vertieft und ausgebaut werden.

Autonomous systems for road maintenance services (AETAS BAB)

The project aims to identify use cases for the operation of automated, connected machines and vehicles in road maintenance on federal motorways and their specific operating conditions. These use cases should have a proven application potential and should also be oriented towards what is technically feasible. The results of the investigations should help the industry to continue the development of automated and connected machines and vehicles for road maintenance on motorways so that they become commercially available according to the requirements of the road authorities. The results are to be published and thus made available in a non-competitive way.

The three use cases selected within the project are of particular relevance for future research projects to support the implementation of safety- and efficiency-enhancing automation solutions in road maintenance services as soon as possible.

In preparation for the future use of autonomous vehicles in road maintenance, the role of the technical supervisor should be investigated and experiences should be gathered for instance in a pilot project. The development of an autonomous basic vehicle is also promising in this context, as it can be equipped with various components and thus be used for different areas of application. This increases the market potential for the industry and reduces the costs for the user.

In the future, cybersecurity will be a topic of growing importance, especially in the context of automation solutions. Therefore, the knowledge gained in the project should be deepened and expanded, especially concerning the selected use cases.

Summary

Autonomous systems for road maintenance services (AETAS BAB)

1 Problem definition

The project aims to identify use cases for the deployment of automated and connected machines and vehicles in road maintenance on federal motorways and their specific operating conditions. The usage potentials for these use cases are to be identified, while also considering what is technically feasible. The results of the research will help the industry to continue the development of automated, connected machines and vehicles for road maintenance on motorways so that they become commercially available according to the requirements of the road authorities. The results are to be published and thus made available in a non-competitive way.

1.1 Research method and results

The research project comprised eight work packages, which mainly succeeded each other (cf. Figure 1).

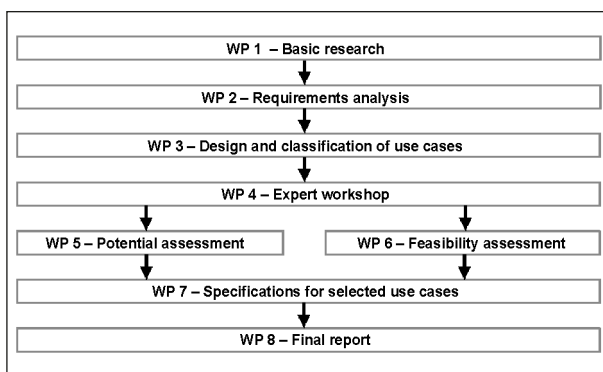


Fig. 1: Proceeding steps FE 03.596/2020/LRB

2 WP 1 – Basic investigation

At the beginning of the project, an initial investigation was carried out. Thereby, current publicly funded projects were identified and analysed concerning relevant approaches for the development of autonomous solutions in road maintenance. In particular, the technology used in these projects often proved useful for the future development of road maintenance services.

Furthermore, a wide range of already available technologies and concepts for autonomous/automated vehicles and equipment were identified through a market analysis. Some of these systems are already available on the market and could be acquired and used in the specific operational areas of the road maintenance service.

An analysis of the current regulations on automated/autonomous driving has shown that the Autonomous Driving Ordinance has completed the legal framework for autonomous driving and that Level-4 vehicles can now be approved nationwide. From a legal point of view, the approval and use of autonomous vehicles in the road maintenance service is now possible. However, according to the new regulation, autonomous vehicles require a „technical supervisor“ who must be able to activate driving manoeuvres or deactivate the vehicle at any time. Currently, there is no practical experience in this aspect and further research is needed. The high demands on staff for technical supervision is another significant obstacle.

In the context of the safety assessment of vehicles and machines, the different safety standards were collected as well as adapted evaluation methods for the risk assessment. In the future, mandatory cyber security regulations will be a challenge with which all affected industry segments have little experience.

2.1 WP 2 – Requirements analysis

The basic investigation was followed by the requirements analysis. As part of this analysis, the areas of activity of the road maintenance service with increased hazardous and/or automation potential were identified and a workshop with users was conducted. The main focus here was on the

operational level, e.g. the head of the maintenance department.

As the experiences of the workshop participants showed, there are different user perspectives on the utilisation of automated/autonomous systems. The employees of the maintenance departments expressed their wishes regarding the technology used as well as aspects which, from their point of view, should be particularly addressed by the industry. The main focus was on:

- Increasing occupational safety in road maintenance services;
- Robust, resilient and easy-to-maintain systems;
- Standardised, intuitive handling as far as possible, easy to learn, even with a heterogeneous user group;
- Reduction of physical and mental stress on employees;
- Versatile technologies, partly already available on the market, should be adapted to the requirements of the road maintenance service.

Insights gained in the user workshop were allocated to the different service areas of the road maintenance service (e.g. care/maintenance, green care, winter service, inspections).

2.2 WP 3 – Design and classification of use cases

Building on the results of the basic investigation and requirements analysis, the design and classification of use cases followed. A total of ten use cases were defined within the various service areas (see Figure 2), which increase efficiency and/or safety by automation. The classification considered the following aspects, among others:

- Rate of occurrence
- Benefit potential
- Coarse assessment of the risk potential (functional safety)
- Coarse assessment of cybersecurity
- Actions leading up to series maturity

2.3 WP 4 – Expert workshop

The use cases defined in WP 3 were discussed in detail within an expert workshop. The participants included stakeholders from public authorities, road maintenance departments, private service providers and industry, as well as representatives of the contracting authority. Participants numbered 26 in total.

In advance, the project team evaluated the use cases in terms of implementation time and effort. At the expert workshop, the use cases were intensively discussed and evaluated in working groups, both from the user's and the industry's point of view. It was possible to validate the aforementioned assessment in the group discussions. The content of the use cases was refined and supplemented by the participants' comments.

At the end of the workshop, an interactive survey was conducted with all participants to rate the use cases according to the following five criteria:

- Technical feasibility,
- Enhancement of the safety of the employees,
- Enhancement of the efficiency of the road maintenance service,
- Risk potential (cyber and functional security),
- General summary: which use case should be pursued.

Based on the results of this survey, and in cooperation with the supervisory board, three use cases were defined for further consideration. Figure 2 shows both the project team's preliminary assessment of the implementation timeframe and effort together with the selected use cases.

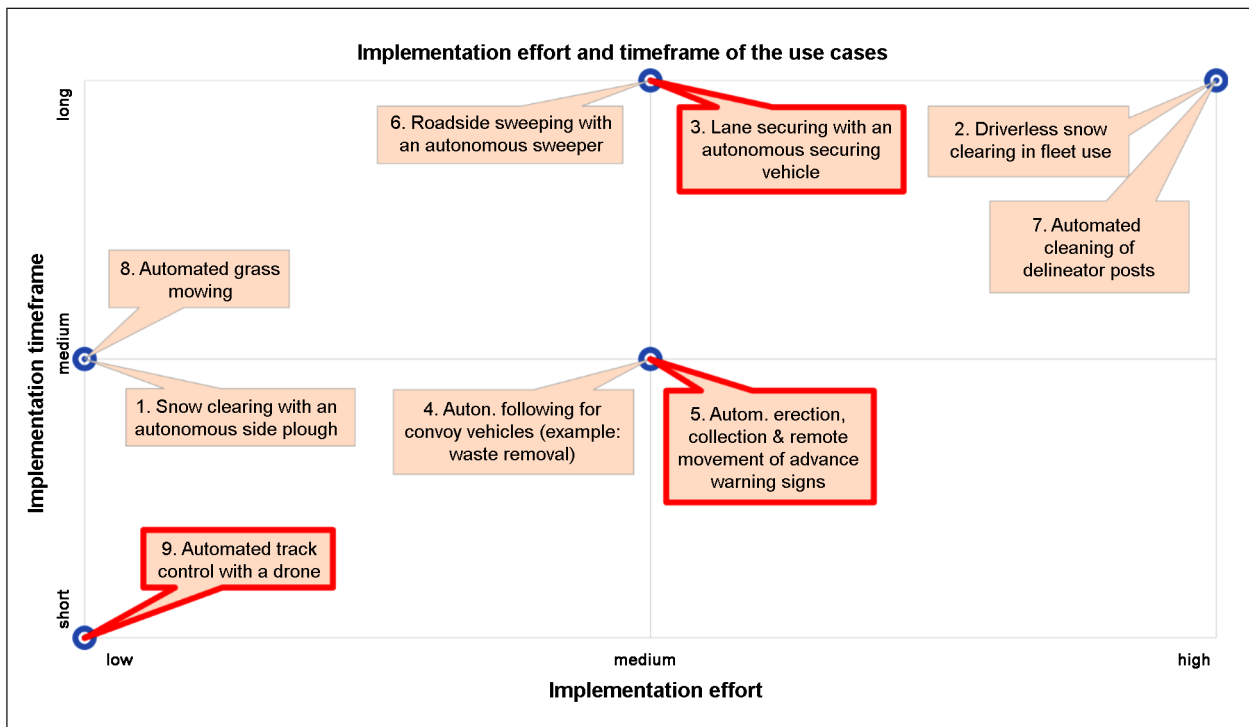


Fig. 2: Implementation effort and timeframe of the use cases

2.4 WP 5 – Potential assessment

The following areas were identified and evaluated for each use case to gauge the current potential of the selected use cases for the road maintenance service:

- Improve occupational safety for operational service personnel,
- The reduction of mental stress on employees,
- Efficiency gain.

In addition, the market and innovation potentials were assessed. Automation technologies were found to be primarily driven by developments for the mass market. New developments for a very specific market, such as road maintenance, usually do not offer sufficient market potential from the manufacturers' point of view. Future research projects in this field may facilitate the transfer of developments from the mass market to the road maintenance service.

2.5 WP 6 – Feasibility assessment

In addition to the potential assessment as mentioned in chapter 2.4, the selected use cases were also evaluated in terms of feasibility. To allow a comparative assessment, the functionality was divided into two generic tasks (movement and work) with different degrees of automation.

After the basic functional structure and the general technical architecture had been described, the risk potential in terms of functional security and cybersecurity were assessed. The approach was based on the HARA (Hazard Analysis and Risk Assessment) methodology for functional security and the TARA (Threat Analysis and Risk Assessment) for cybersecurity. The analyses enabled a first rough estimate and comparison that can serve as a basis for subsequent development projects.

In addition to the evaluation of the risk potential, the following aspects were also reviewed:

- The complexity (and resulting development effort),
- Availability of the required technologies,
- Regulatory conditions for approval.

2.6 WP 7 – Specifications for selected use cases

For the specification sheets of the three use cases selected in WP 4, the results from the potential assessment (WP 5) and the feasibility assessment (WP 6) were summarised as requirements. For this purpose, in the first step, the stakeholders and users were identified and requirements were defined. Since regulations and standards also result in requirements for the system, these were also included at the stakeholder level. The requirements elicitation followed the common approach used in the automotive industry.

These specifications do not constitute a complete description of a deliverable for automated driving, flying or device functions, but rather should provide suggestions for developers.

3 Consequences for practical application

The research project has shown that the use of automated vehicle and machine technologies in road maintenance services can increase the safety of employees and improve efficiency in the medium and long term.

The three use cases selected within the project are of particular relevance for future research projects to support the implementation of safety- and efficiency-enhancing automation solutions in road maintenance services as soon as possible. The development of an autonomous basic vehicle is also promising in this context, as it can be equipped with various components and thus be used for different areas of application. This increases the market potential for the industry and reduces the costs for the user.

In the future, cybersecurity will be a topic of growing importance, especially in the context of automation solutions. Therefore, the knowledge gained in the project should be deepened and expanded, especially concerning the selected use cases.

Inhalt

Abkürzungen	12	2.5.2 Übersicht der Normen für Funktionale Sicherheit	30
1 Einführung	15	2.5.3 Übersicht Vorschriften und Normen für Cybersecurity	31
1.1 Gesamtziel	15	2.5.4 Betrachtungsgrenzen Funktionale Sicherheit und Cybersecurity	32
1.2 Vorgehensweise und Überblick	15	2.5.5 Betrachtete Vorschriften und Normen für AETAS BAB	33
2 Grundlagenrecherche	16	2.5.6 Informationsaustausch zu Cybersecurity innerhalb der Industrie	33
2.1 Analyse laufender öffentlich geförderter Projekte	16	3 Anforderungsanalyse	33
2.1.1 Bewertung der Projekte im Bereich Use Case	17	3.1 Überblick	33
2.1.2 Bewertung der Projekte Bereich Technik	17	3.2 Vorbereitungen für den Anwenderworkshop	34
2.1.3 Bewertung der Projekte Bereich Sonstiges	18	3.3 Durchführung und Dokumentation des Anwenderworkshops	34
2.2 Analyse potenziell verfügbarer Technologien und Konzepte für autonome/automatisierte Fahrzeuge und Geräte im Straßenbetriebsdienst	18	4 Use Case Erstellung und Klassifikation	37
2.3 Technische, rechtliche Anforderungen	21	4.1 Überblick	37
2.3.1 Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA)	21	4.2 Schneeräumen mit einem autonom agierenden Seitenpflug	38
2.3.2 Technische Regeln für Arbeitsstätten: Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen (ASR 5.2)	24	4.3 Fahrerloses Schneeräumen im Flotteneinsatz	39
2.3.3 Weitere Regelungen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz	26	4.4 Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug	40
2.3.4 Regelungen zum automatisierten/ autonomen Fahren	26	4.5 Autonomes Folgen für Kolonnenfahrzeuge (Beispiel Müllsammlung)	42
2.3.5 Regelungen zum Einsatz von Drohnen	27	4.6 Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und ferngesteuert bewegen	43
2.4 Marktpotenziale im Straßenbetriebsdienst	28	4.7 Seitenstreifen kehren mit einer autonomen Kehrrmaschine	45
2.5 Anforderungen an die sicherheitstechnische Bewertung	29	4.8 Automatisierte Leitpfostenreinigung	46
2.5.1 Begriffsdefinition Sicherheit und Security	29	4.9 Automatisierte Grasmahd	48
		4.10 Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne	49

5	Expertenworkshop	50	7.2.4	Gerätesteuerung	65
5.1	Überblick	50	7.2.5	Vereinfachte technische Architektur . .	65
5.2	Vorbereitung und Durchführung des Expertenworkshops	50	7.2.6	Risikopotenzial bzgl. funktionaler Sicherheit	66
5.3	Ergebnisse des Expertenworkshops . . .	52	7.2.7	Zusammenfassung Risikopotenzial funktionale Sicherheit	66
5.4	Auswahl der drei Use Cases	57	7.2.8	Risikopotenzial bzgl. Cybersecurity . . .	67
6	Potenzialabschätzung für drei ausgewählte Use Cases	58	7.2.9	Zusammenfassung Risikopotenzial Cybersecurity	67
6.1	UC3: Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug . . .	58	7.2.10	Use Case 3: Zusammenfassende Bewertung	68
6.1.1	Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal	58	7.3	Use Case 5: Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und bewegen	69
6.1.2	Reduktion der psychischen Belastungen der Mitarbeiter	59	7.3.1	Vereinfachte funktionale Architektur . .	69
6.1.3	Effizienzgewinn	59	7.3.2	Missionskontrolle	69
6.2	UC5: Vorwarntafeln automatisiert auf- stellen, einsammeln und bewegen . . .	60	7.3.3	Steuerung des fahrenden Arbeitsgerätes	70
6.2.1	Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal	60	7.3.4	Gerätesteuerung	70
6.2.2	Reduktion der psychischen Belastungen der Mitarbeiter	60	7.3.5	Vereinfachte technische Architektur . .	70
6.2.3	Effizienzgewinn	61	7.3.6	Risikopotenzial bzgl. funktionaler Sicherheit	71
6.3	UC9: Automatisierte Streckenkontrol- le mit einer Drohne	61	7.3.7	Zusammenfassung Risikopotenzial funktionale Sicherheit	71
6.3.1	Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal und der Verkehrssicherheit	61	7.3.8	Risikopotenzial bzgl. Cybersecurity . .	71
6.3.2	Reduktion der psychischen Belastungen der Mitarbeiter	62	7.3.9	Zusammenfassung Risikopotenzial Cybersecurity	72
6.3.3	Effizienzgewinn	62	7.3.10	Use Case 5: Zusammenfassende Bewertung	72
6.4	Markt- und Innovationspotenzial	62	7.4	Use Case 9: Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne . . .	73
7	Bewertung der Realisierbarkeit	64	7.4.1	Vereinfachte funktionale Architektur . .	73
7.1	Ansatz für die Bewertung der Realisierbarkeit	64	7.4.2	Missionskontrolle	73
7.2	Use Case 3: Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug	64	7.4.3	Flugzeugsteuerung	74
7.2.1	Vereinfachte funktionale Architektur . . .	64	7.4.4	Kamerasteuerung	74
7.2.2	Missionskontrolle	64	7.4.5	Vereinfachte technische Architektur . .	74
7.2.3	Fahrzeugsteuerung	65	7.4.6	Risikopotenzial bzgl. funktionaler Sicherheit	75
			7.4.7	Zusammenfassung Risikopotenzial funktionale Sicherheit	75
			7.4.8	Risikopotenzial bzgl. Cybersecurity . .	75

7.4.9	Zusammenfassung Risikopotenzial Cybersecurity	75
7.4.10	Use Case 9: Zusammenfassende Bewertung	76
7.5	Bewertung des rechtlichen Rahmens der Use Cases	76
7.5.1	Bewertung Use Case 3	76
7.5.2	Bewertung Use Case 5	77
7.5.3	Bewertung Use Case 9	77
8	Lastenhefte für ausgewählte Use Cases	78
9	Nächste Schritte zur Umsetzung ...	79
	Literatur	80
	Bilder	81
	Tabellen	82

Die Anhänge 1 – 13 zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

Abkürzungen

(BSI-)KritISV	Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz	DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
aFAS	automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen	E/E	elektrisch/elektronisch
AgPL	Agricultural Performance Level	ECE	Economic Commission for Europe
AGS	Arbeitsgerätesteuerung	FAS	Fahrerassistenzsystem
AkD	Arbeitsstellen kürzerer Dauer	FE	Forschung und Entwicklung
ALKS	Automated Lane Keeping System	FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
AM	Autobahnmeisterei	FSG	Flug-Steuer-Gerät
ASIL	Automotive Safety Integrity Level	GNSS	Global Navigation Satellite System
ASR 5.2	Technische Regeln für Arbeitsstätten: Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen	GSG	Getriebesteuergerät
ASRG	Automotive Security Research Group	HARA	Hazard Analysis and Risk Assessment
AUTO-ISAC	Automotive Information Sharing and Analysis Center	IEC	International Electrotechnical Commission
BAB	Bundesautobahn	ISO	International Organization for Standardization
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
BBW	Brake-By-Wire	KI	Künstliche Intelligenz
BLM	Batterielademanagement	KS	Kamerasteuerung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales	LB	Leistungsbereich
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	LSA	Lichtsignalanlage
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr	LSG	Lichtsteuergerät
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz	M2M	Mensch-zu-Maschine
CAN	Controller Area Network	MA	Mitarbeiter/Mitarbeiterin
CSMS	Cyber Security Management System	MKE	Mission-Kontroll-Einheit
		MSG	Motorsteuergerät
		MzGt	Mehrzweckgeräteträger
		OBD	On-Board-Diagnose
		OEM	Original Equipment Manufacturer; Erstausrüster
		ÖPP	Öffentlich-Private Partnerschaft
		RDKS	Reifendruckkontrollsystem

RSA	Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen
SAE	Society of Automotive Engineers
SBW	Steer-By-Wire
SIL	Safety Integrity Level
StVG	Straßenverkehrsgesetze
StVO	Straßenverkehrsordnung
TA	Technische Aufsicht
TARA	Threat Analysis and Risk Assessment
TSE	transportable Schutzeinrichtung
UAS	Unmanned Aircraft System
UC	Use Case
UN	United Nations
UÜS	Umfeldüberwachungssystem
UVV	Unfallverhütungsvorschriften
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
VzKat	Verkehrszeichenkatalog
ZFS	Zentrale-Fahr-Steuerung

1 Einführung

1.1 Gesamtziel

Im Rahmen des Förderprojekts aFAS (automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen) wurde die grundsätzliche Machbarkeit eines fahrerlosen Betriebs mobiler Absperranlagen auf Autobahnen demonstriert. Hierdurch können Personenschäden für das Betriebsdienstpersonal wirksam vermieden werden.

Für die Industrie ist derzeit jedoch offen, welche Use Cases und welche Einsatzbedingungen bei der Absicherung von Arbeitsstellen, aber auch im Straßenbetriebsdienst generell für die weitere Entwicklung maßgebend sind. Aufgrund des weitgehend geschlossenen Anwenderkreises der Autobahnmeistereien und von ihr beauftragter Nachunternehmer ist eine situationsbezogene Potenzialanalyse von Anwenderseite notwendig, die nur durch die Straßenbauverwaltung erfolgen kann. Nur so kann eine anwendungsorientierte Entwicklung durch die Industrie erfolgen, sodass automatisierte, vernetzte Maschinen und Fahrzeuge im Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen verfügbar sind, mit denen die Unfallgefährdung für das Betriebsdienstpersonal signifikant reduziert werden kann und gleichzeitig ein Marktpotenzial für die Industrie erkennbar wird.

Ziel des Projekts ist die Identifikation von Use Cases für den Einsatz automatisierter, vernetzter Maschinen und Fahrzeuge im Straßenbetriebsdienst auf Bundesautobahnen und ihrer jeweiligen Einsatzbedingungen. Für diese Use Cases sollen die Einsatzpotenziale aufgezeigt werden, dabei sollen sie sich auch am technisch Machbaren orientieren. Mit dem Ergebnis der Untersuchungen soll die Industrie in die Lage versetzt werden, die Entwicklung automatisierter, vernetzter Maschinen und Fahrzeuge für den Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen fortzusetzen, sodass diese anforderungsgerecht für die Straßenbaulastträger auf dem Markt verfügbar sind. Die Ergebnisse sollen veröffentlicht werden und damit wettbewerbsfrei zur Verfügung stehen.

Aufgrund der spezifischen Anforderungen und der nicht klar definierten Use Cases ist eine Eigenentwicklung durch die Industrie bis zur Serienreife derzeit nicht zu erwarten. Daher würde die Verfügbarkeit automatisierter, vernetzter Maschinen und

Fahrzeuge für den Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen auf unbestimmte Zeit verschoben werden. Auch bei einer möglichen Eigenentwicklung durch die Industrie in mittlerer Zukunft (mind. 5 Jahre) würden die dann angebotenen fahrerlosen Absperrfahrzeuge und andere Fahrzeuge und Maschinen für den autonomen oder automatisierten Einsatz die Use Cases und Einsatzbedingungen der Straßenbauverwaltung evtl. nur unzureichend abbilden, sodass eine geringere Einsatzeffizienz zu erwarten ist.

1.2 Vorgehensweise und Überblick

Für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens sind, unter Berücksichtigung der in der Leistungsbeschreibung formulierten Anforderungen und Vorgaben zum Vorgehen, insgesamt acht Arbeitspakete vorgesehen. Die Arbeitspakete sowie die Projektorganisation und Projektsteuerung sind in Bild 1-1 dargestellt.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ist der Auftraggeber des Projekts. Das Konsortium mit AlbrechtConsult GmbH, Steinbeis-Transferzentrum Infrastrukturmanagement im Verkehrswesen (IMV) und KoDeCs GmbH ist für die fachliche Leitung sowie Bearbeitung zuständig. Außerdem wird das Projekt durch einen Betreuerkreis unterstützt.

Zu Beginn des Projekts wurde eine Grundlagenrecherche (Kapitel 2) durchgeführt. Dabei wurden laufende, öffentlich geförderte Projekte identifiziert und bezüglich relevanter Lösungsansätze analysiert. Eine durchgeführte Marktanalyse zeigte auf, welche automatisierten Fahrzeuge und Systeme aktuell bereits existieren und für den Einsatz im Straßenbetriebsdienst denkbar sind. Außerdem wurden die technischen und rechtlichen Anforderungen ermittelt sowie die Anforderungen an die sicherheitstechnische Bewertung erfasst.

Auf die Grundlagenrecherche folgte die Anforderungsanalyse (Kapitel 3). Im Rahmen dieser Analyse wurden die Tätigkeitsbereiche des Straßenbetriebsdienstes auf Bundesautobahnen mit erhöhtem Gefährdungspotenzial ermittelt und ein Workshop mit Anwendern durchgeführt. Dabei wurden die Anforderungen an autonome und automatisierte Systeme aus Anwendersicht erfasst und den jeweiligen Anwendungsfällen zugeordnet.

Auf Basis der gesammelten Anforderungen und Erkenntnisse folgte die Use Case Erstellung und Klas-

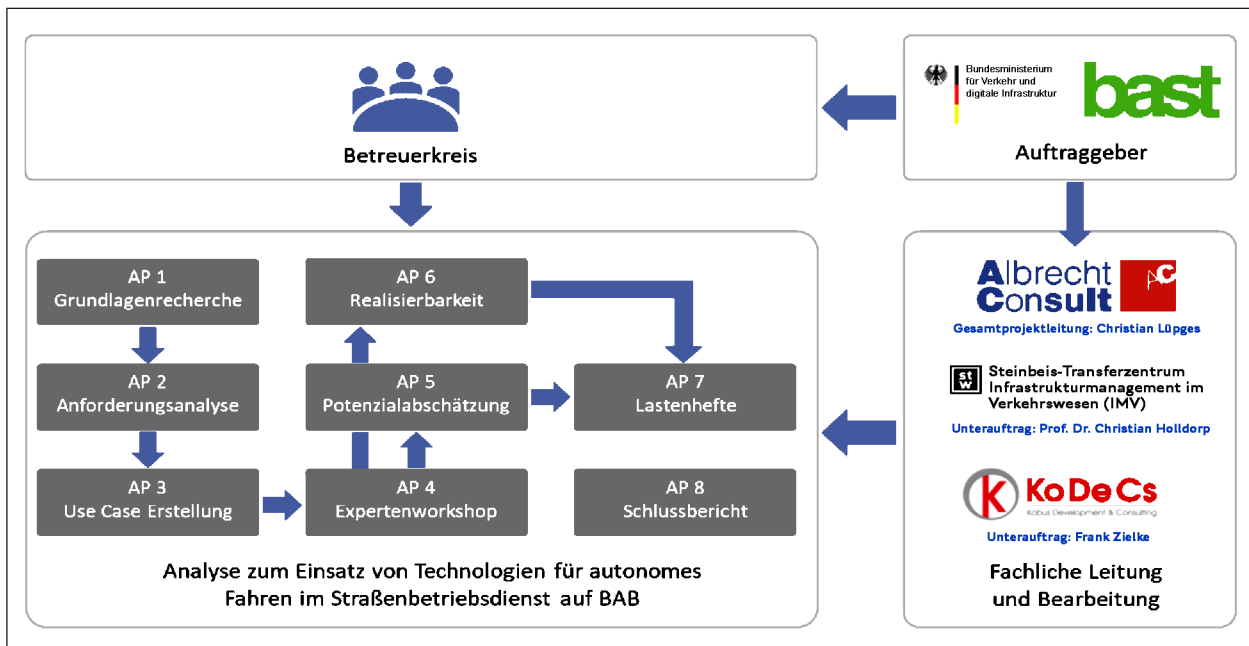


Bild 1-1: Projektorganisation und Projektsteuerung

sifikation (Kapitel 4). Diese Use Cases wurden in einem darauffolgenden Expertenworkshop (Kapitel 5) ausführlich diskutiert. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Workshop wurden anschließend drei Use Cases für die weitergehende Betrachtung festgelegt und geringfügig angepasst.

Als nächstes folgte eine Potenzialabschätzung (Kapitel 6) für die ausgewählten Use Cases sowie eine Bewertung der Realisierbarkeit (Kapitel 7). Die Potenzialabschätzung enthält auch eine erste Abschätzung möglicher Effizienzgewinne, die mit dem Einsatz der ausgewählten Use Cases verbunden sind, die jedoch den hierfür notwendigen Entwicklungsaufwand sowie die Kosten für die notwendigen Komponenten unberücksichtigt lässt, da diese derzeit nicht abschätzbar sind. Die Inhalte dieser beiden Arbeitspakete dienen schlussendlich dazu, für jeden der drei Use Cases Lastenhefte zu erstellen (Anhang 11 – 13), die eine kurze Beschreibung sowie Anforderungen an ein System für die Umsetzung des Use Cases beinhalten. Die Lastenhefte sind zudem mit einer Empfehlung bzw. Referenzarchitektur ergänzt. Grundsätzlich sollen die Lastenhefte Anregungen für Entwickler liefern und als Orientierung dienen.

Am Ende werden, aufbauend auf den Erkenntnissen aus diesem Projekt, nächste Schritte für die Umsetzung von Automatisierungslösungen im Straßenbetriebsdienst vorgeschlagen (Kapitel 9).

2 Grundlagenrecherche

2.1 Analyse laufender öffentlich geförderter Projekte

Aktuell werden zahlreiche Forschungsprojekte zum automatisierten und vernetzten Fahren durch BMDV, BMWK und BMBF gefördert. In diesem Zusammenhang gibt es eine Vielzahl nationaler und internationaler Veröffentlichungen, die verwertbare Lösungsansätze beschreiben. Im ersten Arbeitsschritt wurden diese Projekte hinsichtlich ihrer Lösungsansätze analysiert und als Grundlage für die weiteren Arbeitspakete verwendet.

Die Suche nach relevanten Projekten erfolgte zum einen über die Recherche im Internet, insbesondere über die Homepage der jeweiligen Ministerien, aber auch über persönliche Kontakte, die Berührungspunkte zu entsprechenden Projekten haben. Alle erfassten Projekte wurden anschließend in einer Excel-Tabelle mit einer kurzen Beschreibung aufgeführt und mit weiteren Informationen ergänzt. Außerdem wurden sie nach verschiedenen Gesichtspunkten analysiert. Die gesamte Liste befindet sich im Anhang 1: Liste öffentlich geförderter Projekte. Sie enthält insgesamt 67 Projekte, wobei sechs dieser Projekte bereits abgeschlossen sind. Sie wurden aufgrund potenziell hilfreicher Lösungsansätze dennoch in die Liste aufgenommen.

Neben der fortlaufenden numerischen Zählung in Spalte 1 enthalten die Spalten 2 – 6 projektbezogene Informationen wie z. B. Projektkürzel, Projekttitle oder eine kurze Projektbeschreibung. Ab Spalte 7 erfolgt die Bewertung der jeweiligen Projekte in folgenden Bereichen:

- **Use Case:**
In diesem Bereich wird analysiert, inwiefern Use Cases innerhalb des beschriebenen Forschungsprojekts eine Schnittmenge mit den Use Cases von AETAS BAB haben oder haben könnten.
- **Technik:**
Hier liegt der Fokus auf dem Bereich der in Einsatz gebrachten Technik. Dabei kann es sich um einzelne Sensoren handeln oder auch um ganze Systeme, die im Rahmen von AETAS BAB interessant sein könnten.
- **Sonstiges:**
Dieser Kategorie werden Projekte zugeordnet, die nicht zu den Bereichen Use Case und Technik passen, bei denen aber dennoch eine Relevanz für AETAS BAB besteht.

Um die Relevanz der einzelnen Projekte im jeweiligen Bereich einheitlich und vergleichbar zu bewerten, wurde folgendes Bewertungssystem festgelegt:

- 3 Punkte – sehr hohe Relevanz
- 2 Punkte – hohe Relevanz
- 1 Punkt – geringe Relevanz
- 0 Punkte – keine Relevanz

2.1.1 Bewertung der Projekte im Bereich Use Case

Auf Basis der Bewertung wurden acht Projekte mit einer hohen Relevanz (3 Punkte) im Bereich Use Case identifiziert. Aus diesen lassen sich konkrete Anwendungsfälle für AETAS BAB ableiten.

Dazu gehören folgende Projekte:

- ANITA (Autonome Innovation im Terminalablauf)
- ATLAS-L4 (Automatisierter Transport zwischen Logistikzentren auf Schnellstraßen im Level 4)

- SAFE20 (Sicheres autonomes Fahren und Erprobung in Automatisierungszonen mit mindestens 20 km/h)
- SAFEAI (Autonomes Fahren bei mobilen Arbeitsmaschinen – Aspekte funktionaler Sicherheit unter Einbezug leistungsfähiger KI-Methoden)
- SmartFleet (Autonome Nutzfahrzeuge für den sicheren und effizienten Flughafeneinsatz)
- aFAS (Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen)
- EDDI (Elektronische Deichsel – Digitale Innovation)
- MOSAik:D (M2M-gestützte Optimierung der Sicherheit in Arbeitsstellen kürzerer Dauer)
- RADSPOT (Hochautomatisiertes und straßenschonendes Fahren auf Basis der Bodenradarsignale)

Eine besondere Nähe zum aktuellen Projekt AETAS BAB ist bei dem Projekt MOSAik:D vorhanden. Im Rahmen dieses Projekts soll die Sicherheit des Verkehrs in Arbeitsstellen von kürzerer Dauer (AkD) erhöht, sowie der Schutz des Baustellenpersonals mithilfe von M2M-Kommunikation (Mensch-zu-Maschine) verbessert werden. Dabei sollen moderne Kommunikations- und Ortungsmethoden kombiniert werden, damit ankommende Fahrzeuge über Personen im unmittelbaren Gefahrenbereich des Verkehrsraums informiert werden und das Baustellenpersonal vor potenziellen Gefahren durch unkontrolliert herannahende Fahrzeuge gewarnt wird. [BMDV 2021a]

Auch das bereits abgeschlossene Projekt aFAS bildet einen konkreten Use Case für den Betriebsdienst auf Bundesautobahnen. Im Rahmen des Projekts wurde ein Absicherungsfahrzeug entwickelt, welches automatisiert mobilen Baustellen auf dem Seitenstreifen folgt und gegen den fließenden Verkehr absichert. Da sich kein Mitarbeiter an Bord des Absicherungsfahrzeugs befinden muss, wird die Sicherheit für das Baustellenpersonal signifikant erhöht. [HESSEN MOBIL 2018]

2.1.2 Bewertung der Projekte Bereich Technik

Im Bereich Technik erhalten zwölf Projekte die maximale Punktzahl (3 Punkte) und beinhalten somit

potenzielle technische Lösungsansätze mit einer hohen Relevanz.

Dazu zählen folgende Projekte:

- ANITA (Autonome Innovation im Terminalablauf)
- ATLAS-L4 (Automatisierter Transport zwischen Logistikzentren auf Schnellstraßen im Level 4)
- HALC (Highway Assist with Lane Change — SAE Level 2)
- RoSSHAF (Robustheit von Sensoren und Sensorsystemen gegenüber Umweltbedingungen für HochAutomatisiertes Fahren)
- SAFE20 (Sicheres autonomes Fahren und Erprobung in Automatisierungszonen mit mindestens 20 km/h)
- SafeADArchitect (Entwicklung einer risikosensitiven Gesamtsystemarchitektur und echtzeitfähiger Methoden zur Absicherung von Automatisierten Fahrzeugen)
- SAFEAI (Autonomes Fahren bei mobilen Arbeitsmaschinen – Aspekte funktionaler Sicherheit unter Einbezug leistungsfähiger KI-Methoden)
- SmartFleet (Autonome Nutzfahrzeuge für den sicheren und effizienten Flughafeneinsatz)
- aFAS (Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Autobahnen)
- EDDI (Elektronische Deichsel – Digitale Innovation)
- MOSAiK:D D (M2M-gestützte Optimierung der Sicherheit in Arbeitsstellen kürzerer Dauer)
- RADSPOT (Hochautomatisiertes und straßenschonendes Fahren auf Basis der Bodenradarsignale)
- AKIT (Autonomie-KIT für seriennahe Arbeitsfahrzeuge zur vernetzten und assistierten Bergung von Gefahrenquellen)

Besonders interessant ist im technischen Kontext das Projekt AKIT. Ein besonderer Schwerpunkt des Forschungsprojekts ist die Konzeption eines Autonomie-KITs, um weltweit verfügbare Bau- und Arbeitsmaschinen in kurzer Zeit mithilfe von Sensoren und anderen Komponenten in unbemannt operie-

rende Bergegeräte umzuwandeln. Da es sich um einen Nachrüstatz handelt, müssen speziell modifizierte Fahrzeuge nicht für etwaig auftretende Ereignisse vorgehalten werden, sondern können kurzfristig umgerüstet werden. Damit sind Funktionen wie autonome Navigation in unstrukturierter Umgebung, 3D-basierte assistierte Objektmanipulation sowie situationsangepasste Vernetzung möglich, die Bergungskräften eine zügige Beräumung von Gefahrenquellen ermöglicht. Der technische Lösungsansatz, insbesondere im Hinblick auf die Kosten für eine geringe und individuelle Fahrzeugausrüstung für bestimmte Einsatzzwecke, ist im Rahmen des Straßenbetriebsdienstes sehr interessant. [AKIT 2017]

2.1.3 Bewertung der Projekte Bereich Sonstiges

Im Bereich Sonstiges gibt es lediglich Projekte, die mit einer nur geringen Relevanz für das Projekt AETAS BAB bewertet sind.

Dazu gehören folgende Projekte:

- VVMethoden (Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge Level 4 und 5)
- SituWare (Erfassung des Fahrersituationsbewusstseins für adaptive kooperative Übergabestrategien beim hochautomatisierten Fahren)
- ACCorD (Korridor für neue Mobilität Aachen – Düsseldorf)
- BiDiMoVe (Bidirektional, Multimodal, Vernetzt)
- Providentia (Proactive Video-Based Use of Telecommunication Technologies in Innovative Highway Scenarios)

2.2 Analyse potenziell verfügbarer Technologien und Konzepte für autonome/automatisierte Fahrzeuge und Geräte im Straßenbetriebsdienst

Im Rahmen einer Internetrecherche wurden potenziell auf dem Markt verfügbare Technologien und Konzepte zusammengestellt, die ein Potenzial zur Anwendung im Straßenbetriebsdienst haben. Bei

der Recherche wurden neben Technologien, die unmittelbar im Straßenbetriebsdienst zur Anwendung kommen können, auch Technologien aus angrenzenden Fachbereichen, z. B. Bahn oder Landwirtschaft, betrachtet, von denen evtl. einzelne Komponenten für die Anwendung im Straßenbetriebsdienst geeignet erscheinen. Die Technologien sind auf Grundlage der Herstellerangaben ausführlicher im Anhang 2: Factsheets beschrieben und werden nachfolgend kurz hinsichtlich ihres Potenzials für den Straßenbetriebsdienst charakterisiert:

1. Teilautonomes Winterdienstfahrzeug (Arctic, Aebi Schmidt Group):

- Automatisiertes Räumen mit Seitenpflug und Streumaschine
 - Fahrzeug wird durch Fahrer gesteuert
 - Prototypischer Einsatz in Finnland
 - Umfassende Sensorik im Fahrzeug
- ⇒ Potenzial: Sensorik, die auch bei winterlichen Bedingungen funktioniert

2/3. Autonome Kehrfahrzeuge (Autowise.ai und Boschung):

- Autonom fahrende Kehrmaschine auf Werksflächen und im öffentlichen Straßenverkehr in Shanghai im Probetrieb
 - Fahren und Kehren autonom
 - Betrieb bis SAE Level 5
- ⇒ Potenzial: autonome Kehreinsätze, z. B. auf dem Standstreifen

4. Autonomous Impact Protection Vehicle (Colas UK und Royal Truck & Equipment (RT&E)):

- Funktionalität entspricht dem im Projekt aFAS in Deutschland entwickeltem autonom fahrenden Absperrfahrzeug, das prototypisch auf dem Standstreifen zum Einsatz kam (s. Kapitel 2.1)
- Autonom fahrendes Absperrfahrzeug mit Anpralldämpfer
- Fahrzeug fährt autonom vorausfahrendem Fahrzeug hinterher
- Prototypische Anwendung auf einen Highway in den USA

⇒ Potenzial: autonom fahrendes Absperrfahrzeug als Folgefahrzeug von Arbeitsmaschinen

5. Autonomes Winterdienstfahrzeug AXYARD (Daimler Truck AG, Aebi Schmidt)

- Fahrerlose Winterdienstfahrzeuge zum Einsatz in Räumstaffeln auf Flughäfen
 - Präzise Navigation auch bei winterlichen Bedingungen
 - Automatisierung von Pflug und Kehrwalze
 - Versuchsanwendung auf Flughäfen
- ⇒ Potenzial: autonomer Einsatz in Räumstaffeln, Unterstützung von Winterdienstfahrern durch automatisierte Steuerung der An- und Aufbaugeräte

6. Automatisierung in der Landwirtschaft: Hands Free Hectare (Harper Adams University)

- Verbundprojekt, in dem verschiedene Technologien zum Einsatz kommen, u. a. automatisierte Arbeitsmaschinen und Drohnen zur Qualitätssicherung
 - Schwerpunkt Kommunikation über C2C
- ⇒ Potenzial: Automatisierung von analogen Arbeitsvorgängen außerhalb des Verkehrsraums, Drohneneinsatz mit automatischer Bildauswertung

7. Maschinelle Bildverarbeitung zur Erkennung und Bekämpfung von Unkraut (BonRob von der HS Osnabrück)

- Autonomer Landwirtschaftsroboter
 - Automatische Erkennung von Nutzpflanzen und Unkraut mithilfe der visuellen Bildverarbeitung
- ⇒ Potenzial: Ansätze zur automatischen Bildauswertung

8. Teleoperiertes Fahren bei Nutzfahrzeugen (u. a. Roboauto)

- Teleoperiertes Fahren konventioneller Nutzfahrzeuge
- Umrüstung von Serienfahrzeugen

- Telearbeitsplatz zur Fernsteuerung
 - Steuerung über Mobilfunk, mit LTE, ideal mit 5G
 - ⇒ Potenzial: Einsatz in besonders gefährdeten oder schwer zugänglichen Einsatzbereichen
9. Roboter mit Wechselaufsätzen zur Grasmahd und zur Schneeräumung (RT 100 von Left Hand Robotics)
- Autonomer Roboter zum Einsatz auf Geh- und Radwegen sowie in Parks, in den USA auf dem Markt
 - Anbau verschiedener Geräte (Mähgerät, Kehrwalze)
 - Bearbeitung vorab definierter Flächen
 - Umfassende Sensorik und Kameras für Positionsbestimmung und Hinderniserkennung
 - ⇒ Potenzial: Einsatz auf definierten Flächen, z. B. auch im Straßenseitenraum
10. Straßenmüllsauger mit Follow-Me-Technologie (Ariamatic 240 von TSM)
- Straßenmüllfahrzeug für die manuelle Reinigung, Einsatz in Kommune in Italien
 - Follow-Me Technik, sodass das Gerät dem Mitarbeiter automatisch folgt
 - Sensorik zur Hinderniserkennung
 - ⇒ Potenzial: Technologie zur Absicherung von manuellen Kolonnen zur Mülleinsammlung
- 11./12. Vollautomatischer Leitkegelsetzer (X-Cone 2.0 von Traffic Safety Service und Cone von Senn):
- Automatisches Setzen und Aufnehmen von Leitkegeln im Verkehr
 - Fahrzeug wird von Fahrer gesteuert, Leitkegel werden ohne Anhalten gesetzt und aufgenommen
 - Fahrzeug als Prototyp bei der ASFI-NAG, in Deutschland oder in der Schweiz im Einsatz
 - ⇒ Potenzial: Längsabspernung von Arbeitsstellen mit Leitkegeln, ohne
- dass ein Mitarbeiter das Fahrzeug verlassen muss
13. Automatisiertes Aufstellen von mehreren Vorwarntafeln mit einem Fahrzeug (Nissen)
- Aufstellen und Einsammeln von bis zu 3 LED-Vorwarntafeln mit einem Fahrzeug oder Anhänger
 - Fahrzeug wird von Fahrer gesteuert, Tafeln können vom Fahrer aus dem Fahrzeug abgelassen und eingesammelt werden
 - System u. a. in der SM Neusitz im Einsatz
 - ⇒ Potenzial: Vorwarntafeln bei stationären Arbeitsstellen
14. Satellitengestütztes Vegetationsmanagement (LiveEO)
- Vegetationsmanagement durch Auswertung von Satellitendaten
 - System im Einsatz in Pilotprojekten für die Bahn, Stromnetzbetreiber und bei Pipelines
 - Auswertung von hochauflösenden Satellitendaten, u. a. Spektraldaten
 - Identifikation von Pflanzenarten und Pflanzenzustand
 - ⇒ Potenzial: Baumbeobachtung
15. Einsatz von Drohnen und KI zum Aufnehmen und Auswerten von Luftbildern der Vegetation entlang von Strecken der Deutschen Bahn („FreeRail“-Forschungsprojekt von Quantum Systems, DB Fahrwegdienste, geo-konzept)
- Laufendes Forschungsprojekt bis 2022
 - Einsatz einer autonom fliegenden Drohne, Reichweite 90 km
 - Einsatz zur Vegetationskontrolle des Schienennetzes im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht
 - ⇒ Potenzial: Baumkontrolle, Streckenkontrolle
- Die Marktanalyse macht deutlich, dass es national und international verschiedene Ansätze für autonome oder automatisierte Fahrzeuge und Geräte auf dem Markt gibt. Ein Teil davon ist kurz vor der Marktreife, viele andere jedoch sind eher auf der Ebene

eines Prototypeneinsatzes. Insbesondere der Einsatz autonomer Systeme im Verkehrsraum und nicht auf abgesichertem Gelände ist derzeit nur prototypisch geregelt. Allerdings sind für kleine Arbeitsmaschinen im Fußgängerbereich eher marktreife Lösungen absehbar.

2.3 Technische, rechtliche Anforderungen

Insbesondere für den Einsatz am und im Verkehrsraum sind umfassende Anforderungen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit sowie den Arbeitsschutz zu beachten. Maßgebend sind in diesem Zusammenhang vor allem die nachfolgend näher erläuterten technischen Regelwerke.

2.3.1 Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA)

Die Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) befassen sich mit der verkehrsrechtlichen Sicherung von Arbeitsstellen an und auf der Straße. Die RSA werden durch die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) erstellt und vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr herausgegeben. Aktuelle Version ist die Ausgabe 2021.

Aufgebaut ist die RSA in 4 Teile:

- Teil A – Allgemeines
- Teil B – Innerörtliche Straßen
- Teil C – Landstraßen
- Teil D – Autobahnen

Teil A beschäftigt sich unter anderem mit Grundbegriffen, Grundsätzen, Verkehrszeichen, Verkehrseinrichtungen etc., die zur Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen wichtig sind. Die Teile B bis D beinhalten Regelpläne für die verschiedenen Einsatzszenarien. Für den Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen ist Teil D III: Autobahnen, Arbeitsstellen kürzerer Dauer relevant. Weiterhin sind die Richtwerte in Teil A, Abschnitt 10: Verkehrsführung und -regelung von Bedeutung.

Teil D der RSA beinhaltet zum einen grundsätzliche Forderungen an Arbeitsstellen von kürzerer Dauer auf Autobahnen (AkD) sowie Regelpläne, welche

u. a. geforderte Verkehrszeichen und Sicherheitsabstände aufzeigen. Maßgebende Randbedingungen der Pläne sind die Anzahl der Fahrstreifen und die Sichtverhältnisse auf der Strecke. Eine Differenzierung nach stationären und mobilen AkD erfolgt bei den Regelplänen nicht. Im Teil D III sind fünf Regelpläne aufgeführt, für Nachbaustellen bestehen vier Regelpläne im Teil D IV. Für Arbeiten kürzerer Dauer auf dem befestigten Seitenstreifen gibt es keinen Regelplan, die Gestaltung ist in Bild D-5 der RSA dargestellt (s. Bild 2-1). Der Regelplan D III/1r stellt eine AkD auf dem rechten Fahrstreifen dar (s. Bild 2-2). Der Einsatz der transportablen Warnschwellen soll entsprechend ARS Nr. 6/2014 des BMDV erfolgen.

Generell sind zur Absicherung von AkD fahrbare Absperrtafeln mit Blinkpfeil (Zeichen 616) einzusetzen, deren Abstand von der Arbeitsstelle in der Regel 100 m, mind. 50 m beträgt. Abhängig von der Sichtbarkeitsentfernung sind bei Arbeitsstellen auf dem ersten Fahrstreifen zusätzlich Vorwarner einzusetzen. Bei mobilen Arbeitsstellen kann in Ausnahmefällen bei Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 5 und 60 km/h das Arbeitsfahrzeug die fahrbare Absperrtafel selbst schleppen. [FGSV 2021]

Bei Arbeitsstellen auf dem rechten Fahrstreifen werden nach RSAD, Kapitel 3, Punkt (11), Vorwarnrichtungen immer dann empfohlen, wenn sich die AkD in Bereichen befindet, in denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit mehr als 120 km/h beträgt. [FGSV 2021]

Absperrtafeln sind immer mit Zugfahrzeug abzustellen. In Rampen muss der Abstand mindestens 20 m sein. Außerdem wird das Aufstellen von Leitkegeln (Höhe 0,75 m) im Abstand von 10 m bei stationären AkD empfohlen. Bei mobilen AkD können diese entfallen. Das Absicherungsfahrzeug sollte eine zulässige Gesamtmasse von mindestens 7,49 t haben. [FGSV 2021]

In der RSA sind im Teil A, Kapitel 11 Verkehrsführung und -regelung, Abschnitt 11.1 Allgemeines (4), die seitlichen Mindestabstände zwischen dem Arbeitsbereich und dem Verkehrsbereich festgelegt. Dieser ist unter Punkt b) auf 0,50 m auf Außerortsstraßen festgelegt, sofern nicht durch den Baulastträger andere Maße vorgeschrieben werden. Allerdings ist nicht eindeutig definiert, ob diese seitlichen Abstände nur für stationäre Arbeitsstellen bzw. Arbeitsstellen gelten, bei denen Personal außerhalb des Fahrzeugs arbeitet. [FGSV 2021]

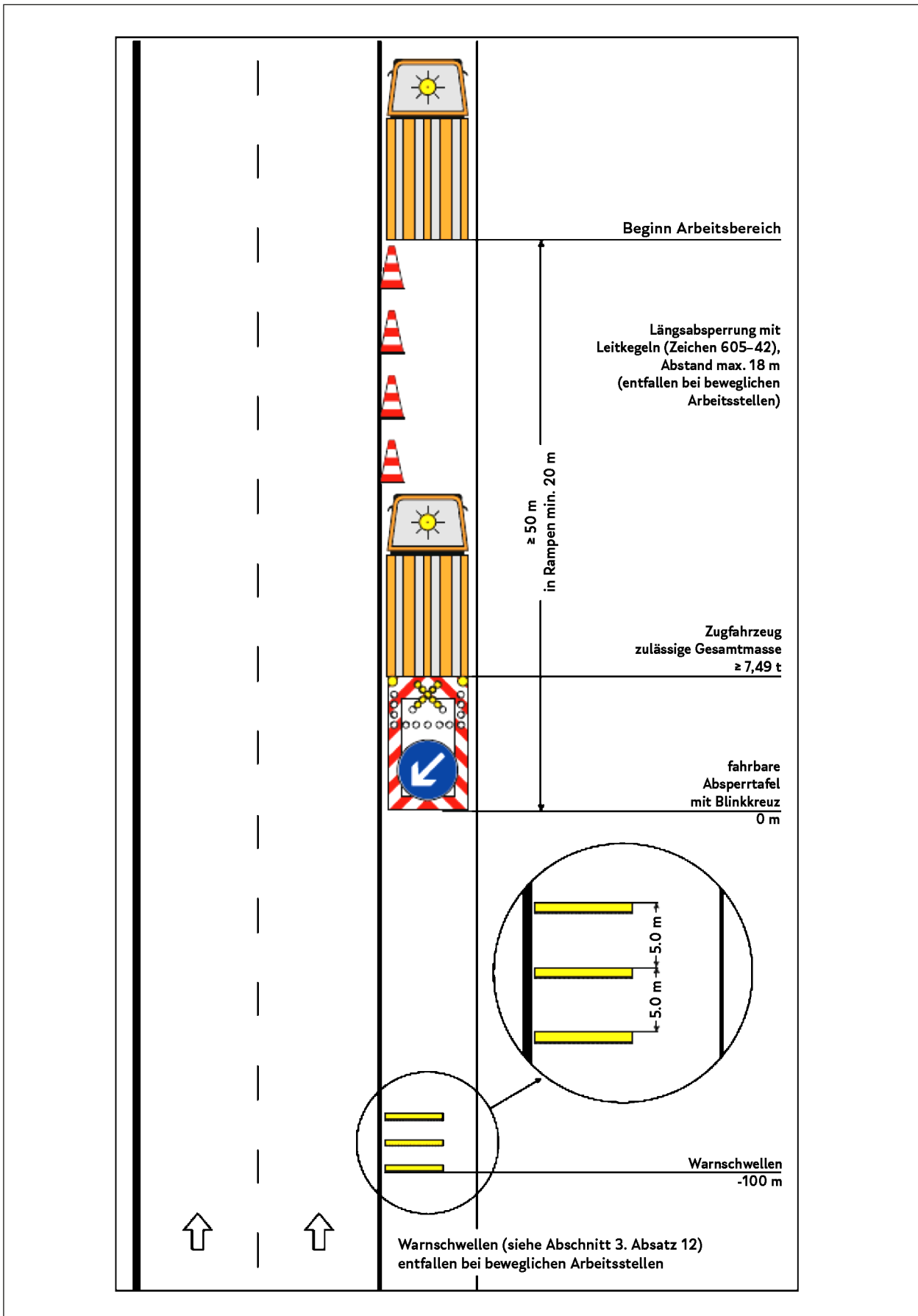


Bild 2-1: Verkehrstechnische Gestaltung einer Arbeitsstelle von kürzerer Dauer auf dem Seitenstreifen [FGSV 2021]

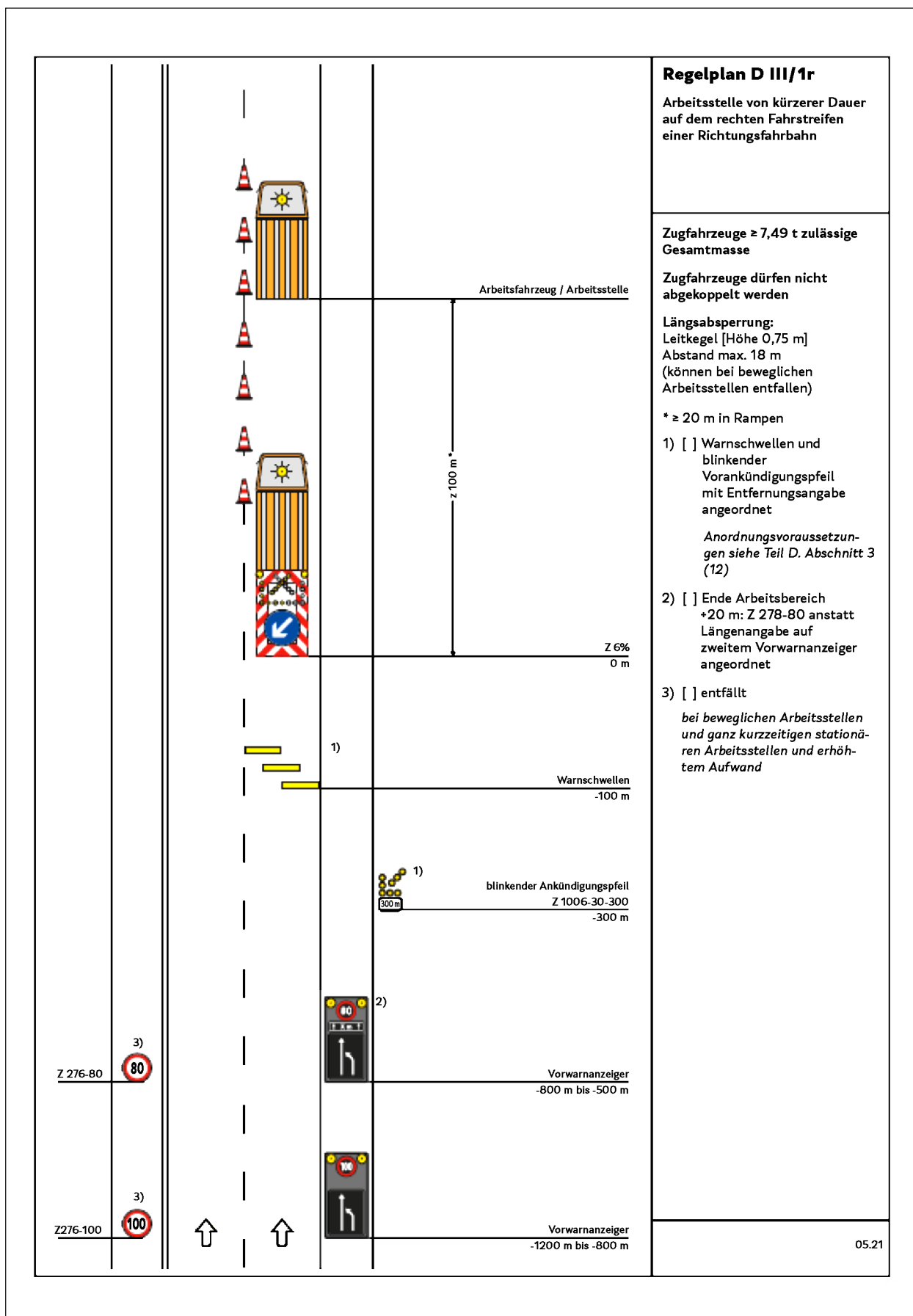


Bild 2-2: Regelplan D III/2r [FGSV 2021]

2.3.2 Technische Regeln für Arbeitsstätten: Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen (ASR 5.2)

Die ASR 5.2 wurde durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Dezember 2018 bekanntgegeben [BMAS 2018]. Sie konkretisiert die schon seit langem bestehenden Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung. Schwerpunkt sind Arbeitsstätten längerer Dauer. Hinweise für die Anwendung der ASR 5.2 unter Berücksichtigung der RSA gibt die Handlungshilfe für das Zusammenwirken von ASR 5.2 und RSA bei der Planung von Straßenbaustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr, die 2021 durch das BMDV mit ARS 6/2021 bekannt gemacht wurde [BAST et al. 2020].

Im Wesentlichen werden in der ASR 5.2 für Arbeiten im Grenzbereich zum fließenden Kraftfahrzeugverkehr folgende Maße definiert:

- Seitlicher Sicherheitsabstand S_Q : Sicherheitsabstand zu vorbeifahrenden Fahrzeugen
- Sicherheitsabstand S_L : Sicherheitsabstand zu ankommenden Fahrzeugen
- Mindestbreite B_M : Bewegungsfläche für Arbeitsplätze neben der Arbeitsstelle

Die ASR ist anzuwenden bei „...Einrichten, Betreiben und den Abbau von Arbeitsplätzen und Verkehrswegen auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr, bei denen durch den fließenden Verkehr Gefährdungen für die Beschäftigten entstehen können. Sie findet auch Anwendung für die dazugehörigen Verkehrssicherungsarbeiten“ [BMAS 2018]. Bei Tätigkeiten, bei denen sich Beschäftigte auf oder in einem Arbeitsfahrzeug befinden und keine Herauslehnen erforderlich ist, findet die ASR 5.2 keine Anwendung; in diesen Fällen gelten die Regelungen der Betriebssicherheitsverordnung, nach denen eine entsprechende Gefährdungsbeurteilung notwendig ist und der Arbeitgeber den sicheren Einsatz gemäß Stand der Technik festgestellt hat [BAST et al. 2020].

Entsprechend der Handlungshilfe sind bei AkD, die einen Großteil der Arbeiten des Straßenbetriebsdienstes ausmachen, folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- In AkD sind für Arbeiten, bei denen Personal vor einer Absicherung arbeitet, die Sicherheitsabstände S_Q und S_L anzuwenden.

- Für zeitliche begrenzte Aufgaben (Be- und Entladen von Werkzeug und Material) darf S_Q betreten werden, außerhalb von Autobahnen auch S_L . Allerdings sind diese Situationen zu minimieren.
- B_M ist anzusetzen, wenn sich neben der zu bearbeitenden Fläche zum Verkehrsraum hin Personal aufhalten muss. Wenn die Arbeiten jedoch ausschließlich von der dem Verkehr abgewandten Seite durchgeführt werden können, ist B_M nicht notwendig.
- Bei mobilen AkD sind S_Q , S_L und B_M nicht erforderlich, da die Arbeiten aus dem Fahrzeug heraus durchgeführt werden; dies gilt auch für mitlaufendes Personal, das sich im Nahbereich bzw. seitlich versetzt vor dem Fahrzeug befindet.
- Wenn die Gefährdungen zum Auf- und Abbau einer Verkehrssicherung größer als die Gefährdungen bei kurzzeitigem Arbeiten im Sicherheitsabstand S_L sind, ist die Arbeit innerhalb S_L zulässig.

Entsprechend der Handlungshilfe [BAST et al. 2020] sind insbesondere folgende Arbeiten in AkD zu betrachten:

- Markierungsarbeiten von Leitlinien: Hier gilt die Betriebssicherheitsverordnung und nicht die ASR 5.2, allerdings sind für die Gefährdungsbeurteilung ebenfalls entsprechende Maße zu berücksichtigen. Relevant sind vor allem der Auf- und Abbau von Leitkegeln, um das Überfahren der frischen Markierung zu verhindern.
- Beheben von Fahrbahnschäden als Sofortmaßnahme: Es gilt die ASR 5.2, der seitliche Sicherheitsabstand ist einzuhalten. B_M ist zusätzlich nur notwendig, wenn das Schlagloch von allen Seiten aus bearbeitet werden muss.
- Auf- und Abbau von transportablen Schutzeinrichtungen (TSE): Da TSE keine Verkehrseinrichtung gemäß StVO sind, ist der seitliche Sicherheitsabstand S_Q gemäß ASR 5.2 einzuhalten. Beim Aufbau ist auf beiden Seiten der TSE ein Arbeitsplatz notwendig, für den die Breite B_M zu berücksichtigen ist.

In der Handlungshilfe [BAST et al. 2020] werden die relevanten Arbeiten des Betriebsdienstes in drei Kategorien eingeteilt:

- Kategorie A: Aufgaben auf oder neben der Fahrbahn, in der Regel ortsfest, bei denen Personal

Zuordnung der Aufgaben des Betriebsdienstes zu den Kategorien (X im Regelfall, (X) bei einzelnen Phasen oder im Einzelfall)	A	B	C
Schäden an Fahrbahnen beseitigen	X		
Schäden und Mängel an unbefestigten Flächen beseitigen	X	(X)	(X)
Schäden und Mängel an steinschlaggefährdeten Felshängen beseitigen	X	(X)	(X)
Schäden an Ingenieurbauwerken und deren Entwässerungseinrichtungen beseitigen, Bauwerkskontrolle (evtl. auch mit Brückenuntersichtgerät)	X	(X)	
Kontrolle und Beseitigung von Schäden an Straßenrinnen, befestigten Straßengräben und Straßenabläufen	X		X
Schäden an Rohrleitungen, Durchlässen und Schächten beseitigen	(X)		X
Grasflächen im Straßenrandbereich mähen		X	X
Sichtfelder und Verkehrsinseln im Bereich von Knotenpunkten mähen	X	X	
Gehölze im Straßenrandbereich zurückschneiden	(X)	(X)	X
Bäume kontrollieren, pflegen, fällen und sanieren	X	(X)	(X)
Verkehrszeichen instand halten	X	X	X
Leitpfosten und Stationierungszeichen instand halten	X		X
Passive Schutzeinrichtungen instand halten	X		X
Wild- und Amphibienschutzzäune instand halten	X		X
Lichtzeichenanlage (LZA) u. Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) warten und instand halten	X		(X)
Beleuchtungsanlagen warten und instand halten			X
Betriebstechnische Anlagen in und an Tunneln warten und instand halten	X		
Betriebstechnische Anlagen für den Winterdienst warten und instand halten	X		
Verkehrsinseln inkl. Ausstattung reinigen und instand halten	X		(X)
Fahrbahnen kehren	X	X	
Verkehrsbehindernde bzw. -gefährdende Verschmutzungen oder Tierkadavern auf Verkehrsflächen beseitigen	X		
Befestigte Straßenmulden und -gräben und Straßenabläufe reinigen	(X)	X	
Schächte (inkl. Rohrleitungen), Durchlässe, Sinkkästen und Düker reinigen	X	(X)	
Tunnel reinigen	(X)	X	
Verkehrszeichen reinigen	X	X	X
Leitpfosten reinigen	(X)	X	
Fahrbahnen streuen		X	
Fahrbahnen räumen und streuen		X	
Erhebliche Schneeverwehungen und Randwälle beseitigen	X	X	(X)
Beseitigung von Unfallschäden /Unfallaufnahme	X		X
Allgemeine Wartungstätigkeiten/Streckenwartung	X	X	X
Aufnahme von Fahrbahnschäden	X		
Absicherung von Gefahrenstellen	X		
Stellen von Amphibienschutzeinrichtungen	X		(X)
Abfälle entlang der Strecke einsammeln und entsorgen	X		(X)

Tab. 2-1: Zuordnung der relevanten Aufgaben des Betriebsdienstes zu den Kategorien A, B und C [BASt et al. 2020]

außerhalb der Fahrzeuge eingesetzt wird. Die ASR 5.2 sind zu beachten.

- Kategorie B: Aufgaben auf oder neben der Fahrbahn, bei denen kein Personal außerhalb von

Fahrzeugen eingesetzt wird. Arbeitsstellen sind in der Regel mobil. ASR 5.2 ist nicht relevant, sondern die Betriebssicherheitsverordnung.

- Kategorie C: Personal wird am Fahrbahnrand oder neben der Fahrbahn eingesetzt, sodass RSA-konforme Sicherungsarbeiten notwendig sind.

Die Handlungshilfe [BASt et al. 2020] nennt folgende Maßnahmen zur Reduktion von Arbeitsplatzbreiten:

- Einsatz von Fahrzeugen geringerer Breite (Schmalspurfahrzeuge)
- Einsatz des Personals vom Fahrbahnrand aus
- Verzicht von Personal auf der Fahrbahn durch Maschineneinsatz

Weiterhin werden in der Handlungshilfe u. a. folgende Ansätze zur Verbesserung der Arbeitssicherheit genannt [BASt et al. 2020]:

- „Stärkerer Einsatz fernbedienbarer Arbeitsmittel im Betriebsdienst, z. B. Mähgeräte.
- Einsatz automatisch fahrerlos fahrender Absicherungsfahrzeuge insbesondere auf Autobahnen.
- Mechanisierung und Automatisierung von Fahrbahnreparaturen.
- Selbstfahrende Markierungsmaschine (...).
- Automatisierung des Setzens und Einholens von Leitkegeln.“

Durch Hessen Mobil wurde bereits 2019 eine Zusammenstellung zu Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) für die landesweite Anwendung eingeführt. Diese berücksichtigt ebenfalls die Anforderungen der StVO und des geltenden Arbeitsschutzes. Sie gilt jedoch nur für das Basisnetz, d. h. nicht für Bundesautobahnen [Hessen Mobil 2019].

2.3.3 Weitere Regelungen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz

Neben den oben ausführlich vorgestellten Regelungen zur Absicherung von Arbeitsstellen unter den Aspekten Arbeitssicherheit und Verkehrssicherheit sind bei Arbeiten des Straßenbetriebsdienstes weitere Regelungen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz zu berücksichtigen. Eine Übersicht hierzu bietet die „Zusammenstellung betriebsdienstrelevanter Regelwerke und ihrer Bedeutung für die Praxis“, die jährlich durch den Arbeitsausschuss 3.11 Straßenbetriebsdienst der Forschungsgesellschaft

für Straßen- und Verkehrswesen e. V. aktualisiert wird [FGSV 2020]. Die hierin aufgeführten Vorschriften machen deutlich, welche weiteren Gefährdungspotenziale bestehen können, die durch einen Einsatz automatischer oder autonomer Technologien im Straßenbetriebsdienst ausgeschlossen oder reduziert werden können. Insbesondere sind in der Zusammenstellung folgende Regelungen und Unfallverhütungsvorschriften (UVV) genannt [FGSV 2020]:

- Lärm- und Vibrationsarbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchBV)
- Regel für Sicherheit und Gesundheitsschutz, Straßenbetrieb Straßenunterhalt, BGR/GUV-R 2108
- UVV Abwassertechnische Anlagen DGUV Vorschrift 22
- UVV Bauarbeiten DGUV Vorschrift 38
- UVV Krane DGUV Vorschrift 52
- UVV Flurförderfahrzeuge DGUV Vorschrift 68
- UVV Fahrzeuge DGUV Vorschrift 70
- Beurteilung der Gefährdungen und Belastungen am Arbeitsplatz im Bauhof, DGUV Information 214-064“
- Winden-, Hub- und Zugeräte, DGUV Vorschrift 54“
- Umgang mit beweglichen Straßenbaumaschinen, DGUV Regel 101-003“
- Austauschbare Kipp- und Absetzbehälter, DGUV Regel 114-010“
- Straßenbetrieb, Straßenunterhaltung, DGUV-Regel 114-016“
- Sicherer Einsatz von Absetzkippern DGUV Information 214-016
- Sichere Waldarbeiten, DGUV-Information 214-046“

2.3.4 Regelungen zum automatisierten/ autonomen Fahren

Am 21. Juni 2017 wurden in Deutschland mit der Novellierung des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) die ersten rechtlichen Ansätze geschaffen, mit de-

nen weitere Rahmenbedingungen hinsichtlich automatisierter Fahrfunktionen festgelegt werden können. Diese Änderung legte die regulatorische Grundlage für die Zulassung von hoch- und vollautomatisierten Fahrfunktionen in Kraftfahrzeugen fest. [RUTTLOFF 2017]

Der Bundestag beschloss im Mai 2021 einen neuen Gesetzentwurf, um den Rechtsrahmen für autonome Kraftfahrzeuge (Level 4) zu schaffen. Am 28. Juli 2021 trat das Gesetz in Kraft. Dadurch sollen Fahrzeuge selbstständig in bestimmten Betriebsbereichen im öffentlichen Straßenverkehr in Deutschland fahren können. [BMDV 2021b]

Am 02. Dezember 2021 erhielt Mercedes-Benz, als erstes Automobilunternehmen der Welt, vom deutschen Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) die Genehmigung für das (teil-)autonome Fahren auf SAE-Level 3. Die Typgenehmigung bezieht sich dabei auf ein automatisches Spurhaltesystem (Automated Lane Keeping System – ALKS), welches Mercedes selbst „Drive Pilot“ nennt. Die Grundlage für diese Genehmigung bildet die technische Zulassungsvorschrift UN-Regelung Nr. 157. Dadurch kann ein System international angeboten werden, vorausgesetzt, die jeweiligen nationalen Gesetzgebungen erlauben es. Im Rahmen dieser Regelung wird die Nutzung für Fahrzeuge der Klasse M1 aktuell noch auf Autobahnen bzw. autobahnähnlichen Straßen sowie eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h begrenzt (Stand April 2022). Ist das „Drive Pilot“-System aktiviert, übernimmt das System die Fahraufgabe und entlastet den Fahrer. Außerdem werden dem Fahrer Nebentätigkeiten ermöglicht. [KBA 2021] [BENZ 2021]

Am 23. Februar 2022 wurde der nationale Rechtsrahmen für autonomes Fahren vervollständigt, indem das Bundeskabinett eine Verordnung zum Autonomen Fahren verabschiedet hat. Diese Rechtsverordnung enthält technische Vorschriften und regelt erstmals das Verfahren über die Zulassung von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion zum Straßenverkehr. Ziel ist es auch, dass keine einzelnen technischen Ausnahmegenehmigungen von den jeweiligen Bundesländern mehr notwendig sind. [BMDV 2022]

Bei den aktuellen Entwicklungen im Bereich des Autonomen Fahrens spielt die sogenannte „Technische Aufsicht“ (TA) eine besondere Rolle. Diese muss jederzeit in der Lage sein, bestimmte Fahrmanöver freizugeben oder das Kraftfahrzeug zu deak-

tivieren. Für Situationen, in denen die Algorithmen keine selbstständige Entscheidung treffen können, steht ein Mensch als TA zur Verfügung und kann die Entscheidung mit Zugriff auf die sensorischen Informationen des Fahrzeugs übernehmen. Die TA befindet sich dabei z. B. in einer Leitstelle, die vom Halter des Fahrzeugs bereitgestellt wird. Das eingesetzte Personal für die TA muss zudem bestimmte akademische Anforderungen erfüllen. [TU DRESDEN 2021]

2.3.5 Regelungen zum Einsatz von Drohnen

Gemäß der Durchführungsverordnung 2019/947 der EU-Kommission über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge werden diese in drei Betriebskategorien unterteilt. Die Einstufung in eine Betriebskategorie erfolgt anhand der Eigenschaften und Fähigkeiten eines UAS und hat Auswirkungen auf das Erfordernis von Genehmigungen für Flug und Betrieb sowie die erforderlichen Qualifikationen für den Operator. Die Einordnung in eine Kategorie kann je nach Mission unterschiedlich ausfallen, etwa je nachdem, ob über einer Menschenansammlung geflogen wird. Die Anforderungen beziehen sich auf Bedingungen (z. B. Flug über Menschenansammlungen), bei deren Erfüllung eine Einordnung in mindestens diese Kategorie erfolgt oder auf Grenzen (z. B. Gewicht), deren Überschreitung automatisch zur Einordnung in eine höhere Kategorie führt.

Betriebskategorie	Anforderungen
Offene Kategorie (Open)	Das Gewicht beträgt weniger als 25 kg Betrieb nicht über Menschenansammlungen Die Flughöhe darf 120 m über dem Boden (AGL) nicht überschreiten Betrieb nur in direkter Sichtverbindung (VLOS) Kein Transport von Gefahrgut oder Menschen
Spezielle Kategorie (Specific)	Das Gewicht überschreitet 25 kg Betrieb oberhalb von 120 m AGL oder in speziellen Lufträumen Betrieb außerhalb der direkten Sichtverbindungen (BVLOS)
Zulassungspflichtige Kategorie (Certified)	Der Betrieb erfolgt über Menschenansammlungen Es wird Gefahrgut transportiert Es werden Menschen transportiert

Tab. 2-2: Betriebskategorien für UAS [BMDV 2021c]

Die Rahmenbedingungen zum Flug im Umfeld des Straßenverkehrs werden in § 21h Absatz 3 Nr. 5 LuftVO geregelt. Das geografische Gebiet besteht demnach über und innerhalb eines seitlichen Abstands von 100 Metern zu Bundesfernstraßen.

Ein Betrieb innerhalb des seitlichen Abstands von 100 Metern ist demnach zulässig, wenn

- [...] im Fall eines Überflugs von Bundesfernstraßen [...] der Betrieb in der „speziellen“ Kategorie stattfindet und die besonderen Gefahren des Überflugs von Bundesfernstraßen [...] innerhalb der Risikobewertung nach Artikel 11 der Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 ausreichend berücksichtigt wurden,
- wenn die zuständige Stelle oder der Betreiber der Einrichtungen dem Betrieb des unbemannten Fluggerätes ausdrücklich zugestimmt hat,
- wenn die Höhe des Fluggerätes über Grund stets kleiner ist als der seitliche Abstand zur Infrastruktur und der seitliche Abstand zur Infrastruktur stets größer als 10 Meter ist [...] (Bundesamt für Justiz 14.06.2021)

Auch wenn diese Randbedingungen eingehalten werden, ist eine Betriebsgenehmigung erforderlich. Grundsätzlich können drei verschiedene Erlaubnisse beantragt und ausgesprochen werden:

- Geografische Allgemeinerlaubnis
- Geografische Einzelerlaubnis
- Betriebsgenehmigung nach Artikel 12 der EU-Durchführungsverordnung 2019/947

Für das Aussprechen von Betriebsgenehmigungen ist je nach Bundesland das Luftfahrt-Bundesamt oder die jeweilige Luftfahrtbehörde des Landes zuständig.

2.4 Marktpotenziale im Straßenbetriebsdienst

Der Straßenbetriebsdienst in Deutschland wurde mit Stand 31.12.2018 durch 157 Autobahn-, 27 Misch- und 533 Straßenmeistereien durchgeführt [HANKE 2019]. Mit der Übertragung des Autobahnnetzes zum 01.01.2021 wurden die 27 Mischmeistereien aufgelöst und neu zugeordnet, aktuell verfügt die Autobahn GmbH des Bundes über 178 Meistereien und 14 ständig besetzte Stützpunkte

[Autobahn GmbH 2021]. Hinzu kommen weitere Meistereien privater Dienstleister, die im Rahmen der ÖPP-Projekte Autobahnen betreuen, sowie die Meistereien in Thüringen, wo der Straßenbetriebsdienst für das nachgeordnete Streckennetz privatisiert ist.

Eine standardisierte Ausstattung der Meistereien mit Fahrzeugen und Großgeräten besteht nicht. Einen Anhaltspunkt für die Ausstattung einer durchschnittlichen Autobahnmeisterei mit 70 km Netzlänge gibt jedoch der M 7 Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst: Management der Fahrzeug- und Geräteausstattung für den Straßenbetriebsdienst [BEKORS 2013]. Für die Ausstattung mit fahrbaren Absperrtafeln bzw. Vorwarneinheiten wird der inzwischen veraltete und nicht mehr gültige MK 8 Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst: Ermittlung des Fahrzeug- und Gerätebedarfs für Autobahn- und Straßenmeistereien herangezogen [LFA 2003]. In Tabelle 2-3 sind die hiernach vorgesehene Anzahl je Autobahnmeisterei und daraus hochgerechnet der Bestand in Deutschland zusammengestellt. Für die Fahrzeuge kann von einer Abschreibungsdauer von ca. 10 Jahren, für die Großgeräte von ca. 10 bis 15 Jahren ausgegangen werden. Aufgrund zahlreicher Unfallschäden ist die Lebensdauer der Anhänger für Absicherung und Vorwarnung schwierig abzuschätzen, sie kann überschlägig auch mit maximal 10 Jahren angesetzt werden.

Der Leistungsumfang im Straßenbetriebsdienst ist vielfältig. Er gliedert sich gemäß dem Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen [BMDV 2021d] in folgende sechs Leistungsbereiche:

- LB 1: Bauliche Unterhaltung
- LB 2: Grünpflege
- LB 3: Wartung und Instandhaltung der Straßenausstattung
- LB 4: Reinigung
- LB 5: Winterdienst
- LB 6: Weitere Leistungen

Insgesamt sind 56 Leistungen definiert. Hinzu kommen Tätigkeiten in Autobahnmeistereien, die über den Straßenbetrieb hinausgehen, z. B. im Rahmen der Erhaltung, sowie Kontrolltätigkeiten und Tätigkeiten zur Absicherung. Der Umfang der Leistungsbereiche am gesamten Leistungsspektrum variiert in den Regionen und Meistereien und hängt im Wesentlichen vom Bestand und seiner Ausstattung so-

Fahrzeug/Gerät	je Autobahnmeisterei gemäß M 7 [BEKORS 2013] & MK 8 [LFA 2003]	Hochrechnung für Deutschland (178 AM + 10 ÖPP-Projekte), gerundete Angaben
Lkw > 18 t zul. Gesamtgewicht	6	1.200
Mehrzweck-Geräteträger	1	200
Kleinlastkraftwagen (Kolonnen- und Streckenwartfahrzeug)	7	1.300
Fahrbare Absperrtafeln	6	1.200
Vorwarntafeln	6 (aus Erfahrungswerten abweichend von MK 8)	1.200
Selbstfahrende Kehrmaschine	0,5	100
Leipfostenwaschgerät	1	200
Randstreifenmähergerät	1	200
Auslegermähergerät	1	200
Aufsatzstreugeräte	1 je Lkw oder MzGt	1.400
Schneepflüge (frontangebaut)	1 je Lkw oder MzGt	1.430

Tab. 2-3: Ausstattung der Autobahnmeistereien mit Fahrzeugen, Anhängern und Großgeräten

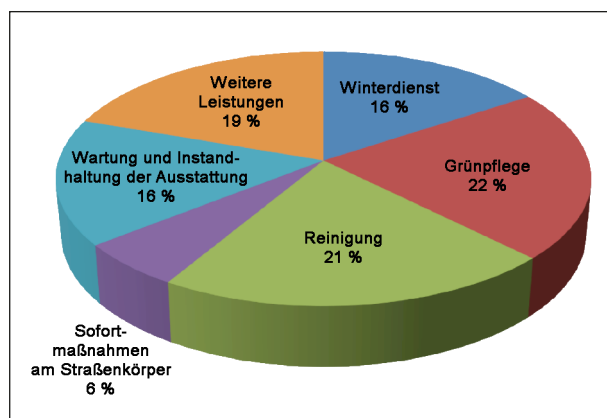


Bild 2-3: Anteile der Leistungsbereiche am Gesamtaufgabenumfang im Straßenbetrieb für Bundesautobahnen, Datengrundlage: BMDV (2020)

wie verkehrlichen und klimatischen Randbedingungen ab. Bild 2-3 macht deutlich, dass die wichtigsten Leistungsbereiche Winterdienst, Grünpflege und Reinigung sind. Bei der Wartung der Straßenausstattung sowie weiteren Leistungen sind bei den Kosten Fremdleistungen und Materialkosten in größerem Umfang zu berücksichtigen. Mit Stand 2016 betragen die Ausgaben für den Betriebsdienst auf Bundesautobahnen 42.700 €/km [HANKE 2019].

2.5 Anforderungen an die sicherheitstechnische Bewertung

Entsprechend der Marktanalyse werden Fahrzeuge/Maschinen aus verschiedenen Marktsegmenten

betrachtet. Es gelten für verschiedene Fahrzeugkategorien teilweise unterschiedliche Sicherheitsnormen mit jeweils angepassten Bewertungsmethoden für die Risikoabschätzung. Durch die Auswahl der jeweils am besten für eine bestimmte Fahrzeugkategorie passenden Bewertungsmethode aus der betreffenden ISO-Norm kann sichergestellt werden, dass die erzielten Ergebnisse praxistgerecht für die jeweiligen Anwendungsfälle sind. Aus der Betrachtung der Unterschiede der einzelnen ISO-Normen kann ergänzend bewertet werden, ob die Einschätzung des Risikopotenzials von der ausgewählten Methodik abhängt und damit eventuell manipulierbar wäre.

Für die in naher Zukunft verpflichtend werdende Cybersecurity-Vorschrift gibt es bislang wenig Erfahrung in allen betroffenen Industriesegmenten. Da die dort beschriebene Methodik eine Fortsetzung und Erweiterung der seit Jahren aus den Sicherheitsnormen bekannten Ansätze darstellt, wird das Zusammenspiel der Anforderungen aus den Perspektiven der Funktionalen Sicherheit und der Cybersecurity in Bezug auf die betrachteten Use Cases in den betroffenen Marktsegmenten bewertet.

2.5.1 Begriffsdefinition Sicherheit und Security

Bei der Entwicklung, der Produktion und dem Betrieb von Fahrzeugen, Arbeitsmaschinen und den jeweiligen Systemen sind verschiedene Sicherheitsaspekte zu beachten.

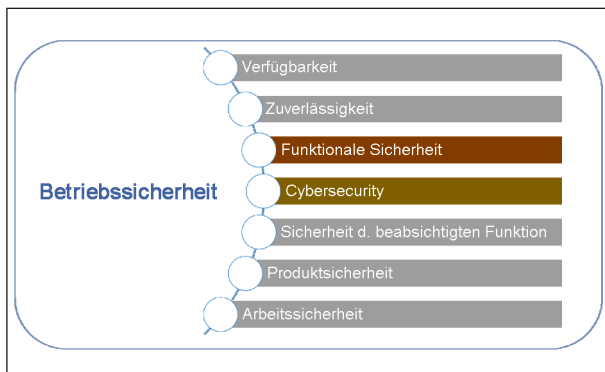


Bild 2-4: Sicherheitsaspekte der Betriebssicherheit

Die Gesamtsicherheit des Fahrzeugs oder Systems, nachdem es der Hersteller an den Endkunden bzw. Betreiber übergeben hat, lässt sich am besten mit dem Begriff „Betriebssicherheit“ zusammenfassen. Ausgehend von diesem Oberbegriff lassen sich folgende Sicherheitsaspekte ableiten, die die Erwartung des Nutzers an einen sicheren Betrieb beschreiben (s. Bild 2-4).

- **Verfügbarkeit:**
Beschreibt die Fähigkeit des Fahrzeugs oder Systems, die vom Benutzer erwartete Funktionalität zum gewünschten Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen.
- **Zuverlässigkeit:**
Beschreibt die Fähigkeit des Fahrzeugs oder Systems, die Verfügbarkeit der Funktionalität über die gesamte Lebensdauer sicherzustellen.
- **Funktionale Sicherheit:**
Fordert die Abwesenheit unverhältnismäßiger Risiken durch Gefahren, die von einer fehlerhaften Funktion eines E/E-Systems ausgehen. Ein E/E-System ist dabei ein System, welches mindestens eine programmierbare Einheit (Steuergerät) enthält. Die Verhältnismäßigkeit eines Risikos wird durch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der daraus resultierenden Schwere der möglichen Folgen bestimmt. (Definition gemäß ISO26262)
- **Cybersecurity in Fahrzeugen:**
Beschreibt den Zustand, in dem die technischen Güter bzw. das technische Kapital (im Original = Asset) ausreichend geschützt sind gegenüber Angriffen auf die elektrischen oder elektronischen Systeme und Funktionen des Fahrzeugs. (Definition gemäß ISO21434)
- **Sicherheit der beabsichtigten Funktion:**
Fordert die Abwesenheit unverhältnismäßiger Risiken durch Gefahren, die von Unzulänglichkeiten der beabsichtigten Funktion oder von vorhersehbarer Fehlbenutzung ausgehen. (Definition gemäß ISO21448 – Safety Of The Intended Functionality – SOTIF)
- **Produktsicherheit:**
Ist der auch in der Gesetzgebung verwendete Begriff für die Forderung, dass ein Produkt nur in den Verkehr gebracht werden darf, wenn es so beschaffen ist, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung oder vorhersehbarer Fehlanwendung Sicherheit und Gesundheit von Verwendern oder Dritten nicht gefährdet werden (§ 4 – Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG)). Der Unterschied zwischen der Produktsicherheit und dem „SOTIF“-Begriff der ISO21448 liegt im Wesentlichen darin, dass der Anwendungsbereich der „SOTIF“ auf elektronische Systeme fokussiert ist, während die Produktsicherheit alles umfasst, also auch jedes rein mechanische System.
- **Arbeitssicherheit:**
Beschreibt die Sicherheit von Beschäftigten bei der Arbeit, also die generelle Reduzierung von Gefahren für die Gesundheit durch die ausgeführte Tätigkeit.

Die im Rahmen des AETAS BAB Projekts durchgeführten Betrachtungen und erarbeiteten Ergebnisse fokussieren vor allem auf die Aspekte Funktionale Sicherheit und Cybersecurity. Alle anderen Aspekte werden am Rande referenziert oder berücksichtigt.

2.5.2 Übersicht der Normen für Funktionale Sicherheit

In verschiedenen Industriesegmente sind unterschiedliche Sicherheitsnormen anzuwenden. Im Folgenden wird als Entscheidungsgrundlage für die Anwendung für das AETAS BAB Projekt eine kurze Übersicht über die wichtigsten Normen gegeben (s. Bild 2-5).

Generell gibt es keine Vorschriften zur Funktionalen Sicherheit in Fahrzeugen, demzufolge wird für eine Typprüfung oder Einzelabnahme eines Fahrzeugs kein Nachweis für die Anwendung der jeweiligen Sicherheitsnorm gefordert. Allerdings wird zukünftig

über die ECE-R155 für Systeme, die sowohl sicherheits-, als auch cybersecurity-relevant sind, indirekt auch die ISO26262 relevant für eine Typprüfung.

• **IEC 61508 2.0:**

Die IEC61508 ist eine übergeordnete Norm, die generell für programmierbare elektrische und elektronische Systeme anwendbar ist. Sie ist geeignet als zusätzliche Referenz für Industrie-segmente, für die eine spezielle Norm existiert, und als Basis für alle Segmente, die nicht durch eigene Normen abgedeckt sind. (Original Titel: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems)

• **ISO 26262:2018:**

Die ISO26262 ist die Norm für sicherheitsrelevante elektronische Systeme für alle Serienfahrzeuge für den Straßeneinsatz.

• **ISO 25119:2018:**

Die ISO25119 ist anzuwenden für Agrar- und Forstraktoren sowie selbstfahrende und gezo-

gene Arbeitsmaschinen für Agrar und Forst. Außerdem ist eine Anwendung für Kommunalfahrzeuge möglich.

• **ISO 13849:2015:**

Die ISO13849 ist eine Sicherheitsnorm für alle Arten von Maschinen und Fertigungsanlagen (z. B. elektrisch, hydraulisch, mechanisch) von geringer oder höherer Komplexität

• **ISO19014:2019:**

Die ISO 19014 ist speziell auf Anforderungen für Baumaschinen zugeschnitten. Da angenommen wird, dass die AETAS BAB Anwendungen keine Baumaschinen enthalten, wird in dieser Recherche nicht weiter auf diese Norm eingegangen.

2.5.3 Übersicht Vorschriften und Normen für Cybersecurity

Einer der wesentlichen Unterschiede zwischen der Cybersecurity und der Funktionalen Sicherheit ist die Tatsache, dass nur die Cybersecurity zukünftig bei Fahrzeugtypprüfungen gefordert wird. Daher gibt es für die Cybersecurity Vorschriften und Rechtsakte, die eine rechtliche Grundlage für die Anwendung der Normen bilden.

Normen definieren in der Regel Prozesse, Methoden sowie Eigenschaften und Ausführungen und machen oft Vorgaben oder Vorschläge für deren Anwendung und technische Umsetzung. Auch wenn Normen oft den Stand der Technik repräsen-

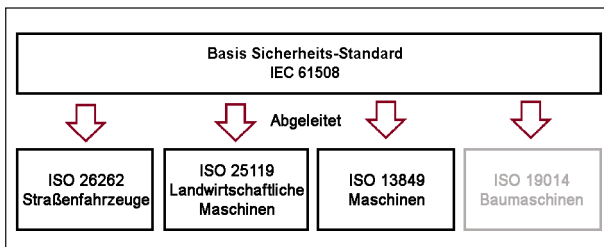


Bild 2-5: Basis Sicherheits-Standard IEC 61508

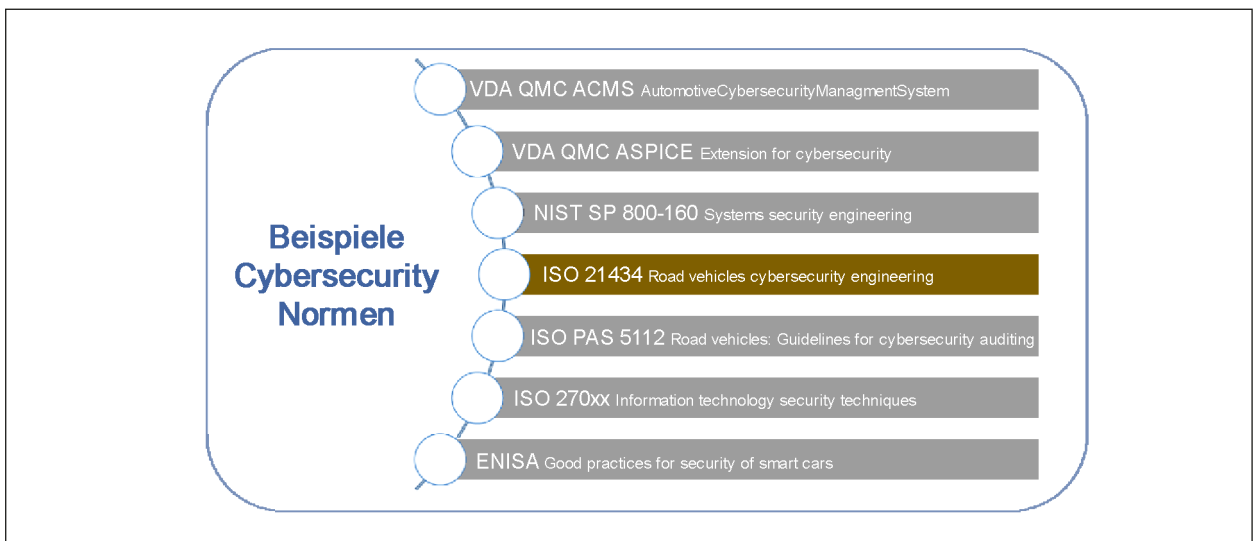


Bild 2-6: Beispiele von Cybersecurity Normen

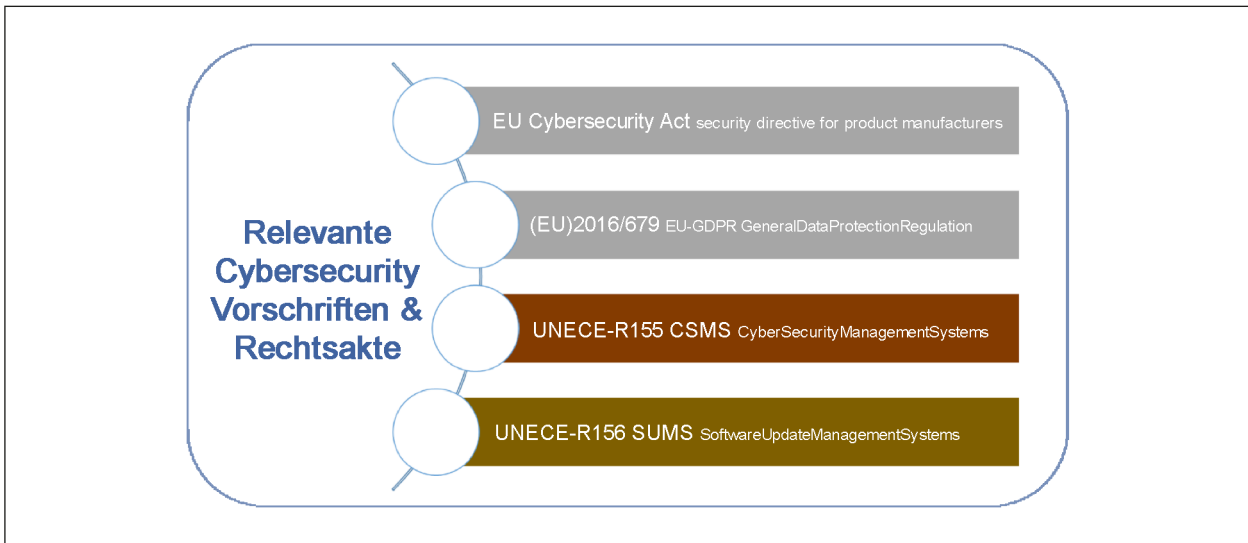


Bild 2-7: Relevante Cybersecurity Vorschriften & Rechtsakte

tieren und deren Einhaltung industrieeüblich ist, sind sie für sich gesehen nicht rechtsverbindlich. Die Kontrolle der korrekten Einhaltung obliegt den beteiligten Unternehmen und wird nicht durch unabhängige Prüforganisationen überwacht. Rechtsverbindlich in ihrer Umsetzung sind nur Vorschriften bzw. Rechtsakte. D. h. ein Produkt oder Fahrzeug darf nur in den Verkehr gebracht werden, wenn durch eine Behörde, auf Basis einer Beurteilung durch eine Prüforganisation, eine Typgenehmigung erteilt wird.

Einer der wesentlichen Unterschiede in der Auswirkung der Anwendung zwischen der Cybersecurity und der Funktionalen Sicherheit, ist die Tatsache, dass es nur für die Cybersecurity Vorschriften gibt, deren Einhaltung zukünftig bei Fahrzeugtypprüfungen nachgewiesen werden muss. Die Cybersecurity Vorschriften und Rechtsakte (s. Bild 2-7), bilden die rechtliche Grundlage für die Anwendung der Cybersecurity-Normen gemäß Bild 2-6.

2.5.4 Betrachtungsgrenzen Funktionale Sicherheit und Cybersecurity

Um das Ziel eines im Sinne der Cybersecurity betriebssicheren Fahrzeugs mit seinen elektronischen Systemen zu erreichen, ist weit mehr als nur das Fahrzeug selbst zu betrachten. Das gilt vor allem und besonders für Fahrzeuge, die im laufenden Betrieb über Drahtloskommunikation mit anderen Systemen vernetzt sind. Von daher stehen die im Rahmen des AETAS BAB Projekts zu betrachtenden Anwendungsfälle auf der höchsten Gefährdungstufe der Cybersecurity.

Die Themen Cybersecurity und Funktionale Sicherheit werden in der Regel primär als Aufgaben in der Verantwortung der Produktentwicklung wahrgenommen. Man ist gewohnt, alle o. g. Aspekte der Betriebssicherheit nahezu ausschließlich als Produkteigenschaften wahrzunehmen, die nur bei der Entwicklung und ggf. auch bei der Produktion besonderer Beachtung bedürfen. Diese Wahrnehmung ist jedoch schon für die Funktionale Sicherheit – und erst recht für die Cybersecurity – nicht ausreichend. Im Folgenden soll skizzenhaft dargestellt werden, welche Bereiche im gesamten Produktlebenszyklus betroffen sind.

Definition Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus beginnt mit der Konzeptphase der Umsetzung der Produktidee und endet mit der erfolgten Entsorgung des letzten Produktexemplars im Feld.

In der ISO26262:2018-2 ist in Kapitel 5.2.1 der Sicherheits-Lebenszyklus beschrieben, der in folgenden Phasen unterteilt wird:

- Konzeptphase
- Produktentwicklungsphase
- Produktion
- Betrieb und Wartung
- Entsorgung

Eine explizite Definition des Cybersecurity-Lebenszyklus ist in der ISO 21434 nicht beschrieben, je-

doch lässt sich aus der Gliederung des Dokuments eine vergleichbare Struktur erkennen:

- Konzeptphase
- Produktentwicklungsphase (umfasst die Produktentwicklung und die Cybersecurity-Validierung)
- Post-Entwicklungsphase (umfasst die Phasen Produktion sowie Betrieb, Wartung und Entsorgung)

Identifikation der betroffenen Unternehmensbereiche

In einer typischen Unternehmensstruktur eines Fahrzeugherstellers oder Systemlieferanten sind also neben der Entwicklungs- und Projektmanagementorganisation auch die für die Unternehmensprozesse zuständige Organisation sowie die Produktion und alle Post-Produktionsbereiche betroffen. Sofern keine eigenen Bereiche für die Funktionale Sicherheit und Cybersecurity geschaffen werden, sind diese Themen oft im Qualitätsmanagement angesiedelt.

2.5.5 Betrachtete Vorschriften und Normen für AETAS BAB

Aus der in Kapitel 2.5.2 und Kapitel 2.5.3 beschriebenen Vielzahl an Vorschriften und Normen sind nur einige für die Entwicklung und Zulassung von Fahrzeugen und deren Systeme relevant. In der Funktionalen Sicherheit ist die ISO26262 am umfangreichsten und am besten geeignet, um Fahrzeuge für den Straßenverkehr zu entwickeln und deren Zulassung zu unterstützen. Bei den anderen Normen steht eher die Arbeitssicherheit des Maschineneinsatzes im Vordergrund und nicht so sehr die Sicherheit der Fahraufgabe. Die Untersuchungen im Rahmen des AETAS BAB Projekts lehnen sich daher nur an die folgenden Werke für die Betrachtungen zur Funktionalen Sicherheit und Cybersecurity an:

Vorschriften

- ECE-R155 CSMS – Cybersecurity Management Systems
- ECE-R156 SUMS – Software Update Management Systems

Normen

- ISO21434 – Road vehicles cybersecurity engineering
- ISO26262 – Road vehicles functional safety

2.5.6 Informationsaustausch zu Cybersecurity innerhalb der Industrie

Eine weitere Besonderheit bei der Entwicklung eines Cybersecurity-relevanten Produkts ist die Tatsache, dass sich die Randbedingungen für ein ausreichendes Niveau an Cybersecurity durch die Weiterentwicklung der Angriffstechniken ständig ändern. Ein Produkt, welches bei der Markteinführung noch einen ausreichenden Schutz aufweisen konnte, kann wenige Monate später schon der Gefahr einer neuen Angriffstechnik ausgesetzt sein.

Da dies ein kollektives Problem der gesamten Industrie ist, sind spezielle Organisationen gegründet worden, die verfügbare Informationen sammeln, bündeln und den betroffenen Unternehmen zur Verfügung stellen. Zu diesen Organisationen gehören u. a.:

- AUTO-ISAC: Automotive Information Sharing and Analysis Center (<https://www.automotiveisac.com>)
- ASRG: Automotive Security Research Group (<https://www.asrg.io/>)
- Upstream (<https://www.upstream.auto/>)

3 Anforderungsanalyse

3.1 Überblick

Auf Basis der Grundlagenrecherche wurden im weiteren Projektverlauf die Anforderungen an den Einsatz automatisierter oder autonomer Technologien im Straßenbetriebsdienst aus Anwendersicht differenziert nach den Leistungsbereichen zusammengestellt. Diese Zusammenstellung wurde mit ausgewählten Experten im Rahmen eines Anwenderworkshops diskutiert. Schwerpunkt hierbei war die operative Ebene, z. B. die Meistereileitung. Durch diese Anforderungsanalyse wurden die eher auf theoretischer Ebene gewonnenen Erkenntnisse der Grundlagenrecherche schon in einer frühen Projektphase mit den Erfahrungen aus der Praxis abgeglichen.

3.2 Vorbereitungen für den Anwenderworkshop

Im Rahmen des Anwenderworkshops wurde mit mehreren Anwendern aus unterschiedlichen Autobahnmeistereien ein breites Meinungsbild erhoben. Über die Autobahn GmbH wurden im Vorfeld Einladungen an unterschiedliche Autobahnmeistereien in ganz Deutschland verschickt. Ziel war es, ein repräsentatives Gesamtbild zu erhalten. Die Rückmeldungen bzw. Teilnahmebereitschaft war dabei sehr positiv und übertraf die Erwartungen des Projektteams.

Im Vorfeld des Workshops wurden die Leistungsbe-
reiche bzw. -positionen des Straßenbetriebsdien-
stes auf Basis des Leistungshefts für den Straßenbe-
trieb auf Bundesfernstraßen (Ausgabe 2021) [BMDV 2021d] identifiziert und in einer Exceltabelle
aufgeführt. Diese Tätigkeitsfelder wurden um die
Bereiche Absicherung und Kontrollen ergänzt, die
zum Tätigkeitsumfang der Autobahnmeistereien ge-
hören, aber nicht im Leistungsheft enthalten sind.
Zu den Bundesfernstraßen gehören sowohl Bun-
desautobahnen als auch Bundesstraßen. Da sich
im Projekt AETAS BAB die Potenzialanalyse aus-
schließlich auf Bundesautobahnen bezieht, wurde
eine Vorauswahl hinsichtlich der Straßenkategorie
getroffen.

Die Tätigkeiten der Autobahnmeistereien auf Bun-
desautobahnen wurden anschließend nach weite-

ren Bewertungskriterien strukturiert. Zum Teil sind
Tätigkeiten vorhanden, die sehr speziell und oft-
mals individuell stattfinden, wie z. B. die Bekämp-
fung von Problempflanzen und gesundheitsgefähr-
denden Insekten oder die Wartung von steinschlag-
gefährdeten Felshängen. Derartige Tätigkeiten sind
in der Tabelle als nicht relevant deklariert. Zwei wei-
tere Bewertungskriterien sind das Automatisie-
rungs- und das Gefährdungspotenzial. Hierbei wer-
den die Ausprägungen niedrig, mittel und hoch un-
terschieden. Im Rahmen des Projekts sind die Be-
reiche besonders interessant, die sowohl ein hohes
Gefährdungspotenzial als auch ein hohes Automati-
sierungspotenzial aufweisen.

Die gesamte Tabelle kann im Anhang 4: Liste mit
Tätigkeiten der Autobahnmeistereien eingesehen
werden.

3.3 Durchführung und Dokumentation des Anwenderworkshops

Aufgrund der Situation bzgl. der COVID-19-Pande-
mie wurde der Anwenderworkshop online als Video-
konferenz durchgeführt. Neben dem Projektteam
waren MA der Autobahn GmbH und der BAST, so-
wie 13 MA, welche die Sicht von 16 verschiedenen
Autobahnmeistereien (Tabelle 3-1) eingebracht ha-
ben, vertreten.

Autobahnmeisterei	Bundesland	Niederlassung	Zuordnung
AM Braunschweig-Hafen	Niedersachsen	Niederlassung Nordwest	Niederlassung Nordwest (Hannover)
AM Erkner	Brandenburg	Niederlassung Nordost	Niederlassung Nordost (Stolpe)
AM Erlangen	Bayern	Niederlassung Nordbayern	Außenstelle Fürth
AM Heiligenroth	Rheinland-Pfalz	Niederlassung West	Niederlassung West (Montabaur)
AM Hittfeld	Niedersachsen	Niederlassung Nord	Niederlassung Nord (Hamburg)
AM Hönebach	Hessen	Niederlassung Nordwest	Außenstelle Fulda
AM Lengerich	Nordrhein-Westfalen	Niederlassung Westfalen	Niederlassung Westfalen (Hamm)
AM Michendorf	Brandenburg	Niederlassung Nordost	Niederlassung Nordost (Stolpe)
AM Münster	Nordrhein-Westfalen	Niederlassung Westfalen	Niederlassung Westfalen (Hamm)
AM Oberthulba	Bayern	Niederlassung Nordbayern	Außenstelle Würzburg
AM Oelde	Nordrhein-Westfalen	Niederlassung Westfalen	Niederlassung Westfalen (Hamm)
AM Osnabrück	Nordrhein-Westfalen	Niederlassung Westfalen	Außenstelle Osnabrück
AM Plauen	Sachsen	Niederlassung Nordbayern	Außenstelle Bayreuth
AM Rottweil	Baden-Württemberg	Niederlassung Südwest	Außenstelle Freiburg
AM Rünigen	Niedersachsen	Niederlassung Nordwest	Niederlassung Nordwest (Hannover)
AM Rüsselsheim	Hessen	Niederlassung West	Außenstelle Wiesbaden

Tab. 3-1: Liste der Autobahnmeistereien im Rahmen des Anwenderworkshops

Im Workshop wurden folgende Aspekte, sortiert nach den unterschiedlichen Leistungsbereichen und Tätigkeitsfeldern des Straßenbetriebsdiensts, diskutiert.

Generelle Bemerkungen und Anforderungen

- Die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen (MA) in den Meistereien sind zwischen 15 und 65 Jahre alt. Einige MA fühlen sich abgehängt. Der Fortschritt bzw. die Veränderungen sind enorm. Die Technik, insbesondere die Bedienung, sollte intuitiv und herstellerübergreifend möglichst einheitlich sein, z. B. durch Standardisierung bzw. Harmonisierung von Bediengeräten.
- Durch den technischen Fortschritt wird der Arbeitsplatz von der Straße vor den Bildschirm verlagert. Wie verändert sich dabei das Tätigkeitsfeld eines Straßenwärters?
- Automatisierte/Autonome Systeme/Fahrzeuge müssen zum jeweiligen Betriebsdienst und zu den jeweiligen MA passen.
- Automatisierte/Autonome Systeme/Fahrzeuge müssen robust sein und sich ggf. schnell reparieren lassen. Folgende Fragen sollten dabei beachtet werden: Wie hoch sind die Ausfallzeiten? Wie hoch sind die Ausfallwahrscheinlichkeiten? Werden für eine Reparatur IT-Spezialisten benötigt?
- Grundsätzlicher Ansatz: Schritt-für-Schritt-Entwicklungen und -Automatisierungen für einzelne Aspekte.
- Statt einer Mobilfunkverbindung zu den Systemen sollte besser eine direkte Funkverbindung für bestimmte Situationen und Entfernungen bestehen.
- Rechtliche Aspekte: Wer haftet bei Unfällen oder Fehlern?
- An- und Abkoppeln von Anhängern sollte automatisiert werden, damit nicht ein- und ausgestiegen werden muss.
- Es geht nicht nur um neue Anwendungen, sondern auch darum, was es auf dem Markt bereits gibt und evtl. modifiziert werden kann.
- Bei extremem Schneefall wird für die Spurführung z. B. von Schneefräsen GPS verwendet. Hierfür ist gutes Kartenmaterial notwendig und wünschenswert. Evtl. kann auch Differential

GPS für genauere Ortung für bestimmte Einsatzzwecke verwendet werden.

- Ein robustes und ausfallsicheres Mobilfunknetz ist in vielerlei Hinsicht wünschenswert (nicht Schwerpunkt des Projekts).
- Ein einheitliches Programm für die Einsatzdatenerfassung ist für Deutschland wünschenswert (nicht Schwerpunkt des Projekts).
- Für schmale Standstreifen sind schmale Fahrzeuge/Geräte notwendig, damit der rechte Fahrstreifen nicht gesperrt werden muss.
- Markierungsarbeiten, die in der Nähe des fließenden Verkehrs stattfinden, sollten mit einem ferngesteuerten Gerät durchgeführt werden (z. B. mit einer Funk- oder Kabelverbindung). Der MA kann sich somit außerhalb des Gefahrenbereichs aufhalten. Statt einer Vollsperrung ist dann evtl. nur eine Teilsperre notwendig, es bedarf möglicherweise keiner großen Geschwindigkeitsbeschränkung (für Baufirmen interessant). Evtl. ist das nicht nur für Markierungsarbeiten, sondern auch für andere Arbeiten interessant (Abgleich mit ASR 5.2).

Leistungsbereich 1 – Bauliche Unterhaltung

Nach der Vorauswahl, gemäß der Bewertungskriterien aus Kapitel 3.2, wurden in diesem Leistungsbereich folgende Leistungspositionen als relevant identifiziert:

- Schäden an Fahrbahnen beseitigen

Hierzu gab es im Workshop folgende Anmerkungen:

- Ein automatischer Leitpfosten-setzer ist sinnvoller als ein Road Repair Patcher, da bei Straßenreparaturen oftmals noch manuelle Tätigkeit notwendig ist.

Leistungsbereich 2 – Grünpflege

Nach der Vorauswahl, gemäß der Bewertungskriterien aus Kapitel 3.2, wurden in diesem Leistungsbereich folgende Leistungspositionen als relevant identifiziert:

- Bankette, Gräben und Mulden mähen
- Mittel- und Trennstreifen zwischen Fahrbahnen mähen

- Sichtfelder im Bereich von Knotenpunkten mähen
- Erholungs- und Aufenthaltsflächen mähen
- Rasenflächen im Extensivbereich mähen
- Rückhalte-, Absetz- und Versickerungsbecken mähen
- Gehölze im Straßenrandbereich zurückschneiden
- Gehölze in Mittel- und Trennstreifen zwischen Fahrbahnen zurückschneiden
- Gehölze außerhalb des Straßenrandbereiches pflegen

Hierzu gab es im Workshop folgende Anmerkungen:

- Ein autonomer oder ferngesteuerter Mähroboter wäre sinnvoll. Eine Entwicklung ist sehr wahrscheinlich herausfordernd. Daher sollten diese Systeme intuitiv bedienbar und die Einrichtung ohne IT-Fachkräfte möglich sein.
- Bei Einsatz von Mährobotern müssen die Anforderungen in Bezug auf Umweltschutz beachtet werden (Tendenz zum einmaligen Mähen im Jahr mit einem Balkenmäher). Hierzu wurde ein Test beim ASTRA im Kanton Zürich gemacht.

Leistungsbereich 3 – Wartung und Instandhaltung der Straßenausstattung

Nach der Vorauswahl, gemäß der Bewertungskriterien aus Kapitel 3.2, wurden in diesem Leistungsbereich folgende Leistungspositionen als relevant identifiziert:

- Verkehrszeichen warten und instand halten
- Leitpfosten und Stationierungszeichen instand halten
- Passive Schutzeinrichtungen instand halten
- Wild- und Amphibienschutzanlagen instand halten
- Lichtsignalanlagen (LSA) und Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) warten und instand halten
- Beleuchtungsanlagen warten und instand halten
- Betriebstechnische Anlagen in und an Tunneln warten und instand halten

Hierzu gab es im Workshop folgende Anmerkungen:

- Mit automatischen Leitpfostensetzern ist nur eine geringe Arbeitsgeschwindigkeit möglich. Wenn mit einem derartigen System die Sicherheit für den MA jedoch erhöht wird, ist ein geringerer Arbeitsfortschritt vertretbar.

Leistungsbereich 4 – Reinigung

Nach der Vorauswahl, gemäß der Bewertungskriterien aus Kapitel 3.2, wurden in diesem Leistungsbereich folgende Leistungspositionen als relevant identifiziert:

- Fahrbahnen kehren
- Verkehrsflächen im Bereich von Rastanlagen kehren
- Verkehrsbehindernde oder -gefährdende Verschmutzungen auf Verkehrsflächen beseitigen
- Straßenrinnen, befestigte Straßenmulden und -gräben und Straßenabläufe reinigen
- WC-Anlagen von Rastanlagen reinigen
- Tunnel reinigen
- Verkehrszeichen reinigen
- Leitpfosten reinigen
- Abfälle und Müllablagerungen entlang der Strecke einsammeln
- Abfälle und Müllablagerungen auf Rastanlagen einsammeln

Hierzu gab es im Workshop folgende Anmerkungen:

- Um Entwässerungseinrichtungen zu reinigen, wären ein automatisiertes Anheben der Schachtdedeckel bzw. Ablaufdeckel sowie eine automatisierte Leerung der Eimer sinnvoll. Es gibt bereits derartige Systeme auf dem Markt, die aber nicht praktikabel sind.
- Selbstreinigende WCs: ASFINAG hat Untersuchungen zu selbstreinigenden Toiletten gemacht und festgestellt, dass der Reinigungsvorgang zu lange dauert.
- Eine automatische Leitpfostenreinigung wäre sinnvoll.

Leistungsbereich 5 – Winterdienst

Nach der Vorauswahl, gemäß der Bewertungskriterien aus Kapitel 3.2, wurden in diesem Leistungsbereich folgende Leistungspositionen als relevant identifiziert:

- Fahrbahnen streuen
- Sonstige Verkehrsflächen streuen
- Fahrbahnen räumen und streuen
- Sonstige Verkehrsflächen räumen und streuen

Hierzu gab es im Workshop folgende Anmerkungen:

- Die Bedienung von einem Seitenflügel ist im Winterdienst sehr belastend für den MA, Entwicklungen wie im Projekt «Semi Autonomous Road Maintenance Truck von Arctic» werden begrüßt. Es sollten mehr Fahrzeuge und mehr Personal im Einsatz sein, damit die Anzahl der gleichzeitig ausgeführten Tätigkeiten für den einzelnen MA reduziert werden kann.

Kontrollen

Nach der Vorauswahl, gemäß der Bewertungskriterien aus Kapitel 3.2, wurden in diesem Tätigkeitsbereich folgende Tätigkeiten als relevant identifiziert:

- Bauwerkskontrolle
- Streckenkontrolle
- Baumkontrolle

Hierzu gab es im Workshop folgende Anmerkungen:

- Bei Einsatz von Drohnen bei der Baumkontrolle wäre die automatisierte Auswertung von Luftbildern denkbar (Erkennen von geschädigten Bäumen, Erkrankungen, Herkulesstaude bzw. Riesenhornklausen).
- Drohneneinsätze können auch einen Mehrwert bei Bauwerksbeobachtungen bieten. Dadurch können Luftbilder miteinander verglichen und Veränderungen ausgewertet werden (Abplatzungen, Bewegungen, Ausspülungen usw.).
- Der Drohneneinsatz ist bei einigen AM jedoch schwierig, da Flughäfen in der Nähe sind. Ein Praxistest mit einer Drohne bei einer AM ergab, dass aus rechtlichen Gründen nur neben der Autobahn geflogen werden darf. Drohnen sind bei

punktuellen Beobachtungen sinnvoll, vorausgesetzt, die Auswertung erfolgt automatisiert. Auch automatisierte, regelmäßige Flüge sind denkbar.

- Bei Streckenkontrollen werden oft parallel Wartungsarbeiten oder ähnliche Tätigkeiten durchgeführt.

Absicherung

- Unfälle finden nicht nur auf dem Seitenstreifen, sondern auch auf dem 1. oder 2. Fahrstreifen statt. Ein autonom fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Fahrstreifen wäre sinnvoll (aFAS für Fahrstreifen). Wanderbaustellen befinden sich aber am häufigsten auf dem Seitenstreifen.
- Ein Absicherungsfahrzeug, welches automatisiert Warnschwellen legen oder Leitkegel setzen kann (ähnlich wie bei X CONE oder Coner von der Firma Senn) ist bereits in der Testphase in der AM Rottweil oder im Kanton Zürich.
- Automatisiertes Aufstellen von Vorwarnern (ähnlich wie das System von Nissen). Bei der Absicherung z. B. eines Unfalls, werden für das Aufstellen von Vorwarnern häufig mehr MA benötigt als verfügbar sind. Eine Automatisierung wäre sinnvoll. Beispiel: Das System koppelt selbst ab, fährt rückwärts, stellt die Vorwarner auf und koppelt selbst wieder an.

4 Use Case Erstellung und Klassifikation

4.1 Überblick

Auf den Ergebnissen der Grundlagenrecherche und Anforderungsanalyse aufbauend, werden für verschiedene Leistungsbereiche des Straßenbetriebsdienstes Use Cases für den Einsatz autonomer/automatisierter Technologien erstellt. Hierbei werden unterschiedliche Einsatzbereiche abgedeckt. Um eine weitergehende Bewertung der Use Cases zu ermöglichen, werden neben dem Prozessablauf auch Kernkomponenten und Funktionen definiert sowie jeweils eine Grobeinschätzung des Risikopotenzials und hinsichtlich Cybersecurity durchgeführt. Anmerkungen, die im Expertenworkshop (Kapitel 5) zu den einzelnen Use Cases gemacht wurden, sind hier bereits mit aufgenommen.

4.2 Schneeräumen mit einem autonom agierenden Seitenpflug

Use Case Nummer	1
Use Case	Schneeräumen mit einem autonom agierenden Seitenpflug
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	Winterdienst – Räumen und Streuen der durchgehenden Fahrbahnen
Kurzbeschreibung	Während der Schneeräumung wird der Seitenpflug vom Fahrer aktiviert. Das System passt den Seitenpflug anschließend gemäß Fahrbahnbreite und Hindernissen (Verkehr) selbstständig an (Ein- und Ausklappen, Heben und Senken bei Hindernissen).
Zielsetzung/Nutzen	Reduzierung der Kontroll- und Steuerungstätigkeiten während der Fahrt, Entlastung des Fahrers, Verzicht auf den Beifahrer.
Akteure	Fahrer des Winterdienst-Lkw
Auslöser/Trigger	Schnee auf der Autobahn, Einsatzauslösung, Aktivierung des Seitenpflugs.
Vorbedingungen	Fahrzeug auf der Richtungsfahrbahn mit Räumgeschwindigkeit (max. 60 km/h, i. d. R. bis 45 km/h)
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzauslösung • Fahrt zur Einsatzstelle • Aktivierung des Seitenpflugs • Deaktivierung des Seitenpflugs
Nachbedingungen	Seitenpflug eingeklappt
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> • Entscheidung über Seitenpflugeinsatz (Aktivierung, Deaktivierung) wird vom Fahrer getroffen. • Warnung des Fahrers bei Hindernissen, kein Eingriff in die Aktorik des Fahrzeugs.
Spezielle Anforderungen	Zuverlässige Hinderniserkennung (Fahrzeuge, Einbauten etc.) auch bei Schneefall durch Lidar, Radar, Kamera, etc. ggf. auch hochgenaue Positionierung und hochgenaue Karten zur Abbildung ortsfester Hindernisse.
Häufigkeit	Unregelmäßig i. d. R. in den Wintermonaten, wetterabhängig. Pauschale Abschätzung: 178 AM'en x 2 bis 3 Räumstaffeln x 2 Fahrzeuge = ca. 1.000 Fahrzeuge 50 Räumumläufe p. a. x 3 h/Räumumlauf = 150 h je Fahrzeug
Nutzenpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Entlastung des Fahrers durch Reduktion der Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten im Lkw. • Verzicht auf den Beifahrer, sodass Personal im regulären 3-Schicht-Betrieb fahren kann. • Erhöhung der Räumqualität durch ausreichendes Personal.
Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	Gefährdung des Fahrers und anderer Verkehrsteilnehmer, falls ungewolltes Ein- oder Ausklappen des Seitenpflugs im Fehlerfall auftritt. Sowohl systematische Fehler als auch elektronische Bauteilausfälle könnten bei unkontrollierter Bewegung des Seitenpflugs zu Kollisionen führen. Sicherer Zustand: Seitenpflug eingeklappt.
Grobeinschätzung Cybersecurity	Da die Steuerung des Seitenpflugs nur durch den Fahrer erfolgt, besteht kein Manipulationsrisiko über eine Drahtlosschnittstelle. Generelle Risiken hängen von der elektronischen Architektur und den Systemschnittstellen ab. Risiko durch Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich.
Vorhandener Umsetzungsgrad	Pilot in Finnland 2017, aber nicht auf Autobahn unter deutschen Bedingungen
Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> • Ausreichende Zuverlässigkeit der Sensorik zur Hinderniserkennung bei Schneefall, insbesondere Lidar • Technische Komponenten vorhanden, Zuverlässigkeit ist offen, umfassende Testphase notwendig • Umsetzungszeitraum: mittel (mind. 5 Jahre) • Umsetzungsaufwand: relativ niedrig, wg. Teilautomatisierung
Referenzen	Semi Autonomous Road Maintenance Truck von Arctic (Aebi Schmidt Group), s. Factsheet 01
Anmerkungen aus der Breakout Session	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktionszeit des Pfluges ist zu berücksichtigen. • Assistenzsystem vs. Autonomes System. • Ausstattung der Fahrzeuge mit Sensorik, nicht nur Seitenpflug. • Arbeitsgeschwindigkeit ist wahrscheinlich deutlich geringer wegen Einschränkungen durch die Hydraulik; zumeist 45 – 50 km/h. System sollte aber auch auf 60 km/h ausgelegt sein, um ausreichend robust zu sein. • Der Auslieferer des Fahrzeugs übernimmt Verantwortung für die Sicherheit des Systems, um eine Straßenfreigabe zu erhalten. • System sollte robust und leicht zu bedienen sein sowie wenig Betreuungsaufwand während der Fahrt erfordern, da der Straßenwärter sich wegen widriger Witterungsbedingungen auf die Straße konzentrieren muss.

4.3 Fahrerloses Schneeräumen im Flotteneinsatz

Use Case Nummer	2
Use Case	Fahrerloses Schneeräumen im Flotteneinsatz
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	Winterdienst – Räumen und Streuen der durchgehenden Fahrbahnen
Kurzbeschreibung	In einer Räumstaffel ist nur das erste Fahrzeug mit einem Fahrer besetzt. Das/die weiteren Fahrzeuge folgen dem Führungsfahrzeug autonom. An- und Abfahrt zur Einsatzstrecke erfolgen als Konvoi, in dem die Folgefahrzeuge dem Führungsfahrzeug folgen. Führungsfahrzeug und Folgefahrzeuge räumen und streuen.
Zielsetzung/Nutzen	Ausreichendes Personal für den regulären Einsatz von Räumstaffeln im Drei-Schicht-Betrieb
Akteure	Fahrer des Winterdienst-Lkw
Auslöser/Trigger	Schnee auf der Autobahn, Einsatzauslösung durch Einsatzleiter
Vorbedingungen	Fahrzeuge mit Streustoff beladen in der Meisterei oder in einem Stützpunkt
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatzauslösung aufgrund Schneefalls • Fahrer Führungsfahrzeug aktiviert Fahrzeuge der Räumstaffel über Fernsteuerung im Modus „Folgefahrt“ • Führungsfahrzeug und Folgefahrzeuge fahren auf dem rechten Fahrstreifen im Verbund (Platoon) bzw. mit elektron. Deichsel zum Einsatzort • Fahrer Führungsfahrzeug aktiviert Modus „Räumstaffel“ und wechselt auf den linken Fahrstreifen, Folgefahrzeuge erhöhen Abstand und wechseln auf die weiteren Fahrstreifen • Fahrer Führungsfahrzeug steuert Führungsfahrzeug und Winterdienstgeräte, Folgefahrzeuge übernehmen Streuereinstellung, folgen mit festem Abstand, reagieren aber autonom auf Hindernisse und passen ggf. Räumbreite und Spurverhalten an • Fahrer Führungsfahrzeug beendet Modus „Räumstaffel“ und startet Modus „Folgefahrt“, wechselt auf den rechten Fahrstreifen, Folgefahrzeuge wechseln auf den rechten Fahrstreifen und schließen für Folgefahrt auf • Führungsfahrzeug und Folgefahrzeuge fahren auf dem rechten Fahrstreifen im Verbund (Platoon) bzw. mit elektronischer Deichsel zurück zur Meisterei
Nachbedingungen	Fahrer des Führungsfahrzeuges deaktiviert über Fernsteuerung Fahrzeuge der Räumstaffel.
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> • Führungsfahrzeug wird durch den Fahrer gefahren • Keine Fernüberwachung
Spezielle Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Hochautomatisiertes Fahren (Level 4) bis 65 km/h und Platooning marktreif • Sensorik zur Umfeld- und Hinderniswahrnehmung auch bei Schneefall, schneebedeckter Fahrbahn, Dunkelheit
Häufigkeit	Unregelmäßig i. d. R. in den Wintermonaten, wetterabhängig. Pauschale Abschätzung: 178 AM'en x 2 Räumstaffeln = ca. 350 Folgefahrzeuge 50 Räumumläufe p. a. x 3 h/Räumumlauf = 150 h je Fahrzeug
Nutzenpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Personalbedarf für Räumstaffeln sinkt, MA können im regulären 3-Schicht-Betrieb eingesetzt werden. • Erhöhung der Räumqualität, da immer gesamte Fahrbahn geräumt werden kann, auch bei reduzierter Personalverfügbarkeit.
Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer, bei Kontrollverlust über das Folgefahrzeug. Sehr hohe Schadensschwere und lebensbedrohliche Verletzungen wahrscheinlich, wenn das Folgefahrzeug ungewollt die Fahrspur verlässt. Sowohl systematische Fehler, Bauteilausfälle als auch fehlerhafte Kommunikation könnten zu unkontrolliertem Verhalten führen. Sicherer Zustand: Stillstand auf dem Fahrstreifen (alternativ: Stillstand auf dem Seitenstreifen → Autonomer Fahrstreifenwechsel notwendig)
Grobeinschätzung Cybersecurity	Da die Steuerung des Folgefahrzeugs autonom und über eine Drahtlosschnittstelle erfolgt, besteht ein hohes Manipulationsrisiko. Die Positions- und Richtungsinformationen für das Folgefahrzeug sind besonders abzusichern. Risiko durch Empfang/Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich.
Vorhandener Umsetzungsgrad	Pilot auf Flugbetriebsfläche bei sommerlichen Bedingungen

Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> • Platooning und Level 4 für Geschwindigkeiten bis 65 km/auf BAB • Zuverlässige Sensorik für Hinderniserkennung bei Schneefall • Umsetzungszeitraum: lang • Umsetzungsaufwand: hoch • Rechtliche Abklärung: wer haftet?
Referenzen	AXYARD von Daimler/AEBI für den Einsatz auf Flugbetriebsflächen, s. FactSheet Nr. 05
Anmerkungen aus der Breakout Session	<p>Besondere Herausforderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sehr unterschiedliche Konstellationen je nach Autobahn (2-, 3-, 4-streifig): Front-/Seitenpflüge. • Ein Fahrer muss sich um mehrere Fahrzeuge kümmern und hat auch die Verantwortung für die gesamte Staffel (u. a. Problem mit Haftung). • Andere Verkehrsteilnehmer überholen ggf. zwischen den Fahrzeugen. • Verantwortung für den Fahrer zu hoch, muss bereits sein eigenes Fahrzeug angemessen kontrollieren, hat wenig Kapazitäten für zusätzliche Kontrollen, überfordernd für einen Fahrer. • Äußere Bedingungen ohnehin problematisch; Staffel ist im laufenden Verkehr unterwegs. • Personal wird ohnehin zum Beladen und zur Einsatzvorbereitung benötigt. • Wichtige Rückmeldung aus der Praxis: Use Case wird als nicht oder nur sehr schwer realisierbar eingeschätzt.

4.4 Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug

Use Case Nummer	3
Use Case	Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Absicherung auf Fahrstreifen für vorausfahrende Arbeitsfahrzeuge auf dem Fahrstreifen oder Standstreifen. • Orientierung an Markierung etc. oder anderem Fahrzeug? → Frage nach technischer Ausgestaltung. • Grundsatzfrage: Lokale Verantwortung oder zentrale Steuerung durch qualifizierten Fahrzeugführer?
Kurzbeschreibung	<p>Erweiterung aFAS durch Einsatz auf Fahrstreifen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz bei mobilen Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD): autonomer Auf- und Abbau sowie autonome Fahrgang hinter einem Führungsfahrzeug, • Einsatz bei stationären AkD: autonomer Auf- und Abbau.
Zielsetzung/Nutzen	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsgewinn für das Betriebsdienstpersonal, da keine Fahrer im Absperrfahrzeug und kein Ein- und Aussteigen auf der Fahrbahn mehr notwendig sind. • Personal kann andere Aufgaben übernehmen → Effizienzgewinn.
Akteure	Fahrer Absperrfahrzeug und Fahrer Arbeitsfahrzeug
Auslöser/Trigger	Alle Arbeitsstellen, bei denen Fahrstreifen abgesperrt werden müssen, insbesondere Reparatur von Fahrbahnschäden, Arbeiten am Mittelstreifen, Arbeiten am Bankett, bei nicht ausreichender Seitenstreifenbreite (in der Praxis wird bis 3 m der rechte Fahrstreifen gesperrt).
Vorbedingungen	AkD kann aufgrund der Verkehrs- und Witterungssituation eingerichtet werden.
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Modus Manueller Betrieb: Nicht-autonome Fahrt von Arbeitsfahrzeug und Absperrfahrzeug an Übergabestelle im Vorfeld der AkD (Parkplatz, Betriebsumfahrt etc.), die ein sicheres Verlassen des Fahrzeugs erlaubt. • Modus Gekoppelter Betrieb: Absperrfahrzeug folgt dem Führungsfahrzeug im Verbund (elektron. Deichsel) auf dem 1. Fahrstreifen mit 60 km/h. • Modus Folgebetrieb (max. 10 km/h): An der AkD entfernt sich das Arbeitsfahrzeug auf den Regelabstand (50 bis 100 m), Absperrfahrzeug bleibt stehen (stationäre AkD) oder folgt dem Arbeitsfahrzeug (mobile AkD). • Wechsel der beiden Modi bis zum Ende des Einsatzes, Übernahme des Absperrfahrzeugs an Übergabestelle durch Fahrer oder Abstellen.

Nachbedingungen	Absperrfahrzeug befindet sich im sicheren Zustand, autonome Funktion deaktiviert
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> Keine autonome An- und Abfahrt auf BAB. Kein Einsatz im nachgeordneten Netz bei Querverkehr, Fußgänger, Radfahrer. Keine Fernüberwachung oder -steuerung.
Spezielle Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> Hochautomatisiertes Fahren (Level 4) bis 65 km/h und Platooning marktreif, insbesondere Überquerung der Anschlussstellen; hierfür Anforderung an Sensorik (Beobachtung Verkehr auf Zufahrts-/Einfädelsstreifen), Arbeitsstellen bei Dunkelheit, Ausreichende Qualifikation Betriebspersonal.
Häufigkeit	Pauschale Abschätzung: 178 AM'en x 2 AkD pro Werktag x 250 Werkstage = ca. 100.000 Einsätze p. a. in Deutschland
Nutzenpotenzial	Sicherheitsgewinn für Betriebsdienstpersonal, Fahrer Absperrfahrzeug kann temporär für andere Arbeiten eingesetzt werden.
Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	<ul style="list-style-type: none"> Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer oder der am Betrieb der AkD beteiligten Personen, bei Kontrollverlust über das Folgefahrzeug. Sehr hohe Schadensschwere und lebensbedrohliche Verletzungen wahrscheinlich, wenn das Folgefahrzeug ungewollt die Fahrspur verlässt und ggf. in den laufenden Verkehr gerät. Sowohl systematische Fehler, Bauteilausfälle als auch fehlerhafte Kommunikation könnten zu unkontrolliertem Verhalten führen. Auch Fehler bei der Umschaltung der Betriebsmodi sind risikobehaftet. Sicherer Zustand: Stillstand auf dem Fahrstreifen. Transponder der MA könnte zu weit entfernt sein (Verweis MOSAIK).
Grobeinschätzung Cybersecurity	Da die Steuerung des Folgefahrzeugs autonom und über eine Drahtlosschnittstelle erfolgt, besteht ein hohes Manipulationsrisiko. Die Positions- und Richtungsinformationen für das Folgefahrzeug sind besonders abzusichern. Risiko durch Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich. Bei Steuerung über GNSS-Koordinaten sind diese ebenfalls gegen Manipulation abzusichern. Zugangs- und Inbetriebnahmeberechtigungen sind abzusichern.
Vorhandener Umsetzungsgrad	<ul style="list-style-type: none"> System aFAS bietet die Funktionalität, aber nur bis 12 km/h und nur für das Befahren des Seitenstreifens.
Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> Datenerfassung Arbeitsbereiche, Arbeitsabläufe Platooning und Level 4 für Geschwindigkeiten bis 65 km/h auf BAB Umsetzungszeitraum: lang Umsetzungsaufwand: mittel
Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> Projekt aFAS
Anmerkungen aus der Breakout Session	<ul style="list-style-type: none"> Sollte das Fahrzeug auch Personen folgen können? → Arbeitsfahrzeug kann auch Personengruppe sein (mind. 100 m von Stirn des Arbeits-FZ entfernt sein), einzelne Tätigkeiten sind zusätzliche Anwendungsprozesse des eigentlichen Arbeitsprozesses. Forschungsprojekt MOSAIK → Arbeitsbereiche verorten, Georeferenzierung dieser Punkte denkbar. Digitaler Zwilling der Strecke als Voraussetzung (Bsp: Fahrzeug weiß, wo es sich einfädeln kann...). (Mobilfunk-)Netz? → Grundsatzfragen zur Infrastruktur beachten (Voraussetzung: Fahrzeug muss trotzdem zeitweise autark arbeiten und auf Hindernisse reagieren können)

4.5 Autonomes Folgen für Kolonnenfahrzeuge (Beispiel Müllsammlung)

Use Case Nummer	4
Use Case	Autonomes Folgen für Kolonnenfahrzeuge (Beispiel Müllsammlung)
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reinigung, Abfallsammlung im Straßenseitenraum (vor der Grünpflege) 2. Manuelle Reinigung der Straßenabläufe mit Schachtheber (vereinzelte) 3. Vereinzelte Begehung, Freischneiden von Wildschutzzäunen
Kurzbeschreibung	<p>Das Fahrzeug folgt autonom der Arbeitskolonne, die zu Fuß auf dem Bankett oder im Straßenseitenraum unterwegs ist.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatzfall 1: Kombination von autonomem Absicherungsfahrzeug (Use Case 3) mit autonomer Folgefahrt Kolonnenfahrzeug (Einsatzbereich 1 und 2) • Einsatzfall 2: Autonome Folgefahrt: Kolonnenfahrzeug ohne zusätzliches Absicherungsfahrzeug (Einsatzbereich 3)
Zielsetzung/Nutzen	<p>Kein Mitarbeiter im Fahrzeug notwendig, daraus resultiert Sicherheitsgewinn, kein Ein- und Aussteigen auf dem Standstreifen notwendig</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatzfall 1: Fahrzeug steht der Arbeitskolonne an der Arbeitsstelle, z. B. zum Aufladen von Material, und am Ende des Einsatzes zur Verfügung, sodass Leerwege entfallen können. Dadurch kann der Arbeitsprozess vereinfacht werden. • Einsatzfall 2: Fahrzeug steht der Arbeitskolonne am Ende des Einsatzes zur Verfügung, sodass Leerwege, An- und Abfahrten entfallen können. Dadurch kann der Arbeitsprozess vereinfacht werden.
Akteure	Straßenwärter
Auslöser/Trigger	Leistungen oder Kontrollen neben der Fahrbahn oder auf dem Standstreifen sind durch Mitarbeiter außerhalb des Fahrzeugs abschnittsweise notwendig.
Vorbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • AkD kann aufgrund der Verkehrs- und Witterungssituation eingerichtet werden • Standstreifen ist vorhanden
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Modus Manueller Betrieb: Nicht-autonome Fahrt vom Kolonnenfahrzeug an Übergabestelle im Vorfeld der AkD (Parkplatz, Betriebsumfahrt etc.), die ein sicheres Verlassen des Fahrzeugs erlaubt. • Modus Folgebetrieb (max. 10 km/h): Das Fahrzeug folgt der Kolonne in definiertem longitudinalem Abstand bezogen auf die Stationierung auf dem Standstreifen. Hierfür Positionserkennung des Mitarbeiters über GNSS und Funkverbindung zwischen Mitarbeiter und Fahrzeug notwendig. Bei Einsatz mit zusätzlichem Absperrfahrzeug folgt das Kolonnenfahrzeug auf Höhe des Mitarbeiters. • Modus Manueller Betrieb: Zum Einsatzende Fahrt an eine sichere Übergabestelle, die sicheres Einsteigen der Mitarbeiter ermöglicht, nicht-autonome Weiterfahrt oder Rückfahrt.
Nachbedingungen	Kolonnenfahrzeug befindet sich im sicheren Zustand, autonome Funktion deaktiviert.
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> • Keine autonome An- und Abfahrt auf BAB • Kein Einsatz im nachgeordneten Netz bei Querverkehr, Fußgänger, Radfahrer • Keine Fernüberwachung oder -steuerung von einer Einsatzzentrale
Spezielle Anforderungen	Hochautomatisiertes Fahren (Level 4) bis 10 km/h marktreif (Raum muss überwacht werden → ggf. sicherer Zustand)
Häufigkeit	<p>Grobe Abschätzung zum Leistungsumfang (sehr individuell je Meisterei):</p> <p>Abfallsammlung 1 bis 2 x pro Jahr (10 km pro Tag) ca. 25.000 km RFB => ca. 4.000 Einsatzstunden p. a.</p> <p>Reinigung Straßenabläufe 2 pro Jahr (100 pro Tag), 30 je km auf 25 % der RFB (ca. 25.000 km) => ca. 4.000 Einsatzstunden p. a.</p> <p>Kontrolle, Freischneiden Wildschutzzäune 1 pro Jahr (5 km pro Tag), 67 % der RFB (ca. 25.000 km) => ca. 3.000 Einsatzstunden p. a. => ca. 11.000 Einsatzstunden p. a. bei 178 AM, d. h. ca. 60 Einsatzstunden pro AM p. a. => Ausrüstung max. 1 Fahrzeug je AM</p>
Nutzenpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsgewinn für Betriebsdienstpersonal • Kein separater Fahrer für das Kolonnenfahrzeug notwendig

Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	Bei Kontrollverlust über das Folgefahrzeug: Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer oder der an der AkD beteiligten Personen. Sehr hohe Schadensschwere und lebensbedrohliche Verletzungen wahrscheinlich, wenn das Folgefahrzeug ungewollt die Fahrspur verlässt und ggf. in den laufenden Verkehr gerät. Sowohl systematische Fehler, Bauteilausfälle als auch fehlerhafte Kommunikation könnten zu unkontrolliertem Verhalten führen. Auch Fehler bei der Umschaltung der Betriebsmodi sind risikobehaftet. Sicherer Zustand: Stillstand auf dem Seitenstreifen.
Grobeinschätzung Cybersecurity	Da die Steuerung des Folgefahrzeugs autonom und über eine Drahtlosschnittstelle erfolgt, besteht ein hohes Manipulationsrisiko. Die Positions- und Richtungsinformationen für das Folgefahrzeug sind besonders abzusichern. Risiko durch Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich. Bei Steuerung über GNSS-Koordinaten sind diese ebenfalls gegen Manipulation abzusichern. Zugangs- und Inbetriebnahmeberechtigungen sind abzusichern.
Vorhandener Umsetzungsgrad	Systeme bei Post- und Zustelldiensten im kommunalen Umfeld in Pilot- und Erprobungsphase, prototypisch umgesetzt im Projekt VanAssist.
Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> • Serienreife im kommunalen Umfeld • Anpassung, Test- und Erprobungsphase für Einsatzumfeld „Autobahn“ • Umsetzungszeitraum: mittel • Umsetzungsaufwand: mittel
Referenzen	https://www.vanassist.de/
Anmerkungen aus der Breakout Session	Ggf. Anpassungen von ASR oder RSA notwendig

4.6 Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und ferngesteuert bewegen

Use Case Nummer	5
Use Case	Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und ferngesteuert bewegen
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	Absicherung von mobilen Arbeitsstellen auf den Fahrstreifen (Vorwarner auf dem Seitenstreifen)
Kurzbeschreibung	Vorwarntafeln werden mit einem Einsatzfahrzeug an den Einsatzort gebracht und dort wieder eingesammelt, bei mobilen AkD werden die Vorwarntafeln von einer Einsatzzentrale ferngesteuert auf dem Standstreifen bewegt.
Zielsetzung/Nutzen	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Mitarbeiter im Fahrzeug notwendig, daraus resultiert Sicherheitsgewinn, kein Ein- und Aussteigen auf dem Standstreifen notwendig. • Vorwarneinheiten sind leichter und können kleiner ausgeführt werden, sodass die Unfallfolgen für die Verkehrsteilnehmer beim Auffahren reduziert werden. • Es wird nur ein MA zum Auf- und Abstellen benötigt, nur ein MA in der Einsatzzentrale kann mehrere Vorwarneinheiten steuern.
Akteure	Straßenwärter, Operator (Zentrale)
Auslöser/Trigger	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungen auf den Fahrstreifen erfordern Vorwarneinheiten • Auslöser für teleoperierte Bewegung: Abstand zur AkD wird zu groß, (automatisch GNSS-überwacht) oder auf Anforderung aus der AkD
Vorbedingungen	AkD kann aufgrund der Verkehrs- und Witterungssituation eingerichtet werden; Standstreifen ist vorhanden. Es besteht Kommunikation mit der Einsatzzentrale.
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwarneinheiten werden mit Einsatzfahrzeug an den Einsatzort oder in die Nähe des Einsatzortes gefahren und von der Fahrerkabine aus aufgestellt, ohne dass der Fahrer aussteigen muss. • Modus Teleoperierter Betrieb: Bei mobilen AkD kann die Vorwarneinheit von einer Einsatzzentrale aus ferngesteuert der AkD in den vorgesehenen Abständen folgen, Fahrt auf dem Standstreifen mit max. 10 km/h • Bei Ende der AkD werden die Vorwarneinheiten auf das Einsatzfahrzeug geladen; hierfür teleoperierte Fahrt zum Einsatzfahrzeug und Aufladen durch den Fahrer des Einsatzfahrzeugs ohne Rückwärtsfahrt oder Aussteigen

Nachbedingungen	Vorwarneinheiten sind sicher auf dem Einsatzfahrzeug aufgenommen
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> Keine autonome/automatisierte Fahrt, sondern teleoperierte Fahrt mit aktiver Überwachung und Steuerung aus der Einsatzzentrale Teleoperierte Fahrt nur auf dem Standsteifen mit max. 10 km/h
Spezielle Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsfähige Kommunikationsverbindung in Echtzeit für teleoperierten Betrieb Gewicht ca. 900 kg je Vorwarneinheit
Häufigkeit	<p>Pauschale Abschätzung für Autobahnmeistereien:</p> <p>178 AM'en x 2 AkD pro Werktag x 250 Werktage = ca. 100.000 Einsätze p. a. in Deutschland, davon ca. 50 % mit Vorwarntafeln (im Mittel 2 je AkD), davon ca. 50 % mobil => ca. 25.000 Einsätze p. a. mit je 2 Vorwarneinheiten</p> <p>Zusätzlich Absicherungen durch private Dienstleister, z. B. Reparatur von passiven Schutzeinrichtungen in erheblichem Umfang.</p>
Nutzenpotenzial	Sicherheitsgewinn für Betriebsdienstpersonal, keine separaten Fahrer für das Bewegen der Vorwarneinheiten bei mobilen AkD notwendig.
Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	<p>Für das Aufstellen der Vorwarneinheiten aus der Fahrerkabine ergeben sich ggf. Sicherheitsrisiken durch Fehlbedienungen oder Fehler im Arbeitsprozess, die z. B. zum Umfallen oder zur Fehlplatzierung der Vorwarneinheiten führen.</p> <p>Im teleoperierten Modus Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer oder der an der AkD beteiligten Personen, bei Kontrollverlust über das Folgefahrzeug. Sehr hohe Schadensschwere und lebensbedrohliche Verletzungen wahrscheinlich, wenn die Vorwarntafel ungewollt die Fahrspur verlässt und ggf. in den laufenden Verkehr gerät. Sowohl systematische Fehler, Bauteilausfälle als auch fehlerhafte Kommunikation könnten zu unkontrolliertem Verhalten führen. Höheres Risiko durch Fehlbedienung aber geringeres Risiko durch fehlerhafte Umfelsesensoren im Vergleich zum autonomen Betrieb.</p> <p>Sicherer Zustand: Stillstand</p>
Grobeinschätzung Cybersecurity	<p>Kein wesentlicher Unterschied im Risikopotenzial zwischen Teleoperation und autonomem Betrieb, da in beiden Fällen die Steuerung des Fahrzeugs über eine Drahtlosschnittstelle erfolgt, für die ein hohes Manipulationsrisiko besteht. Die Steuerungsbefehle für das teleoperierte Fahrzeug sind besonders abzusichern. Risiko durch Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich. Zugangs- und Betriebsberechtigungen sind abzusichern.</p> <p>Herausforderung und Verantwortung liegt grundsätzlich bei den Lieferanten.</p>
Vorhandener Umsetzungsgrad	Automatisiertes Aufstellen und Aufnehmen stationärer Vorwarntafeln auf dem Markt verfügbar (System Drop&Pick von Nissen), Piloteinsatz u. a. in der AM Neusitz
Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung mobile Vorwarntafel mit Fernsteuerung Gewährleistung eines sicheren teleoperierten Betriebs Aufbau Einsatzzentrale für den teleoperierten Betrieb in der Meisterei Umsetzungszeitraum: mittel Umsetzungsaufwand: mittel
Referenzen	Drop&Pick von Nissen (https://nissan-germany.com/drop-pick/)
Anmerkungen aus der Breakout Session	<ul style="list-style-type: none"> In Skandinavien auf Ladefläche der Lkw montiert und mit Anpralldämpfer ausgerüstet Bis zu 3 Vorwarntafeln notwendig. Verwendung leichter Fahrzeuge gut möglich, müssen aber für verschiedene Anwendungen nutzbar sein, daher ggf. zunächst Fokus auf Basis-Fahrzeug. Mehr Nutzungen/Anwendungsfälle für universelleres Fahrzeug-Konzept (Baukasten-Konzept mit spezialisierten Aufbauten) steigern Attraktivität für Industrie. Anwendungsfälle im automatisierten Bereich ähneln sich grundlegend (z. B. in Bezug auf Sensorik). Lastenheft für Use Cases von Seiten des Betriebsdienstes für Industrie, Interesse aus der Industrie besteht.

4.7 Seitenstreifen kehren mit einer autonomen Kehrmachine

Use Case Nummer	6
Use Case	Seitenstreifen kehren mit einer autonomen Kehrmachine
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	Reinigung – Reinigung von Verkehrsflächen
Kurzbeschreibung	Der Seitenstreifen wird durch eine autonome Kehrmachine gereinigt, als bewegliche Arbeitsstelle ist keine separate Absicherung notwendig, somit ist kein Personal im Einsatz, das gefährdet ist.
Zielsetzung/Nutzen	Keine MA bei gesamtem Einsatz notwendig, dadurch Ausschluss von Unfallgefahren für die MA. Reduktion der Unfallfolgen für Verkehrsteilnehmer, da das Arbeitsfahrzeug kompakter als ein Absperrfahrzeug bzw. eine selbstfahrende Kehrmachine sein kann.
Akteure	Straßenwärter für An- und Abfahrt, Operator für Überwachung des Status
Auslöser/Trigger	Planmäßiges Kehren des Seitenstreifens
Vorbedingungen	Seitenstreifen ausreichender Breite ist durchgehend befahrbar. Bei temporärer Seitenstreifenfreigabe ist der Seitenstreifen für den Verkehr gesperrt und per Kamera geprüft worden. Es besteht Kommunikation mit der Einsatzzentrale. Einsatzaufträge in digitaler Form sind vorhanden.
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Modus manueller Betrieb: Die Kehrmachine wird durch einen Straßenwärter an Übergabestelle im Vorfeld der Einsatzstelle (Parkplatz, Betriebsumfahrt etc.) gefahren, die ein sicheres Verlassen des Fahrzeugs erlaubt. Straßenwärter aktiviert den Modus autonomer Betrieb. • Modus autonomer Betrieb: Die Kehrmachine fährt autonom mit max. 10 km/h auf dem Seitenstreifen und kehrt ihn entsprechend des im Bordcomputer hinterlegten Einsatzplans. Verzögerungs- und Beschleunigungsstreifen werden autonom mit höherer Geschwindigkeit gequert. Absicherung erfolgt über die Absicherungseinheiten an der Kehrmachine, sodass kein separates Absicherungsfahrzeug notwendig ist. Statusmeldungen werden an die Einsatzzentrale übertragen. Bei Hindernissen, Ausfall der Kommunikation etc. ist der sichere Zustand „Anhalten“. Am Ende des Einsatzes fährt die autonome Kehrmachine an eine Übergabestelle und deaktiviert den autonomen Modus. • Modus manueller Betrieb: Die Kehrmachine wird an der Übergabestelle durch einen Straßenwärter abgeholt. Die Kehrmachine wird in die Meisterei gefahren, das Kehrgut wird entsorgt, Betriebsstoffe (Wasser, Kraftstoff) werden getankt.
Nachbedingungen	Kehrmachine befindet sich im sicheren Zustand, autonome Funktion deaktiviert
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	Keine autonome An- und Abfahrt auf BAB. Kein Einsatz im nachgeordneten Netz bei Querverkehr, Fußgänger, Radfahrer. Keine Fernsteuerung, sondern nur Überwachung von Status-Meldungen (evtl. Fernsteuerung für Überfahrt Verzögerungs- und Beschleunigungsstreifen).
Spezielle Anforderungen	Hochautomatisiertes Fahren (Level 4) bis 40 km/h marktreif, Verzögerungs- und Beschleunigungsstreifen können autonom gequert werden.
Häufigkeit	Ca. 20.000 km Standstreifen im BAB Netz, mind. 2 x jährlich, Kehrgeschwindigkeit 5 km/h => ca. 8.000 Einsatzstunden p. a. auf der Strecke. => ca. 10 Kehrmaschinen für ausschließlichen autonomen Betrieb (zusätzlich zu vorhandenen Kehrmaschinen). Alternative: Kehrmaschinen im Mischbetrieb (autonom für Seitenstreifen und manuell für Fahrstreifen, Parkplätze, Rampen etc.): gemäß M7 1 Kehrmaschine für 2 Meistereien, d. h. bei 178 Meistereien ca. 90 Kehrmaschinen
Nutzenpotenzial	Hohes Sicherheitspotenzial für Betriebsdienstpersonal, da keine Straßenwärter in der Kehrmachine oder in folgenden Absicherungsfahrzeugen im Einsatz. Kehrmachine kann aufgrund der kompakteren Bauweise auch auf Standstreifen mit 2,50 m Breite ohne Sperrung des rechten Fahrstreifens eingesetzt werden. Steigerung der Verkehrssicherheit, da Unfallfolgen bei Anprall potenziell geringer sind und da rechter Fahrstreifen nicht gesperrt werden muss. Reduktion der Staugefahr, da rechter Fahrstreifen nicht gesperrt werden muss. Straßenwärter, der für die An- und Abfahrt der Kehrmachine eingesetzt wird, kann für andere Tätigkeiten zum Einsatz kommen.
Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer bei Kontrollverlust über das autonome Kehrfahrzeug. Sehr hohe Schadensschwere und lebensbedrohliche Verletzungen wahrscheinlich, wenn das Kehrfahrzeug ungewollt den Standstreifen verlässt und ggf. in den laufenden Verkehr gerät. Sowohl systematische Fehler, Bauteilausfälle als auch fehlerhafte Kommunikation könnten zu unkontrolliertem Verhalten führen. Auch Fehler bei der Umschaltung der Betriebsmodi sind risikobehaftet. Sicherer Zustand: Stillstand

Grobeinschätzung Cybersecurity	Da die Steuerung des Kehrfahrzeugs autonom und über eine Drahtlosschnittstelle erfolgt, besteht ein hohes Manipulationsrisiko. Die Positions- und Richtungsinformationen für das Kehrfahrzeug sind besonders abzusichern. Risiko durch Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich. Bei Steuerung über GNSS-Koordinaten sind diese ebenfalls gegen Manipulation abzusichern. Zugangs- und Inbetriebnahmeberechtigungen sind abzusichern.
Vorhandener Umsetzungsgrad	Mit System aFAS liegt die prototypische Umsetzung eines autonom fahrenden Fahrzeugs mit langsamer Geschwindigkeit auf dem Seitenstreifen vor. Autonom fahrende Kehrmaschinen im innerstädtischen Bereich oder auf Werksgelände werden angeboten und sind als Versuchsfahrzeuge im Einsatz.
Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomes Queren von Beschleunigungs- und Verzögerungsstreifen, dafür Level 4 bis 40 km/h auf BAB serienreif • Anpassung, Test- und Erprobungsphase für Einsatzumfeld „Autobahn“ • Umsetzungszeitraum: lang • Umsetzungsaufwand: mittel
Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Projekt aFAS • Smart Sweeping von Autowise.ai (FactSheet Nr. 02) • „Urban-Sweeper S2.0 Autonomous“ von Boschung (FactSheet Nr. 03)
Anmerkungen aus der Breakout Session	Use Case wurde nicht weiter erörtert. Anmerkungen zum Use Case 7 gelten sinngemäß.

4.8 Automatisierte Leitpfostenreinigung

Use Case Nummer	7
Use Case	Automatisierte Leitpfostenreinigung
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	Reinigung – Straßenausstattung reinigen
Kurzbeschreibung	Reinigung der Leitpfosten mit einem semi-autonom fahrenden Arbeitsfahrzeug, Überfahrten an Anschlussstellen ferngesteuert, Reinigung und Fahren zwischen den Leitpfosten autonom
Zielsetzung/Nutzen	Keine MA auf der Strecke bei gesamtem Einsatz notwendig, dadurch Ausschluss von Unfallgefahren für die MA. Reduktion der Unfallfolgen für Verkehrsteilnehmer, da das Arbeitsfahrzeug kompakter als ein Geräteträger sein kann.
Akteure	Straßenwärter für An- und Abfahrt, Operator für Fernsteuerung und Überwachung der autonomen Arbeitsabläufe
Auslöser/Trigger	Planmäßige Reinigung der Leitpfosten
Vorbedingungen	Seitenstreifen ausreichender Breite ist durchgehend befahrbar. Bei temporärer Seitenstreifenfreigabe ist der Seitenstreifen für den Verkehr gesperrt und per Kamera geprüft worden. Es besteht Kommunikation mit der Einsatzzentrale. Einsatzaufträge in digitaler Form sind vorhanden.
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Modus manueller Betrieb: Das Arbeitsfahrzeug wird durch einen Straßenwärter an Übergabestelle im Vorfeld der Einsatzstelle (Parkplatz, Betriebsumfahrt etc.) gefahren, die ein sicheres Verlassen des Fahrzeugs erlaubt. Straßenwärter aktiviert den Modus Fernsteuerung. • Modus Fernsteuerung: Durch den Operator wird das Arbeitsfahrzeug auf dem Seitenstreifen an den Einsatzort (1. Leitpfosten gefahren). Operator wechselt in den Modus „Autonomer Betrieb“. Im Modus Fernsteuerung ist das Überfahren von Ein- und Ausfahrten mit höherer Geschwindigkeit zulässig. • Modus autonomer Betrieb: Das Arbeitsfahrzeug arbeitet autonom und reinigt die Leitpfosten. Fahrt zum nächsten Leitpfosten autonom mit max. 10 km/h auf dem Seitenstreifen. Positionierung durch Erkennung des Leitpfostens. Absicherung erfolgt über eine Absicherungseinheit am Arbeitsfahrzeug, sodass kein separates Absicherungsfahrzeug notwendig ist. Statusmeldungen werden an die Einsatzzentrale übertragen. Bei Hindernissen, Überfahrten etc. ist der sichere Zustand „Anhalten“ und der Operator wird aufgefordert, in den Modus „Fernsteuerung“ zu wechseln. • Am Ende des Einsatzes autonomen Einsatzes wird der Operator aufgefordert, in den Modus „Fernsteuerung“ zu wechseln. Das Arbeitsfahrzeug wird ferngesteuert an eine Übergabestelle gefahren und der Modus Fernsteuerung wird deaktiviert. • Modus manueller Betrieb: Das Arbeitsfahrzeug wird an der Übergabestelle durch einen Straßenwärter abgeholt und in die Meisterei gefahren Betriebsstoffe (Wasser, Kraftstoff) werden getankt.

Nachbedingungen	Arbeitsfahrzeug befindet sich im sicheren Zustand, autonome Funktion und Fernsteuerung sind deaktiviert.
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	Keine autonome An- und Abfahrt auf BAB. Kein Einsatz im nachgeordneten Netz bei Querverkehr, Fußgänger, Radfahrer.
Spezielle Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Hochautomatisiertes Fahren (Level 4) bis 40 km/h marktreif • Verzögerungs- und Beschleunigungstreifen können ferngesteuert gequert werden (hierfür sind mind. die Informationen in Echtzeit notwendig, die ein menschlicher Fahrer hat; evtl. nur bestimmte Aktionen werden freigegeben und keine direkte Fernsteuerung) • Automatisierung der Leitpfostenreinigung
Häufigkeit	ca. 20.000 km Standstreifen mit Leitpfosten im BAB Netz, 2 x jährlich in je 2 Monaten zu reinigen, Tagesleistung ca. 20 km => ca. je 1.000 Einsatztage im Frühjahr und Herbst an je 40 Arbeitstagen => ca. 25 Arbeitsfahrzeuge
Nutzenpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Sicherheitspotenzial für Betriebsdienstpersonal, da keine Straßenwärter beim Leitpfostenreinigen im Geräteträger oder in folgenden Absicherungsfahrzeugen im Einsatz sind. Arbeitsfahrzeug kann auch auf Standstreifen mit 2,50 m Breite ohne Sperrung des rechten Fahrstreifens eingesetzt werden. • Steigerung der Verkehrssicherheit, da Unfallfolgen bei Anprall potenziell geringer und da rechter Fahrstreifen nicht gesperrt werden muss. • Reduktion der Staugefahr, da rechter Fahrstreifen nicht gesperrt werden muss.
Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer bei Kontrollverlust über das Fahrzeug sowohl im autonomen als auch ferngesteuerten Betrieb. Sehr hohe Schadensschwere und lebensbedrohliche Verletzungen wahrscheinlich, wenn das Fahrzeug ungewollt den Standstreifen verlässt und ggf. in den laufenden Verkehr gerät. Sowohl systematische Fehler, Bauteilausfälle als auch fehlerhafte Kommunikation könnten zu unkontrolliertem Verhalten führen. Auch Fehler bei der Umschaltung der Betriebsmodi zwischen Fernsteuerung und autonomem Betrieb sind risikobehaftet. Sicherer Zustand: Stillstand
Grobeinschätzung Cybersecurity	Da die Steuerung des Fahrzeugs sowohl im autonomen als auch im ferngesteuerten Betrieb über Drahtlosschnittstellen erfolgt, besteht ein hohes Manipulationsrisiko. Verschiedene Schnittstellen für die beiden unterschiedlichen Betriebsmodi und der Moduswechsel erhöhen potenziell die möglichen Angriffspfade. Die Positions- und Richtungsinformationen für das Fahrzeug sind besonders abzusichern. Risiko durch Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich. Bei Steuerung über GNSS-Koordinaten sind diese ebenfalls gegen Manipulation abzusichern. Zugangs- und Inbetriebnahmeberechtigungen sind abzusichern.
Vorhandener Umsetzungsgrad	Mit System aFAS liegt die prototypische Umsetzung eines autonom fahrenden Fahrzeugs mit langsamer Geschwindigkeit auf dem Seitenstreifen vor. Teleoperierte Arbeitsfahrzeuge außerhalb des Verkehrsraums auf Werksgelände etc., z. B. auch in Gefahrenbereichen für komplexe Aufgaben.
Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung mobiles Arbeitsfahrzeug mit Fernsteuerung und autonomem Betrieb für die Leitpfostenreinigung • Automatisierung der Leitpfostenreinigung • Gewährleistung eines sicheren teleoperierten Betriebs • Aufbau Einsatzzentrale für den teleoperierten Betrieb in der Meisterei • Umsetzungszeitraum: lang • Umsetzungsaufwand: hoch
Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Projekt aFAS • Teleoperierte Fahrzeuge von Roboauto (FactSheet Nr. 08)
Anmerkungen aus der Breakout Session	<ul style="list-style-type: none"> • Wie viele Fahrzeuge können von einem Arbeitsplatz aus gesteuert oder überwacht werden? Einsatzzentrale: Unterscheidung von Überwachung und Steuern. Steuern eher von der AM, reine Überwachung ggf. auch zentralisiert. • Ergänzung (weiteres Anwendungsfeld): Ausstattung der Trägerfahrzeuge mit autonomen Anbaugeräten, z. B. zur Grasmahd von Bankett, Böschungen. Bessere Umgebungsbedingungen, einfachere Sensorik als z. B. im Winterdienst, hohes Nutzenpotenzial, Personaleinsparung. Evtl. problematisch: Artenschutz. • Geschwindigkeit beim Mähen mit entsprechend ausgerüstetem Fahrzeug: 3 – 5 km/h. • Variante: das Trägerfahrzeug autonom fahren lassen und den Auslegermäher manuell bedienen: Fahrzeug könnte universeller eingesetzt werden, z. B. auch für autonomes Folgen oder Reinigungsarbeiten; Mitarbeiter könnte sich auf das Gerät konzentrieren.

4.9 Automatisierte Grasmahd

Use Case Nummer	8
Use Case	Automatisierte Grasmahd
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	Grünpflege – Grasmahd
Kurzbeschreibung	Einsatz eines Mähroboters, der autonom definierte Flächen mäht, z. B. an Anschlussstellen, Rückhaltemanlagen, Böschungen, Mulden, die nicht vom Verkehrsraum aus bearbeitet werden.
Zielsetzung/Nutzen	Effizienzsteigerung, Steigerung der Arbeitssicherheit bei Einsatz auf schwer zugänglichen Flächen
Akteure	Straßenwärter, ggf. Operator für Überwachung des Status
Auslöser/Trigger	Planmäßiges Mähen der Grasflächen erforderlich
Vorbedingungen	Gesamte Mähfläche ist durchgehend befahrbar und digitalisiert. Die Kommunikation mit Einsatzzentrale und/oder einem Straßenwärter, der im Umfeld im Einsatz ist, zur Überwachung des Einsatzstatus ist gewährleistet
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	Mähroboter wird auf Anhänger durch Straßenwärter an den Einsatzort gebracht und über Fernsteuerung abgeladen, ggf. mit Ladekran. Der autonome Modus wird aktiviert. Der Mähroboter mäht autonom die digital im Bordcomputer hinterlegte Fläche und sendet Statusmeldungen an eine Einsatzzentrale. Bei Fehlfunktionen oder Unterbrechung der Kommunikation bleibt der Mähroboter stehen und deaktiviert das Mähwerk. Nach Ende des autonomen Mähens wird der autonome Modus automatisch deaktiviert. Der Mähroboter wird durch den Straßenwärter aufgeladen und zum nächste Einsatzort oder in die Meisterei gebracht.
Nachbedingungen	Mähroboter ist sicher auf dem Transportanhänger verladen.
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> Keine Fernüberwachung oder -steuerung (nur Überwachung von Statusmeldungen) Einsatz nur auf Flächen, die nicht vom Verkehrsraum aus bearbeitet werden; d. h. kein Einsatz auf dem Bankett Keine Mähgutaufnahme Kein Einsatz auf Flächen, wo sich Fußgänger aufhalten können, d. h. an Parkplätzen oder bei parallel geführten Wegen
Spezielle Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsfähige Mähwerke im autonomen Betrieb, Einsatz auf schwer zugänglichen Flächen (steile Böschungen). Sichere Erkennung von Hindernissen, Tieren (auch bei hohem Gras) z. B. durch Bumper oder Sensorik. Gewährleistung, dass definierte Flächen nicht verlassen werden.
Häufigkeit	Mahd in der Regel einmal jährlich im Extensivbereich, ein- bis zweimal jährlich bei Mulden und Gräben. Pauschale Abschätzung: 1 Mähroboter für 1 bis 2 Meistereien, d. h. 90 bis 180 Mähroboter bundesweit.
Nutzenpotenzial	Effizienzsteigerung, Qualitätssteigerung, da der Mitarbeiter, der den Mähroboter an den Einsatzort fährt, zu anderen Arbeiten eingesetzt werden kann, z. B. manuelles Mähen von Kleinfächen, Wartung der Straßenausstattung.
Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer bei Kontrollverlust über den Mähroboter, wenn dieser ungewollt auf eine Fahrspur gerät. Sofern sichergestellt werden kann, dass der Roboter sich nur abseits der Fahrbahn bewegen kann, sinkt das Gefährdungspotenzial. Sowohl systematische Fehler, Bauteilausfälle als auch fehlerhafte Kommunikation könnten zu unkontrolliertem Verhalten führen. Auch Fehler bei der Umschaltung der Betriebsmodi sind risikobehaftet.
Grobeinschätzung Cybersecurity	Da die Steuerung des Mähroboters autonom und über eine Drahtlosschnittstelle erfolgt, besteht ein hohes Manipulationsrisiko. Die Positions- und Richtungsinformationen für den Mähroboter sind besonders abzusichern. Risiko durch Download von manipulierten Kalibrierdaten und Software ist möglich. Bei Steuerung über GNSS-Koordinaten sind diese ebenfalls gegen Manipulation abzusichern. Zugangs- und Inbetriebnahmeberechtigungen sind abzusichern.
Vorhandener Umsetzungsgrad	<ul style="list-style-type: none"> Mähroboter für Fernsteuerung serienreif und auf dem Markt angeboten Prototypische Umsetzung eines Mähroboters auf dem Bankett sowie im urbanen Raum in den USA Automatisierter Einsatz von Arbeitsgeräten in der Landwirtschaft

Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> • Weiterentwicklung der ferngesteuerten Mähroboter für den autonomen Einsatz. • Gewährleistung der sicheren Erkennung der Flächengrenzen und von Hindernissen auch bei hohem Gras. • Umsetzungszeitraum: mittel • Umsetzungsaufwand: gering
Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Projekt Hands Free Hectare, Harper Adams University (Fact Sheet Nr. 06) • Left Hand Robotics in den USA (FactSheet Nr. 09)
Anmerkungen aus der Breakout Session	<ul style="list-style-type: none"> • Fernüberwachung (z. B. Kamera, Sensorik) wird als sehr nützlich eingeschätzt, damit nicht nach jedem Systemfehler ein Eingreifen vor Ort notwendig wird. • Geofencing oder andere Absperrmaßnahmen müssen sehr exakt ausgeführt werden, um das Verlassen der Arbeitsfläche zu vermeiden. • Use Case wird von Teilnehmern als nützlich und schnell realisierbar eingeschätzt. • Evtl. problematisch: Artenschutz

4.10 Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne

Use Case Nummer	9
Use Case	Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne
Leistungsbereich/ Einsatzbereich	Kontrollen – Streckenkontrolle
Kurzbeschreibung	Die reguläre Streckenkontrolle erfolgt durch ferngesteuerte Drohnen von einem Leitstand in der Meisterei
Zielsetzung/Nutzen	Keine Streckenkontrolle mit Langsamfahrt auf dem Standstreifen notwendig, auf Abschnitten ohne Standstreifen Streckenkontrolle ohne Gefährdung durch Langsamfahrt möglich.
Akteure	Operator im Leitstand
Auslöser/Trigger	Streckenkontrolle nach Kontrollplan
Vorbedingungen	Geeignete Witterungsbedingungen, keine Abschnitte mit Drohnenflugverbot (Flughafen)
Standardablauf/ Essenzielle Schritte	<ul style="list-style-type: none"> • Drohnen auf Gehöft und Stützpunkten stationiert • Operator aktiviert Drohnenflug nach Prüfung der Einsatzbedingungen • Drohnen fliegen definierte Streckenabschnitte ab, Operator steuert die Drohne (Trajektorie und Kamera) • Drohnenflug über Bankett bzw. Böschung neben der Richtungsfahrbahn • Streckenüberwachung erfolgt am Bildschirm • Mängel werden in Datenbank protokolliert (Bild und Position werden automatisch hinzugefügt) • Drohne kehrt zum Ausgangsort zurück
Nachbedingungen	Akku der Drohne kann automatisch geladen werden, z. B. Induktion
Systemgrenzen/Abgrenzung des Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> • Kein autonomer Drohnenflug, keine automatische Bildauswertung • Kontrolle im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht, keine Zustands- oder Funktionskontrolle • Tätigkeiten zur Beseitigung der Mängel müssen in einem separaten Arbeitsgang erfolgen
Spezielle Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausreichende Akku-Kapazität/Reichweite • Ausreichende Bildauflösung zur Erkennung von Mängeln • Speicherung von Aufnahmen
Häufigkeit	Streckenkontrolle in der Regel täglich, je AM 1 bis 2 Kontrollfahrten, d. h. ca. 200 Kontrollfahrten täglich
Nutzenpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Gefährdung der Streckenkontrolle durch Langsamfahrt auf dem Seitenstreifen. • Alle Arbeiten zur Mängelbeseitigung und die dafür erforderlichen Ressourcen (z. B. Absicherung) können vorab geplant werden, die Sicherheitsstandards zur Mängelbeseitigung werden eingehalten.

Grobeinschätzung des Risikopotenzials (funktionale Sicherheit)	Gefährdung der Mitarbeiter und anderer Personen oder Verkehrsteilnehmer im Falle eines Absturzes oder bei Kollision der Drohne mit Fahrzeugen. Zu den wesentlichen Risiken im Betrieb gehören der Ausfall der Kommunikation oder der Energieversorgung sowie Fehler der an der Steuerung beteiligten Hardware und Software. Zusätzliche Risiken durch Fehlbedienung. Sicherer Zustand: Landung außerhalb des Verkehrsraums Rechtliche Probleme hinsichtlich des nachgeordneten Straßennetzes, Brücken etc.
Grobeinschätzung Cybersecurity	Die drahtlose Kommunikation zwischen Drohne und Steuereinheit könnte manipuliert werden. Unberechtigte Personen könnten Zugang zu den Steuerungseinheiten gelangen. Sollte ein Teil der Strecke autonom auf Basis von GNSS-Daten zurückgelegt werden (z. B. autonome Rückkehr zum Startpunkt), besteht ein Risiko durch manipulierte GNSS Daten.
Vorhandener Umsetzungsgrad	<ul style="list-style-type: none"> • Drohnen werden zur Überwachung von Bauwerken eingesetzt (unter Sichtbedingungen) • Teleoperierte Drohnen u. a. im militärischen Bereich • Forschungsprojekt zur Vegetationskontrolle (autonomer Drohnenflug und automatisierte Datenauswertung) an Bahnstrecken • Drohnen sind marktreif verfügbar (100 km Reichweite, 90 min Flugzeit, 20 T€) • Ausreichende Bildqualität für automatische Auswertung im Sinne Gestern-Heute-Vergleich
Maßnahmen bis Serienreife	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Komponenten verfügbar, Qualität und Einsatzbedingungen an BAB sind zu testen • Genehmigungsprozesse für Drohnenbefliegung an BAB • Leitstand in der Meisterei • Umsetzungszeitraum: kurz • Umsetzungsaufwand: gering
Referenzen	FreeRail-Forschungsprojekt von Quantum Systems, DB Fahrwegdienste, geo-konzept (Fact Sheet 15)
Anmerkungen aus der Breakout Session	<ul style="list-style-type: none"> • Alternative Systeme (z. B. Roboter auf Mittelstreifen) ebenfalls denkbar (Idee für tägl. Streckenkontrolle). • Effizienzsteigerung infolge autonomer Befliegung mit automatischer Bildauswertung interessant.

5 Expertenworkshop

5.1 Überblick

Ziel des Expertenworkshops war die Diskussion der in AP 3 erarbeiteten Use Cases mit verschiedenen Stakeholdern sowie anschließend die Reduktion der Use Cases für die weitere Konkretisierung auf drei. Die Anwendungsseite und die technische Realisierbarkeit wurden in diesem Workshop gleichermaßen betrachtet.

5.2 Vorbereitung und Durchführung des Expertenworkshops

Für den Workshop wurden zunächst die relevanten Stakeholder und Teilnehmer aus dem Kreis der Anwender, Industrie und Dienstleister identifiziert. Anschließend wurde eine Einladung an ca. 60 Personen mit folgendem Inhalt verschickt:

Zum Projekt:

Das Projekt AETAS BAB knüpft inhaltlich an das Projekt aFAS (Automatisch fahrerlos fahrendes Absicherungsfahrzeug für Arbeitsstellen auf Auto-

bahnen) an, welches grundsätzlich gezeigt hat, dass mit aktuellen Technologien ein fahrerloser Betrieb möglich ist. Da der Straßenbetriebsdienst jedoch ein relativ spezieller Bereich und überschaubarer Markt ist, werden Weiter- und Vorausschreitungen nur recht schleppend vorangebracht, da für die aktiven Firmen häufig das Marktpotenzial zu gering und das Investitionsrisiko zu hoch sind. Deshalb dauert es leider meist lange, bis neue Technologien, wie das zuvor demonstrierte, fahrerlos fahrende Absicherungsfahrzeug, zur Verfügung stehen und eingesetzt werden können.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts sollen nun Bereiche im Straßenbetriebsdienst identifiziert werden, in denen auf Basis des aktuellen Stands der Technik schon heute oder in sehr naher Zukunft automatische/autonome Technologien eingesetzt werden können, um den Sicherheitsgewinn und die effizientere Leistungserfüllung weiter zu unterstützen. Aus diesen Bereichen sollen konkrete Anwendungsfälle abgeleitet und klar definiert werden. Die Identifikation soll im Zusammenspiel der auf Bundesfernstraßen agierenden Akteure der Autobahn GmbH, Straßenbauverwaltungen der Länder und Dienstleistungs-

unternehmen erfolgen. Gemeinsam mit Vertretern der Industrie sollen die durch die Anwender erarbeiteten Anwendungsfälle diskutiert und hinsichtlich ihrer Verwirklichbarkeit beurteilt werden.

Workshopinhalt:

In einer vorherigen Projektphase wurden, auch unter Einbeziehung von Anwendern aus den Autobahnmeistereien, diverse Anwendungsmöglichkeiten von automatisierten Technologien im Straßenbetriebsdienst ermittelt. Ziel des Expertenworkshops ist es nun, die Anzahl der erstellten Fälle auf drei Use Cases zu reduzieren sowie die Systemarchitektur für diese Use Cases zu konkretisieren. Hierfür sind Anwendungsseite und technische Realisierbarkeit gleichermaßen zu betrachten – zu diesem Zweck kommen Experten zusammen, um die Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven zu ermöglichen:

- Anwender aus den Autobahnmeistereien, die u. U. schon am Anwenderworkshop teilgenommen haben,
- Vertreter der Industrie, z. B. Nutzfahrzeughersteller, Zulieferer, Gerätehersteller sowie
- Dienstleister.

Eine detaillierte Agenda zum Ablauf des Workshops wird in den kommenden Tagen folgen. Alle, die sich bereits angemeldet haben, werden eine entsprechende Nachricht erhalten.

Als Tool für die Anmeldung zum Workshop und für das Teilnehmer-Management wurde eine geeignete Managementplattform verwendet. Hierüber wurden anschließend weitere Informationen zum Expertenworkshop sowie die Agenda an alle Angemeldeten geschickt:

Im Projekt wurden bisher, auch unter Einbeziehung von Anwendern aus den Autobahnmeistereien, diverse Anwendungsmöglichkeiten von automatisierten Technologien im Straßenbetriebsdienst ermittelt.

Ziel des interaktiven Expertenworkshops ist es nun, die daraus abgeleiteten Anwendungsfälle vorzustellen und zu diskutieren, sowie die Anzahl der daraus entwickelten Anwendungsfälle auf drei mit dem höchsten Gesamtpotenzial zu reduzieren. Hierfür sind Anwendungsseite und technische Realisierbarkeit gleichermaßen zu betrachten.

Daraus ergibt sich folgende Agenda:

09:00 – 09:10	Begrüßung <i>Christian Lüpkes, AlbrechtConsult; Grußwort: Prof. Gerd Riegelhuth, Die Autobahn GmbH des Bundes</i>
09:10 – 09:30	Vorstellung des Projekts <i>Christian Lüpkes, AlbrechtConsult</i>
09:30 – 10:30	Vorstellung der potenziellen Anwendungsfälle <i>Prof. Christian Holldorb, Steinbeis Transferzentrum IMV</i> Anschl. Gruppeneinteilung für Breakout Sessions (gemäß separat gesendeter Doodle-Abfrage)
10:30 – 12:00	Breakout Sessions Drei parallele und moderierte Arbeitsgruppen diskutieren jeweils drei Use Cases <i>Alle Teilnehmende</i>
12:00 – 13:00	Mittagspause
13:00 – 14:00	Vorstellung der Arbeitsergebnisse aus den Breakout Sessions <i>Moderatoren der Breakout Sessions</i>
14:00 – 14:40	Wahl der Use Cases mit dem höchsten Gesamtpotenzial <i>Alle Teilnehmende</i>
14:40 – 15:00	Offene Fragen/Abschluss <i>Alle Teilnehmende</i>

Die vorhandenen neun Use Cases wurden in drei Gruppen eingeteilt, welche dann den verschiedenen Breakout Sessions zugeordnet wurden. Um sicherzustellen, dass die Teilnehmenden an der für sie interessanten Breakout Session teilnehmen können, wurde vorab eine Umfrage durchgeführt, in der die Teilnehmenden mit einer Erst- und Zweitstimme ihre Präferenz kundtun konnten.

Der Workshop wurde am 11.11.2021 von 9:00 – 15:00 Uhr mit 26 Teilnehmenden (exkl. Projektteam) erfolgreich durchgeführt und brachte wertvolle Erkenntnisse für die nächsten Arbeitsschritte. Hier wurde durch den Teilnehmerkreis (s. Tabelle 5-1) die Sicht aus vielen unterschiedlichen Bereichen eingebracht. Bei der Auswahl des Teilnehmerkreises wurde ein besonderer Fokus auf die Industrie gelegt, da durch den Anwenderworkshop bereits sehr gute Einblicke aus Anwendersicht gewonnen werden konnten. Dennoch konnten für den Workshop-Termin weniger Industrieteilnehmende gewonnen werden als erhofft.

Organisation/Firma/Institution	Perspektive
Autobahn GmbH	Öffentlicher Anwender
Autobahnmeisterei Braunschweig	Öffentlicher Anwender
Autobahnmeisterei Lengerich	
Autobahnmeisterei Münster	
Autobahnmeisterei Oelde	
Autobahnmeisterei Osnabrück	
Autobahnmeisterei Rünigen	
Autobahnmeisterei Erlangen	
Autobahnmeisterei Plauen	
Autobahnmeisterei Malchow	
B.A.S. Verkehrstechnik AG	Privater Anwender
Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)	Auftraggeber
Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)	Auftraggeber
Daimler AG	Industrie
Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI)	Forschung
HOCHTIEF PPP Solutions GmbH	Privater Anwender
Industrieverband Straßenausstattung e. V. (IVSt)	Industrie
Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern	Öffentlicher Anwender
ZF Friedrichshafen AG/WABCO	Industrie

Tab. 5-1: Liste der Stakeholder beim Expertenworkshop

5.3 Ergebnisse des Expertenworkshops

Die in Kapitel 4 beschriebenen Use Cases enthalten bereits die Diskussionsergebnisse aus dem Expertenworkshop. Dabei wurden teilweise Punkte entfernt, angepasst oder ergänzt. Darüber hinaus brachte der Workshop Erkenntnisse, die sich nicht explizit auf einen Use Case beziehen, sondern Use Case übergreifend formuliert wurden und bei zukünftigen Überlegungen beachtet werden sollten. Dazu gehören folgende Punkte:

- Da mehrere Use Cases den Aspekt der automatisierten bzw. autonomen Fahrfunktion beinhalten, ist die Fokussierung auf ein Basisfahrzeug mit entsprechender Funktionalität sinnvoll, welches dann für mehrere Anwendungsfälle verwendet wird. Mit diesem Ansatz steigt die Attraktivität für die Industrie, gleichzeitig sinken die Kosten für den Anwender, da ein Basisfahrzeug für mehrere Use Cases verwendet werden könnte.

- Im Allgemeinen sind komplexe Entwicklungen, wie z. B. autonomes Fahren, speziell für einen kleinen Markt, wie es beim Straßenbetriebsdienst der Fall ist, nicht rentabel. Daher müssen die Entwicklungen im Automobilsektor beobachtet und verfügbare Technologien anschließend angepasst an den Bereich des Betriebsdienstes eingesetzt werden. Somit lassen sich Entwicklungskosten einsparen. Dennoch sollte bei der industrieseitigen Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen in einem frühen Entwicklungsstadium Einfluss genommen werden, damit spezifische Anforderungen im Bereich des Betriebsdienstes frühzeitig Berücksichtigung finden und eine Adaption nicht erst nach einer erfolgreichen Markteinführung, z. B. im Pkw-Bereich, geschieht.
- Die Aufnahme von möglichen Beeinflussungen autonomer Fahrzeuge in geltende Vorschriften (KritisV) und Zertifizierungen ist zu beachten.
- Auch wenn der Fokus im Projekt auf dem Straßenbetriebsdienst auf Bundesautobahnen liegt, werden viele Anwendungsfälle bzw. Teilbereiche dieser Anwendungsfälle genauso oder ähnlich auch außerhalb von Bundesautobahnen von den Straßenmeistereien durchgeführt. Auch im kommunalen Bereich gibt es ähnliche Anwendungsfälle. Bei der näheren Betrachtung der Use Cases sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden, da dadurch auch das Marktpotenzial und damit die Rentabilität für die Hersteller gesteigert werden kann.

Im Vorfeld wurden die Use Cases bereits vom Projektteam hinsichtlich des Umsetzungszeitraumes und des Umsetzungsaufwandes beurteilt. Diese Einschätzung konnte in den Gruppendiskussionen validiert werden. In Bild 5-1 ist der Umsetzungszeitraum sowie der Umsetzungsaufwand jedes einzelnen Use Cases dargestellt.

Am Ende des Workshops wurde mithilfe eines interaktiven Umfrage-Tools eine Abstimmung mit allen Teilnehmenden durchgeführt, in welcher die Use Cases hinsichtlich folgender fünf Kriterien beurteilt wurden:

- Welche Use Cases sind aus Ihrer Sicht am ehesten technisch realisierbar?
- Welche Use Cases erhöhen aus Ihrer Sicht am meisten die Sicherheit der Mitarbeitenden im Straßenbetriebsdienst?

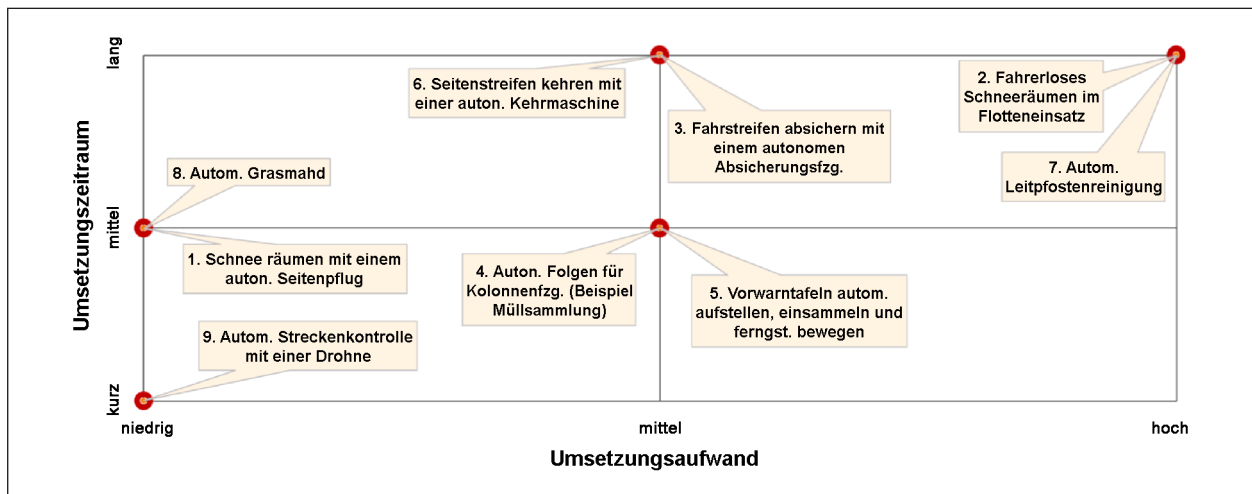


Bild 5-1: Abschätzung von Umsetzungszeitraum und Umsetzungsaufwand der Use Cases

- Welche Use Cases erhöhen aus Ihrer Sicht am meisten die Effizienz im Straßenbetriebsdienst?
- Bei welchen Use Cases müssten aus Ihrer Sicht die meisten Risiken abgesichert werden (Cyber- und Funktionssicherheit)?
- Welche Use Cases sollten aus Ihrer Sicht weiterverfolgt werden?

Jeder Teilnehmende konnte dabei drei Use Cases pro Frage auswählen. Wie bereits erwähnt, waren leider wenige Industrie-Teilnehmende dabei, sodass die Abstimmungsergebnisse nicht repräsentativ für eine Industriesicht sind. Durch die Gruppendiskussionen wurden die Aussagen der Industrie aufgenommen und bei der Auswertung der Abstimmungsergebnisse berücksichtigt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in den Bildern 5-2 bis 5-6 zunächst das Abstimmungsergebnis jeder einzelnen Frage dargestellt. Danach folgt eine Darstellung aller Stimmen in einer Grafik (Bild 5-7).

Gegliedert nach den Use Cases ergibt der Expertenworkshop zusammenfassend folgendes Meinungsbild:

- Use Case 1: Schnee räumen mit einem autonom agierenden Seitenpflug
 - Gemäß Abstimmung ist dieser Use Case technisch relativ gut realisierbar.
 - Das Potenzial für den Sicherheitsgewinn sowie Steigerung der Effizienz wurde als eher gering beurteilt.
 - Die möglichen Risiken im Bereich Cyber- und Funktionssicherheit wurden als überschaubar eingeschätzt.
- Use Case 2: Fahrerloses Schneeräumen im Flotteneinsatz
 - Der Use Case wurde in der Gruppendiskussion als sehr komplex und für den Betriebsdienst als ungeeignet beschrieben. Diese Einschätzung spiegelt sich auch in den Abstimmungsergebnissen wider.
 - Das Potenzial für den Sicherheitsgewinn sowie die Steigerung der Effizienz wurden als sehr gering beurteilt.
 - Die möglichen Risiken im Bereich Cyber- und Funktionssicherheit wurden als gravierend angesehen.
- Use Case 3: Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug
 - Dieser Anwendungsfall wurde durchweg positiv bewertet. Gleichzeitig müssen jedoch auch viele Risiken im Bereich Cyber- und Funktionssicherheit abgesichert werden.
 - Der potenzielle Sicherheitsgewinn und die mögliche Effizienzsteigerung wurden bei diesem Use Case als am höchsten beurteilt.
- Use Case 4: Autonomes Folgen für Kolonnenfahrzeuge (Beispiel Müllsammlung)
 - Gemäß Abstimmung ist dieser Use Case technisch relativ gut realisierbar.
 - In den Gruppendiskussionen stellte sich heraus, dass dieser Anwendungsfall für den Betriebsdienst weniger relevant ist als vermutet.
 - Dennoch wurde der potenzielle Sicherheitsgewinn als relativ hoch angesehen, die mög-

- liche Steigerung der Effizienz jedoch als eher gering.
- Use Case 5: Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und ferngesteuert bewegen
 - Gemäß Abstimmung ist dieser Use Case technisch relativ gut realisierbar.
 - Auch dieser Anwendungsfall wurde durchweg positiv bewertet.
 - Der potenzielle Sicherheitsgewinn und mögliche Effizienzsteigerung wurden bei diesem Use Case als sehr hoch beurteilt.
 - Die möglichen Risiken im Bereich Cyber- und Funktionssicherheit wurden als etwas geringer als bei Use Case 3 eingeschätzt.
 - Use Case 6: Seitenstreifen kehren mit einer autonomen Kehrmaschine
 - Dieser Use Case wurde in den Gruppendiskussionen als nicht so notwendig beschrieben, da ein möglicher Effizienzgewinn eher gering ausfällt und gleichzeitig die technische Realisierbarkeit sich eher schwierig gestaltet.
 - Lediglich ein potenzieller Sicherheitsgewinn wurde diesem Anwendungsfall zugeschrieben.
 - Die möglichen Risiken im Bereich Cyber- und Funktionssicherheit wurden als etwas geringer als bei Use Case 3 eingeschätzt.
 - Use Case 7: Automatisierte Leitpfostenreinigung
 - Gemäß Abstimmung ist dieser Use Case eher schwierig technisch realisierbar.
 - Der potenzielle Sicherheitsgewinn sowie eine mögliche Effizienzsteigerung sind relativ gering beurteilt worden, wenn der Use Case nicht auch auf andere Anbaugeräte, vor allem für die Grasmahd, erweitert wird.
 - Use Case 8: Automatisierte Grasmahd
 - Gemäß Abstimmung ist dieser Use Case technisch relativ gut realisierbar.
 - Der potenzielle Sicherheitsgewinn wird eher als gering beurteilt, wohingegen die mögliche Effizienzsteigerung als sehr hoch angesehen wurde.
 - Mögliche Risiken im Bereich Cyber- und Funktionssicherheit wurden als überschaubar eingeschätzt.
 - Use Case 9: Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne
 - Bei diesem Anwendungsfall wurde der mögliche Effizienzgewinn als hoch, aber der potenzielle Sicherheitsgewinn als überschaubar eingestuft.
 - Die möglichen Risiken im Bereich Cyber- und Funktionssicherheit wurden als eher umfangreich angesehen.

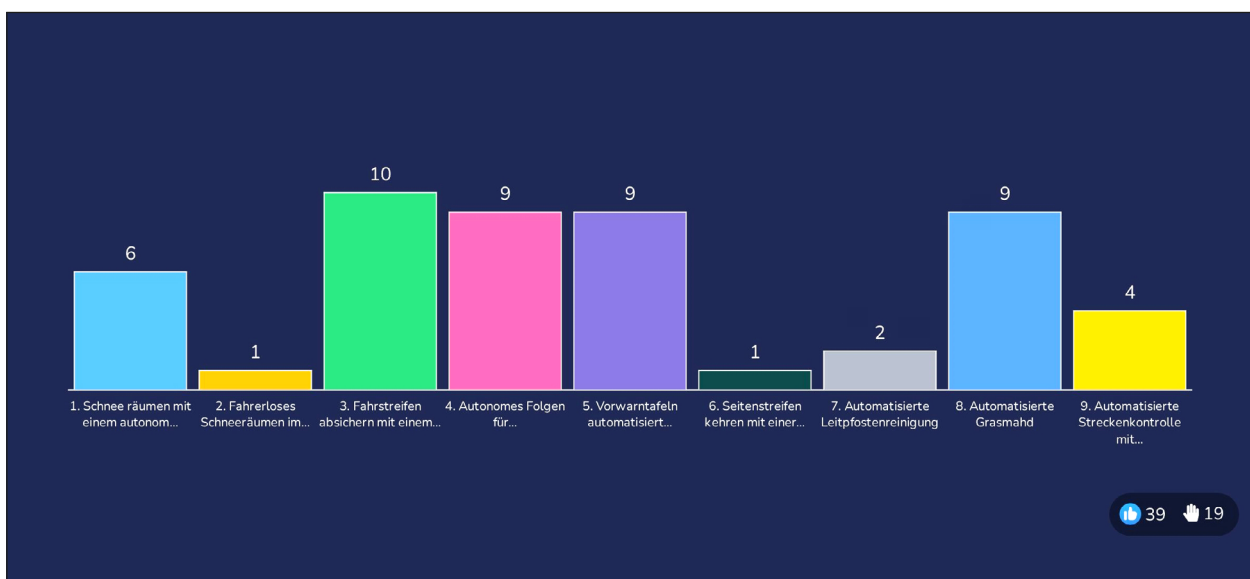


Bild 5-2: Technische Realisierbarkeit (Abstimmungsergebnis)

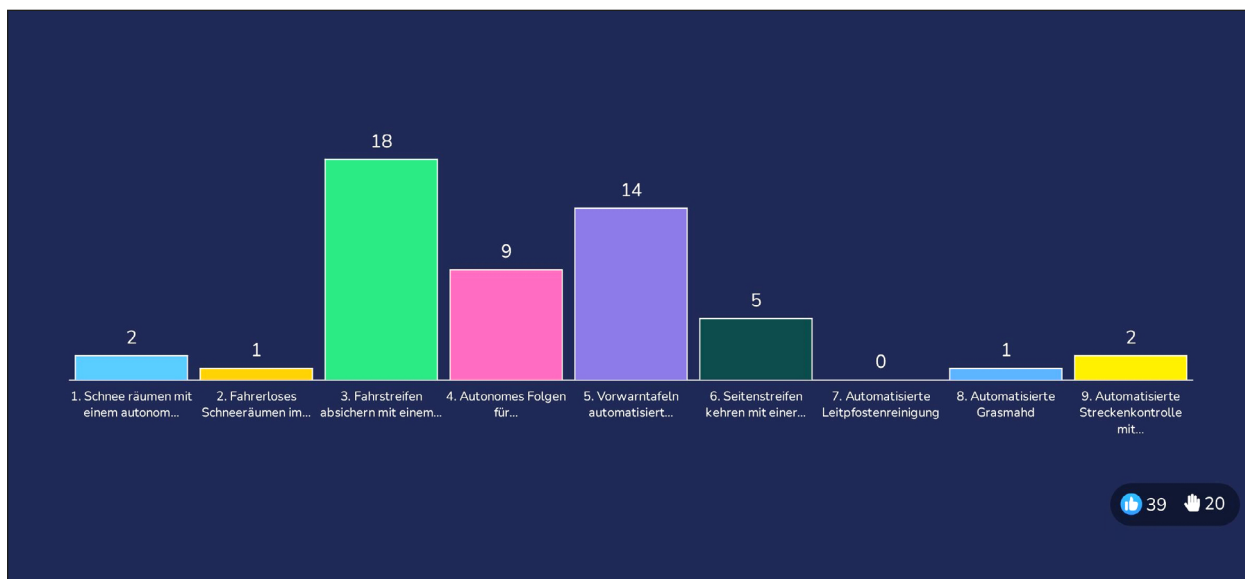


Bild 5-3: Erhöhung der Sicherheit (Abstimmungsergebnis)

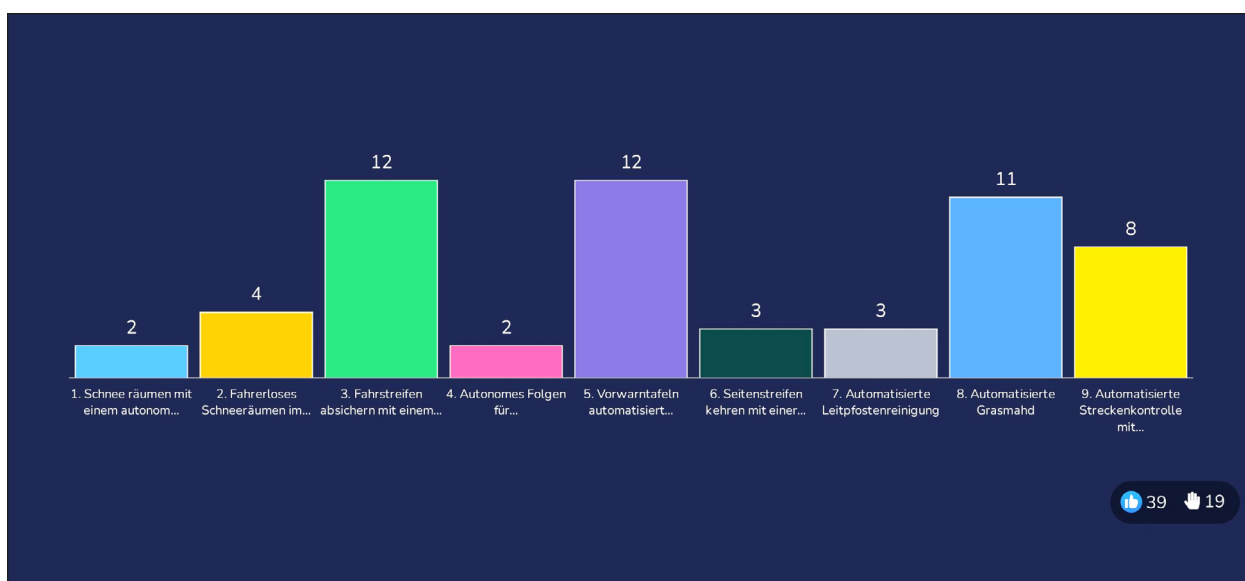


Bild 5-4: Erhöhung der Effizienz (Abstimmungsergebnis)

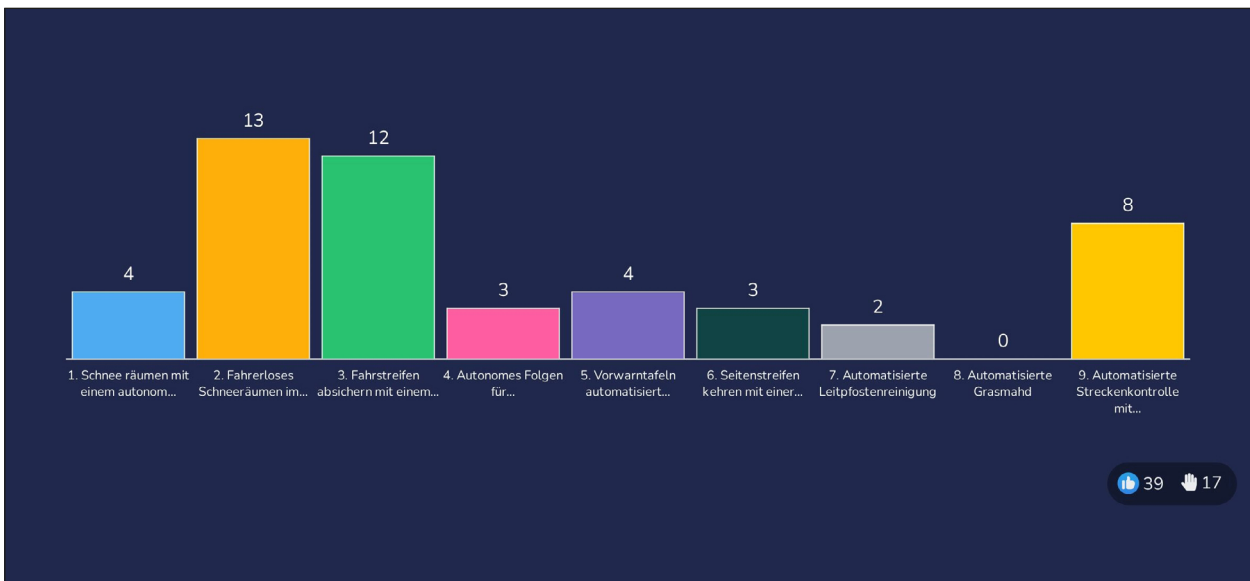


Bild 5-5: Absicherung Risiken (Abstimmungsergebnis)

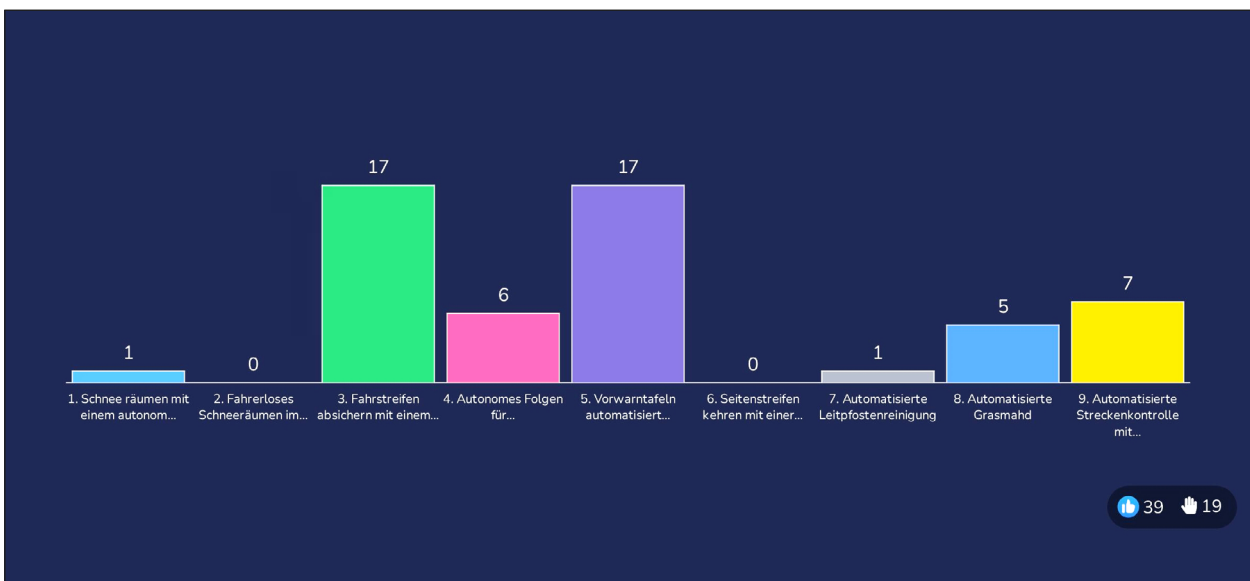


Bild 5-6: Weiterverfolgung Use Cases (Abstimmungsergebnis)

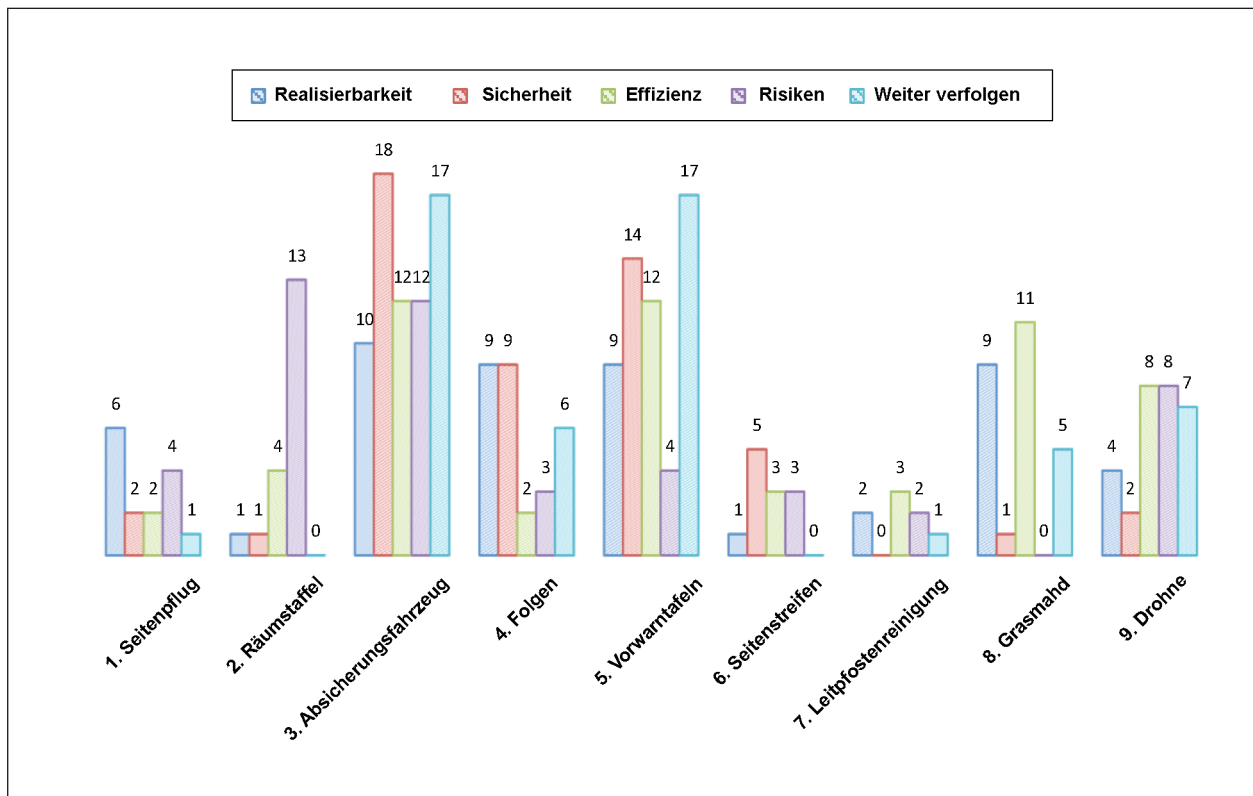


Bild 5-7: Zusammenfassung der Abstimmungsergebnisse zu den neun Use Cases

5.4 Auswahl der drei Use Cases

Die Ergebnisse des Workshops wurden anschließend mit dem Auftraggeber bzw. dem Betreuerkreis erörtert. Basierend auf der Beurteilung der Use Cases aus Bild 5-1 wurden drei Use Cases festgelegt, die in Bild 5-8 hervorgehoben sind und in den nächsten Kapiteln weitergehend betrachtet werden. Bei der Auswahl der drei Use Cases wurde berücksichtigt, dass unterschiedliche Aspekte hinsichtlich des Automatisierungspotenzials im Straßenbetriebsdienst abgedeckt sind. Außerdem wurde darauf geachtet, dass die ausgewählten Use Cases verschiedenen Achsen in der Grafik zugeordnet sind und somit unterschiedliche Kombinationen von Umsetzungszeitraum und -aufwand vertreten sind.

Auf Grundlage der Diskussionen im Expertenworkshop und in der Betreuerkreissitzung sowie weitergehenden Recherchen wurden die ausgewählten Use Cases modifiziert und die Steckbriefe zu den Use Cases angepasst. Im Folgenden sind die wesentlichen Anpassungen kurz beschrieben. Die modifizierten Steckbriefe befinden sich im jeweiligen Lastenheft im Anhang des Berichts.

- Anpassung UC3 gegenüber Use Case Beschreibung in Kapitel 4:
 - Operator für die technische Aufsicht
 - Abstände nach neuen RSA
- Anpassung UC5 gegenüber Use Case Beschreibung in Kapitel 4:
 - Vorwarntafel fährt autonom und nicht ferngesteuert, wobei die Bewegung durch den Operator in der Einsatzzentrale ferngesteuert ausgelöst wird; hierfür Überwachung des Umfeldes und des Systemstatus (Bezeichnung des UC5 wurde angepasst: Vorwarntafel automatisiert aufstellen, einsammeln und bewegen)
- Anpassung UC9 gegenüber Use Case Beschreibung in Kapitel 4:
 - Drohne fliegt autonom und nicht ferngesteuert, da keine direkte Sichtverbindung zur Drohne realisierbar (Vorgabe zum Drohnenflug)

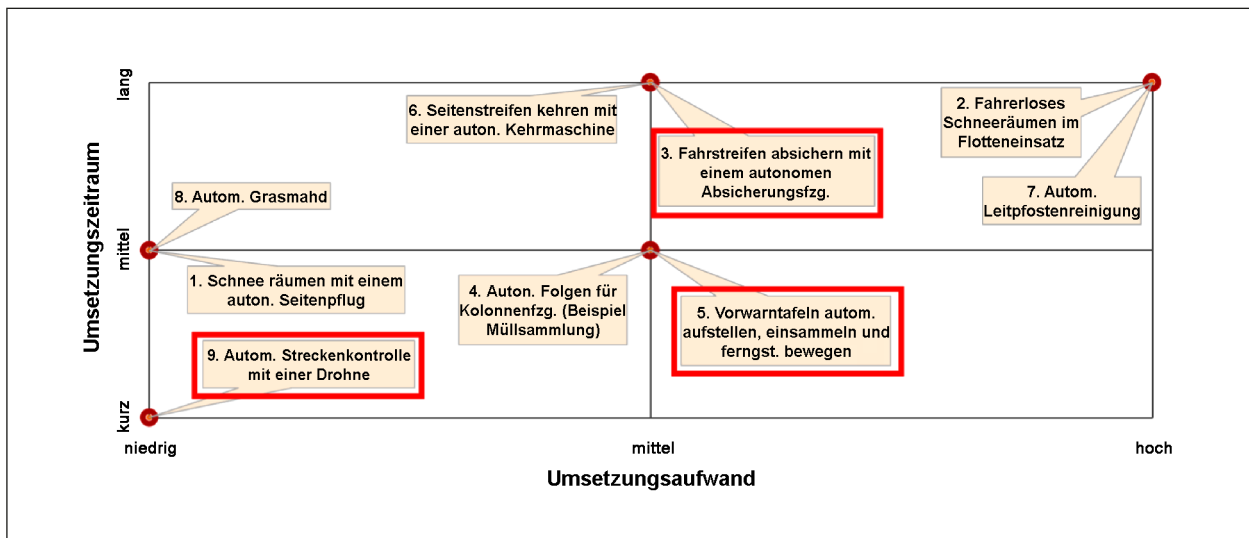


Bild 5-8: Ausgewählte Use Cases

- Automatisierte Bildauswertung zur Mängel- erfassung, aus Effizienzgründen und um Vor- gaben zur Anonymisierung personenbezogener Daten einzuhalten
- Hieraus resultieren mittlerer Umsetzungszeit- raum und -aufwand

6 Potenzialabschätzung für drei ausgewählte Use Cases

6.1 UC3: Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug

6.1.1 Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal

Wesentliche Motivation zum Einsatz eines autonomen Absicherungsfahrzeugs auch auf dem Fahrstreifen ist die Steigerung der Sicherheit für das Betriebsdienstpersonal. Durch den autonomen Einsatz bestehen keine Gefährdungen für Mitarbeiter, die im Absicherungsfahrzeug sitzen oder die aus dem Absicherungsfahrzeug aus- bzw. in das Absicherungsfahrzeug einsteigen.

Um das Potenzial zur Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal abschätzen zu können, wird im Wesentlichen auf die umfassenden Untersuchungen von ROOS et al. [2008] zurückgegriffen, die diese im FE-Vorhaben „Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobah-

nen“ durchgeführt haben, da keine aktuelleren Analysen mit vergleichbarer Datengrundlage vorliegen.

Bereits in der Literaturanalyse, die im Rahmen des FE-Vorhabens durchgeführt wurde, wird auf Basis der Untersuchungen von ZIMMERMANN/MORITZ [2004] deutlich, „dass tendenziell das Risiko für das Personal, einen Personenschaden zu erleiden, bei Arbeiten auf dem rechten Fahrstreifen und bei ungeschützten Arbeiten neben der Fahrbahn am höchsten ist.“ Tödliche Unfälle für Betriebsdienstmitarbeiter ereignen sich nach der von KAYSER et al. [1993] durchgeführten Studie zur Hälfte auf dem rechten Fahrstreifen. Die zitierte Untersuchung zu Arbeitsunfällen auf Hochleistungsstraßen im Kanton Bern kommt zu dem Ergebnis, dass das Todesfallrisiko für das Betriebsdienstpersonal vor allem aufgrund der hohen Aufprallenergie durch auffahrende Lkw überdurchschnittlich hoch ist, gegenüber der vergleichbaren Kenngröße für die gewerblichen Berufsgenossenschaften in etwa viermal so hoch.

Wesentlicher Teil des FE-Vorhabens war die umfassende Analyse von Unfällen mit Beteiligung des Straßenbetriebsdienstes auf Bundesautobahnen, für die Unfallmeldungen aus den Jahren 1997 bis 2005 aus 13 Bundesländern ausgewertet wurden. Insgesamt lag die Anzahl der Unfälle in AkD mit Beteiligung des Betriebsdienstes pro Jahr zwischen 166 und 269. Hauptunfallversucher sind mit 57 % Lkw, wobei neben dem Aufprall von hinten auch das seitliche Streifen typisches Unfallmuster ist. Überproportional stark sind jedoch die Unfallfolgen bei Unfällen mit Lkw, bei denen 72 % der Mitarbeiter verunglückten. Im Wesentlichen ereignen sich die-

se Unfälle mit Lkw als Unfallverursacher bei AkD auf dem rechten Fahrstreifen oder den Standstreifen, während bei AkD auf dem linken Fahrstreifen überwiegend Pkw Unfallverursacher sind. Insgesamt gab es bei den analysierten Unfällen im Zeitraum 2000 bis 2005 162 verletzte und 7 getötete Mitarbeiter, 23 % davon kamen in AkD auf dem rechten Fahrstreifen zu Schaden. Dies entspricht im Mittel 28 verunglückten Mitarbeitern pro Jahr, wobei ca. sechs Mitarbeiter bei AkD auf dem rechten Fahrstreifen zu Schaden kamen.

Bei AkD auf dem rechten Fahrstreifen ist der Anprall von hinten häufigstes Unfallmuster. Bei weitem häufigste Unfallursache ist mit 62 % die mangelnde Aufmerksamkeit, insbesondere bei Lkw-Fahrern. Mit knapp 80 % war der Anteil der verunglückten Mitarbeiter im Fahrzeug sehr hoch, das Verletzungsrisiko in einem Fahrzeug ist somit deutlich höher als außerhalb des Fahrzeugs. Die Unfälle ereigneten sich gleichermaßen in stationären wie in mobilen AkD. Dass es sich bei den Unfällen, bei denen Mitarbeiter des Betriebsdienstes verunglücken, vielfach um einen Unfall mit dem Absicherungsfahrzeug handelt, macht auch die hohe Anzahl der beschädigten Sicherungsanhänger deutlich. Bei 61 % aller Unfälle wurde dieser beschädigt.

Basierend auf Daten aus Nordrhein-Westfalen wurde im Rahmen des FE-Projekts die Gesamtzahl der AkD auf dem deutschen BAB-Netz ca. 73.000 pro Jahr hochgerechnet. Geht man für die 178 Autobahnmeistereien von durchschnittlich 2 AkD pro Werktag aus, ergibt sich eine Anzahl von 89.000 AkD pro Jahr durch Mitarbeiter des Betriebsdienstes. Da der rechte Fahrstreifen aufgrund nicht ausreichender Standstreifenbreite auch bei Arbeiten rechts von der Fahrbahn abgesperrt wird, kann die Anzahl der AkD, bei denen der rechte Fahrstreifen gesperrt wird, auf ca. 50.000 AkD pro Jahr abgeschätzt werden. Somit liegt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Mitarbeiter in einem Absicherungsfahrzeug in einer AkD auf dem rechten Fahrstreifen verunglückt, bei ca. 10^{-4} (= 6 Verunglückte x 80 % Anteil der Verunglückten im Fahrzeug/50.000 AkD). Nicht berücksichtigt sind hierbei die AkD durch Fremdunternehmen.

6.1.2 Reduktion der psychischen Belastungen der Mitarbeiter

Das Personal des Straßenbetriebsdienstes ist bei Arbeiten im Verkehrsraum besonderen psychischen

Belastungen ausgesetzt. Auf diese wird in der DGUV-Information 206-16 „Psychische Belastungen im Straßenbetrieb und Straßenunterhalt“ detailliert eingegangen. Für die Fahrer von Absicherungsfahrzeugen resultiert die besondere Belastung daraus, dass „der [...] Fahrer unmittelbar eine Schnittstelle zum fließenden Verkehr [bildet]. Bei beweglichen Baustellen ist ständig auf den rückwärtigen Verkehr zu achten, wobei die permanente Unfallgefahr ein hohes Maß an Anspannung erzeugt.“ [DGUV 2012]

Eine besondere Belastung tritt auf, wenn ein Kollege bei einem Unfall verunglückt. Neben der Betroffenheit resultiert die psychische Belastung auch aus der Angst um das eigene Leben. Diese Extremsituation eines verunglückten Mitarbeiters kann zu einem Trauma bei zahlreichen Kollegen führen. Das Trauma führt zu einer akuten Belastungsreaktion, die in der Regel nach wenigen Tagen wieder abklingt, aber auch psychische Erkrankungen zur Folge haben kann. [DGUV 2012]

Eine Potenzialabschätzung der Reduktion der psychischen Belastungen ist nicht möglich. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Reduktion des Aufenthalts von Mitarbeitern in Absicherungsfahrzeugen im Verkehrsraum und auch die Reduktion der Anzahl der verunglückten Mitarbeiter ein deutliches Potenzial zur Senkung der psychischen Belastungen bietet.

6.1.3 Effizienzgewinn

Wenn in den AkD auf dem rechten Fahrstreifen kein Mitarbeiter im Absicherungsfahrzeug erforderlich ist, kann dieser für andere Tätigkeiten zum Einsatz kommen. Wenn man je AkD von einer zusätzlichen Verfügbarkeit des Mitarbeiters von 4 Stunden je AkD ausgeht, sind dies je Meisterei bei 2 AkD je Werktag ca. 2.000 Personalstunden pro Jahr. Allerdings ist davon auszugehen, dass diese zusätzliche Verfügbarkeit nur zu Teilen auch effizient genutzt werden kann; bei der Potenzialabschätzung werden daher nur 50 %, d. h. 1.000 Personalstunden angesetzt. Bei einem Personalkostensatz von 44,- €/h [HOLLDORB et al. 2022] entspricht dies einem Effizienzgewinn von 44.000 € pro Jahr je Autobahnmeisterei bzw. 7,8 Mio. € p. a. für die Autobahn GmbH.

Dem vorgenannten Effizienzgewinn sind jedoch die Personalaufwendungen für die technische Aufsicht des automatisierten Systems gegenüberzustellen.

Hierfür wird davon ausgegangen, dass die technische Aufsicht von bis zu 50 AkD pro Tag durch einen Operator erfolgen kann. Geht man vereinfacht davon aus, dass die 50.000 AkD im Gesamtnetz nur Montag bis Freitag anfallen, treten bundesweit 200 AkD pro Tag auf, hierfür wären somit 4 Vollzeitstellen erforderlich, bei Personalkosten von ca. 80.000 € p. a. je Operator reduziert sich der Effizienzgewinn um 320.000 € auf ca. 7,5 Mio. € p. a.

6.2 UC5: Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und bewegen

6.2.1 Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal

Eine Motivation zum Einsatz von Vorwarntafeln, die automatisiert aufgestellt, eingesammelt und bewegt werden, ist die Steigerung der Sicherheit für das Betriebsdienstpersonal. Durch den autonomen Einsatz bestehen keine Gefährdungen für Mitarbeiter, die im Vorwarnfahrzeug sitzen oder die aus dem Fahrzeug aus- bzw. in das Fahrzeug einsteigen, wenn eine Vorwarneinheit stationär abgestellt wird.

Um das Potenzial zur Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal abschätzen zu können, wird ebenfalls auf die umfassenden Untersuchungen von ROOS et al. [2008] zurückgegriffen, die diese im FE-Vorhaben „Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen“ durchgeführt haben. Andere Untersuchungen zu Unfällen mit Vorwarneinheiten liegen nicht vor.

In der Literaturanalyse, die im Rahmen des FE-Vorhabens durchgeführt wurde, wird auf die von KAYSER et al. [1993] durchgeführte Studie verwiesen, nach der sich tödliche Unfälle für Betriebsdienstmitarbeiter zur Hälfte auf dem Standstreifen ereignen. Angaben, inwieweit hierbei Vorwarneinheiten betroffen sind, werden dabei nicht gemacht. Es wird jedoch deutlich, dass auch auf dem Standstreifen Unfälle passieren und dass die Unfallschwere überproportional ist, da bei diesen Unfällen vielfach Lkw Unfallverursacher sind.

In der umfassenden Analyse von Unfällen mit Beteiligung des Straßenbetriebsdienstes auf Bundesautobahnen, für die im Rahmen des FE-Vorhabens Unfallmeldungen aus den Jahren 1997 bis 2005 aus 13 Bundesländern ausgewertet wurden, zeigt

sich, dass der Anteil der beschädigten Vorwarntafeln mit 3 % relativ gering ist. Bei den 951 ausgewerteten Unfällen wurden 31 Vorwarneinheiten beschädigt, dies entspricht ca. 3,5 beschädigten Vorwarneinheiten p. a. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch, dass nur beschädigte Vorwarntafeln der Straßenbauverwaltung, nicht jedoch von Fremdunternehmen, z. B. bei Schutzplankenreparaturen, erfasst wurden. Angaben zum Unfallverursacher oder der Anzahl der Verunglückten bei den Unfällen mit Vorwarneinheiten liegen nicht vor. Da es jedoch immer Unfälle auf dem Standstreifen sind, auf dem die Vorwarneinheiten in der Regel stehen, ist davon auszugehen, dass zumeist auch Mitarbeiter des Straßenbetriebsdienstes verunglückten, wenn die Vorwarneinheit nicht separat abgestellt wurde.

Vorwarntafeln kommen immer dann zum Einsatz, wenn Fahrstreifen gesperrt oder verschwenkt werden. Gemäß Kapitel 6.1.1 kann man von ca. 50.000 AkD im BAB-Netz ausgehen, bei denen der rechte Fahrstreifen abgesperrt wird. Hinzu kommen die AkD auf dem linken oder den mittleren Fahrstreifen, bei denen ebenfalls immer Vorwarneinheiten eingesetzt werden. Diese liegen aufgrund von Erfahrungswerten in einer Größenordnung von 20.000 AkD pro Jahr, sodass von ca. 70.000 AkD mit Vorwarneinheiten des Straßenbetriebsdienstes ausgegangen werden kann. Bei diesen AkD kommen in der Regel zwei Vorwarneinheiten zum Einsatz, bei Sperrung der mittleren Fahrstreifen oder bei Nachtbaustellen werden sogar drei Vorwarneinheiten eingesetzt [FGSV 2021]. Insgesamt liegt der Umfang der eingesetzten Vorwarneinheiten der Autobahnmeistereien somit in einer Größenordnung von 150.000 Einsätzen pro Jahr. Bezieht man die durchschnittlich 3,5 geschädigten Vorwarneinheiten auf die ca. 150.000 Einsätze pro Jahr, liegt die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall mit einer Vorwarneinheit bei ca. 0,0023 %. Es ist davon auszugehen, dass bei einem Großteil der Unfälle mit Vorwarneinheiten auch Mitarbeiter verunglücken. Hinzu kommen die Vorwarneinheiten der Fremdunternehmer, für die der Einsatzumfang auf weitere 50.000 pro Jahr geschätzt wird.

6.2.2 Reduktion der psychischen Belastungen der Mitarbeiter

Wie in Kapitel 6.1.2 dargestellt, sind Mitarbeiter bei Einsätzen im Verkehrsraum besonderen psychischen Belastungen ausgesetzt. Dies gilt somit auch für die Mitarbeiter, die im regulären Betrieb Vor-

warntafeln zum Einsatzort auf dem Standstreifen bringen bzw. diese bei mobilen AkD auch bewegen. Durch die Automatisierung des Prozesses reduziert sich die Aufenthaltszeit der Mitarbeiter in einem Fahrzeug im Verkehrsraum erheblich, sodass auch dieser Use Case ein deutliches Potenzial zur Senkung der psychischen Belastungen bietet.

6.2.3 Effizienzgewinn

Für die Abschätzung des Effizienzgewinns wird je Autobahnmeisterei von 2 AkD pro Werktag mit 2 Vorwarneinheiten ausgegangen. Setzt man je AkD durchschnittlich 4 h incl. Auf- und Abbau an, so fallen für die Vorwarneinheiten ca. 4.000 Personalstunden pro Jahr an, wenn die Vorwarneinheiten nicht automatisiert aufgestellt, bewegt und eingesammelt werden. Berücksichtigt man, dass bei stationären AkD, die über mehrere Stunden andauern, kein Mitarbeiter über die gesamte Zeit im Vorwarnfahrzeug bleibt, reduziert sich der Umfang des Personaleinsatzes. Dafür wird eine Abminderung der einzusparenden Personalstunden um 25 % angesetzt, sodass der Effizienzgewinn bei ca. 3.000 Personalstunden jährlich je Meisterei liegt.

Dem vorgenannten Effizienzgewinn sind jedoch die Personalaufwendungen für den Betrieb des automatisierten Systems gegenüberzustellen:

- Für das Aufstellen und Einsammeln aller Vorwarneinheiten in einer Meisterei (im Mittel je 2 Vorwarneinheiten an 2 AkD pro Werktag) werden ca. 4 h je Werktag angesetzt, sodass der Personalaufwand bei ca. 1.000 Personalstunden p. a. liegt.
- Für die Fernüberwachung des Betriebszustandes sowie das Auslösen der Bewegungsvorgänge wird je AkD mit 2 Vorwarneinheiten ein durchschnittlicher Aufwand je Einsatz von 1 h für einen Operator in einer Einsatzzentrale abgeschätzt. Bei durchschnittlich 2 AkD je Meisterei je Werktag sind somit ca. 500 Personalstunden p. a. zu berücksichtigen.

Insgesamt resultieren aus dem Einsatz der automatisierten Vorwarneinheiten somit ein Einsparpotenzial von ca. 2.000 h Straßenwärter und ein Mehraufwand von ca. 500 h Operator. Bei einem Personalkostensatz von 44,- €/h für den Straßenwärter bzw. 47,- €/h für einen Operator [HOLLDORB et al. 2022] entspricht dies einem Effizienzgewinn von 64.500 € pro Jahr je Autobahnmeisterei bzw. 11,5 Mio. € p. a. für die Autobahn GmbH.

6.3 UC9: Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne

6.3.1 Verbesserung der Arbeitssicherheit für das Betriebsdienstpersonal und der Verkehrssicherheit

Eine Motivation zur automatisierten Streckenkontrolle mit einer Drohne ist die Steigerung der Sicherheit für das Betriebsdienstpersonal, aber auch für die Verkehrsteilnehmer. Durch den Drohneneinsatz wird die Streckenkontrolle nicht mehr aus dem fahrenden Fahrzeug auf dem Standstreifen oder bei fehlendem Standstreifen auf dem rechten Fahrstreifen in langsamer Fahrt durchgeführt. Streckenkontrollen werden in der Regel zusammen mit Wartungstätigkeiten durchgeführt, sodass einfache Mängel auch unmittelbar behoben werden können. Zum Einsatz kommende Streckenwartfahrzeuge habe eine Breite von ca. 2,20 m, für die Wartungstätigkeiten, z. B. Einsammeln von Gegenständen, muss der Fahrer aus- und zur Weiterfahrt wieder einsteigen. Zusätzliche Absicherungsfahrzeuge werden für die Streckenkontrolle nicht eingesetzt.

Unfallanalysen zu Unfällen mit Streckenwartfahrzeugen liegen nicht vor. Daher wird wiederum auf die umfassenden Untersuchungen von ROOS et al. [2008] zu Unfällen in AkD zurückgegriffen. Auch wenn die Streckenkontrolle nicht als AkD im klassischen Sinn anzusehen ist, können aus der Untersuchung Ansätze für eine Gefährdung abgeleitet werden. Bei 610 der insgesamt 951 ausgewerteten Unfälle ist eine Angabe zur Tätigkeit vorhanden. 32 Unfälle (= 5 %) ereigneten sich im Rahmen der „Streckenwartung“, d. h. einfachen Wartungsarbeiten, die vielfach in Kombination mit der Streckenkontrolle durchgeführt wurden. Als weitere Tätigkeitskategorie wurden „Wartungsarbeiten“ klassifiziert, bei ihnen ist eher davon auszugehen, dass sie nicht im Rahmen der Streckenkontrolle erfolgten, sodass sie nicht weiter betrachtet werden.

Bei den 32 Unfällen verunglückten insgesamt 12 Mitarbeiter des Straßenbetriebsdienstes, zu 90 % waren die Mitarbeiter im Fahrzeug, was ein Indiz für die überwiegend richtige Zuordnung zu einer Kontrolltätigkeit ist, da Wartungstätigkeiten nicht aus dem Fahrzeug heraus ausgeführt werden können. Die Unfallfolge war im Vergleich zu anderen Tätigkeiten leichter, von den 12 Verunglückten war nur ein Schwerverletzter, aber elf Leichtverletzte. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass die Mitarbeiter im Fahrzeug in der Regel angeschnallt

waren und dass der Anprall durch das auffahrende Fahrzeug weniger heftig war. Berücksichtigt man, dass die Unfallauswertung über 9 Jahre (1997 bis 2005) und für die Autobahnen von 13 Bundesländern durchgeführt wurde, kann man von ca. 4 Unfällen pro Jahr mit rechnerisch 1,5 verunglückten Mitarbeitern des Betriebsdienstes ausgehen. Daten zur Anzahl der verunglückten Verkehrsteilnehmer bei den Unfällen im Rahmen der Streckenwartung wurden durch ROOS et al. [2008] nicht ausgewertet.

Für die Risikoabschätzung wird davon ausgegangen, dass das ca. 13.000 km lange BAB-Netz Montag bis Freitag mit ca. 30 km/h im Rahmen der Streckenkontrolle befahren wird. Hieraus resultieren ca. 870 Einsatzstunden pro Tag bzw. 225.000 Einsatzstunden pro Jahr. Das Unfallrisiko für einen Unfall beträgt ca. $0,18 \times 10^{-4}$ Unfälle/Einsatz-h und für einen verunglückten Mitarbeiter des Betriebsdienstes liegt es bei ca. $0,07 \times 10^{-4}$ Mitarbeiter/Einsatz-h. Hinzu kommen die verunglückten Verkehrsteilnehmer, für die jedoch keine Abschätzung möglich ist.

6.3.2 Reduktion der psychischen Belastungen der Mitarbeiter

Wie in Kapitel 6.1.2 dargestellt, sind Mitarbeiter bei Einsätzen im Verkehrsraum besonderen psychischen Belastungen ausgesetzt. Dies gilt somit auch für die reguläre Streckenkontrolle, auch wenn sie in der DGUV-Information 206-16 „Psychische Belastungen im Straßenbetrieb und Straßenunterhalt“ [DGUV 2012] nicht besonders genannt wird. Durch den Einsatz von Drohnen reduziert sich die Aufenthaltszeit der Mitarbeiter in einem Fahrzeug im Verkehrsraum erheblich, sodass auch dieser Use Case ein deutliches Potenzial zur Senkung der psychischen Belastungen bietet.

6.3.3 Effizienzgewinn

Für die Abschätzung des Effizienzgewinns werden die jährlich ca. 225.000 Einsatzstunden für die Streckenkontrolle als Grundlage herangezogen. Bei einer vollständigen Streckenkontrolle mit Drohnen können keine Mängel mehr beseitigt werden, für diese sind dann zusätzliche An- und Abfahrten bzw. Einsatzstunden notwendig. Pauschal werden hierfür 1/3 der eingesparten Einsatzstunden angesetzt, sodass das Einsparpotenzial bei ca. 150.000 Einsatzstunden pro Jahr liegt.

Dem vorgenannten Effizienzgewinn sind jedoch die Personalaufwendungen für die Überwachung des Drohnenbetriebs gegenüberzustellen. Setzt man je Meisterei den Aufwand mit 2 h pro Einsatztag an, so ist von ca. 92.000 Operatorstunden im Gesamtnetz auszugehen.

Insgesamt resultiert aus dem Einsatz von Drohnen für die Streckenkontrolle bei einem Personalkostensatz von 44,- €/h für den Straßenwärter bzw. 47,- €/h für einen Operator [HOLLDORB et al. 2022] ein Effizienzgewinn von 2,2 Mio. € p. a. für die Autobahn GmbH bzw. 12.300 € p. a. je Autobahnmeisterei.

6.4 Markt- und Innovationspotenzial

Die Marktpotenziale für die näher betrachteten Use Cases resultieren zum einen aus dem Einsatz in den deutschen Autobahnmeistereien. Weitere Marktpotenziale können aber auch im Einsatz in Straßenmeistereien, durch private Dienstleister oder analoge Einsatzbereiche in der Kommunalwirtschaft gesehen werden. Auf Grundlage der in Tabelle 2-3 hochgerechneten Ausstattung resultiert folgendes Marktpotenzial:

- UC3: Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug:

Geht man von einer Abschreibungsdauer von 10 a für große Lkw aus, so liegt das Marktpotenzial bei ca. 120 Lkw pro Jahr. Zwar müssen nicht zwangsläufig alle Lkw für den autonomen Einsatz vorgesehen werden. Allerdings sind in der Regel alle Lkw auch als Absicherungsfahrzeuge im Einsatz und bei entsprechender Verfügbarkeit der Technologie ist es aus betrieblich-organisatorischen Gründen zweckmäßig, alle Lkw damit auszurüsten, um sie so flexibel einsetzen zu können. Weitere Potenziale sind bei Fremdunternehmern auf Autobahnen, z. B. bei der Reparatur von passiven Schutzvorrichtungen, bei Markierungs- und bei Reinigungsarbeiten vorhanden. Im nachgeordneten Netz, d. h. in Straßenmeistereien und im kommunalen Bereich ist kein unmittelbares Marktpotenzial zu sehen, da das System hier aufgrund der Komplexität der Fahraufgabe nicht unmittelbar zum Einsatz kommen kann, sondern erst, wenn die Technologie des autonomen Fahrens auch für diese Umfeldbedingungen verfügbar ist.

- UC5: Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und bewegen:

Für Vorwarntafeln kann ebenfalls von einer Gesamtausstattung von ca. 1.200 Stück in den deutschen Autobahnmeistereien ausgegangen werden. Allerdings erscheint hier eine kürzere Lebensdauer als bei Lkw realistisch, für sie werden acht Jahre angesetzt, sodass das Marktpotenzial bei ca. 150 Vorwarntafeln liegt. Die Anzahl der Trägerfahrzeuge liegt bei 50 pro Jahr, wenn man davon ausgeht, dass ein Trägerfahrzeug drei Vorwarntafeln transportieren kann. Wie das Absicherungsfahrzeug ist der Schwerpunkt des Einsatzes, von Vorwarntafeln das Autobahnnetz, sie kommen jedoch auch im nachgeordneten und kommunalen Bereich zum Einsatz. Allerdings ist hier aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten das Gefährdungspotenzial geringer und bewegliche Arbeitsstellen, bei denen der Standort der Vorwarntafeln immer wieder angepasst werden muss, sind nur vereinzelt notwendig. Für Fremdunternehmer, die auf den Autobahnen eingesetzt werden, kann das System hingegen von Interesse sein, sodass auch hier ein weiteres Marktpotenzial zu sehen ist.

- UC9: Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne:

Für die Abschätzung des Marktpotenzials wird eine durchschnittliche Ausstattung je Autobahnmeisterei mit zwei Drohnen angesetzt. Berücksichtigt man, dass Drohnen nicht im gesamten Autobahnnetz zum Einsatz kommen können, z. B. nicht im Bereich von Flughäfen, so liegt das Gesamtpotenzial für die Ausstattung der 188 Autobahnmeistereien bei 200 bis 300 Stück. Da sich die Lebensdauer der Drohnen aufgrund fehlender Erfahrungen nicht abschätzen lässt, ist es nicht möglich, hieraus einen jährlichen Bedarf abzuleiten. Generell kann der Drohneneinsatz auch für die Streckenkontrolle durch die Straßenmeistereien von Interesse sein. Allerdings ist hier aufgrund der angrenzenden Bebauung, insbesondere in Ortsdurchfahrten, kaum ein weiterer Einsatzbereich mit entsprechendem Marktpotenzial zu sehen.

Neben den direkten Potenzialen für die Industrie, die primär die Marktpotenziale infolge des Einsatzes dieser Technologien sind, können sich grundsätzlich auch Marktpotenziale in angrenzenden

Fachdisziplinen ergeben. Genauso können bestimmte Erkenntnisse, z. B. aus einer prototypischen Umsetzung für den Straßenbetriebsdienst, für weitere Märkte verwendet werden. Die Diskussionen in den Workshops und im Betreuerkreis haben jedoch gezeigt, dass diese Annahme in der Praxis eher unwahrscheinlich ist. Naheliegender ist, dass der Massenmarkt der Ursprung für Innovationen ist, da dieser wesentlich größer und damit interessanter für die Industrie ist. Diese innovativen Entwicklungen würden dann mit einer Verzögerung auch Einzug in andere Märkte halten. Ein Beispiel im Fahrzeugsegment ist die Entwicklung und Zulassung des Level-3 Systems „Drive Pilot“ von Mercedes für den Massenmarkt (siehe Kapitel 2.3.4). Diese und ähnliche Technologien können nach einer Etablierung kostengünstiger für spezifische, relativ kleine Märkte, wie z. B. für den Straßenbetriebsdienst, adaptiert und eingesetzt werden.

Mit der neuen Verordnung zum Autonomen Fahren des BMDV ist zudem der Rechtsrahmen für autonomes Fahren in Deutschland vervollständigt worden und begünstigt damit die Überführung von Entwicklungen in diesem Bereich bundesweit in die Realität (Kapitel 2.3.4). Analog zum vorangegangenen Beispiel ist daher zu erwarten, dass Level-4 Fahrzeuge und die dafür notwendigen Technologien in naher Zukunft zugelassen werden und die Entwicklungen für den Massenmarkt vorangetrieben werden.

In einer ähnlichen Weise kann auch der Markt für Drohnen, insbesondere die Automatisierungsfunktionen in diesem Bereich, bewertet werden. Auch hier ist eine spezifische Neuentwicklung aufgrund des kleinen Marktes für die Industrie eher uninteressant. Vor allem der große Markt im Privatbereich treibt die innovativen Entwicklungen dieser Technologien voran, die anschließend ebenfalls kostengünstiger für kleine Märkte adaptiert und eingesetzt werden können.

UC	Bezeichnung	Konfiguration
1	Schnee räumen mit einem autonom agierenden Seitenpflug	Manuelles Basisfahrzeug + automatisiertes Arbeitsgerät
2	Fahrerloses Schneeräumen im Flotteneinsatz	Automatisiertes Basisfahrzeug + automatisiertes Arbeitsgerät
3	Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug	Automatisiertes Basisfahrzeug + automatisiertes Arbeitsgerät
4	Autonomes Folgen für Kolonnenfahrzeuge (z. B. Müllsammlung)	Automatisiertes Basisfahrzeug + automatisiertes Arbeitsgerät
5	Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und bewegen	Manuelles Ausbringfahrzeug + automatisiert fahrendes und agierendes Arbeitsgerät
6	Seitenstreifen kehren mit einer autonomen Kehrmachine	Automatisiertes Basisfahrzeug + automatisiertes Arbeitsgerät
7	Automatisierte Leitpfostenreinigung	Automatisiertes Basisfahrzeug + automatisiertes Arbeitsgerät
8	Automatisierte Grasmahd	Automatisiert fahrendes und agierendes Arbeitsgerät
9	Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne	Automatisiert fliegendes und agierendes Arbeitsgerät

Tab. 7-1: Betrachtete Use-Cases und Fahrzeugkonfigurationen

7 Bewertung der Realisierbarkeit

7.1 Ansatz für die Bewertung der Realisierbarkeit

Um für alle betrachteten Use Cases eine vergleichbare Bewertung zu erreichen, wird der folgende Ansatz angewendet. Für alle Use Cases kann dabei die Gesamtfunktionalität in zwei generische Aufgaben mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden unterteilt werden:

- die Fortbewegung und
- die Arbeitsaufgabe.

Daraus abgeleitet ergeben sich unterschiedliche Konfigurationen für die ausgewählten und alle initial betrachteten Use Cases.

Im Folgenden werden für die ausgewählten und oben farblich markierten Use Cases der prinzipielle funktionale Aufbau und eine mögliche grobe technische Architektur beschrieben. Basierend auf diesen Annahmen kann dann eine anschließende Bewertung des Risikopotenzials im Sinne der funktionalen Sicherheit und Cybersecurity erfolgen.

Der dafür vorgesehene Ansatz lehnt sich an die Methodik der HARA (Hazard Analysis and Risk Assessment) für die funktionale Sicherheit und an die TARA (Threat Analysis and Risk Assessment) für die Cybersecurity an, ohne diese jedoch vollständig und konform durchzuführen. In jedem Fall müssen komplette, prozesskonforme HARAs und TARAs in anschließenden Entwicklungsprojekten durchge-

führt werden. Die hier durchgeführten Analysen sollen lediglich eine erste grobe Abschätzung und Vergleichsmöglichkeit bieten.

Weitere Aspekte der Realisierbarkeit, neben dem Risikopotenzial, sind die Bewertung der:

- Komplexität (und des damit verbundenen Entwicklungsaufwands),
- Verfügbarkeit der erforderlichen Technologien,
- Gesetzlichen Randbedingungen zur Zulassung.

7.2 Use Case 3: Fahrstreifen absichern mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug

7.2.1 Vereinfachte funktionale Architektur

Um die Funktionalität des autonomen Absicherungsfahrzeugs mit einer gezogenen Absperrtafel beispielhaft darzustellen, wird die in Bild 7-1 dargestellte Aufteilung in Funktionsblöcke vorgeschlagen.

7.2.2 Missionskontrolle

Die Missionskontrolle beinhaltet die Definition sämtlicher Randbedingungen des Einsatzes, die Kommunikation mit dem Fahrzeug und dem Arbeitsgerät und das Auswählen sowie Starten und Stoppen der Funktionen. Dazu gehören u. a. Angaben zum/zur

- Start- und Endpunkt des Einsatzes und der Festlegung des Führungsfahrzeugs

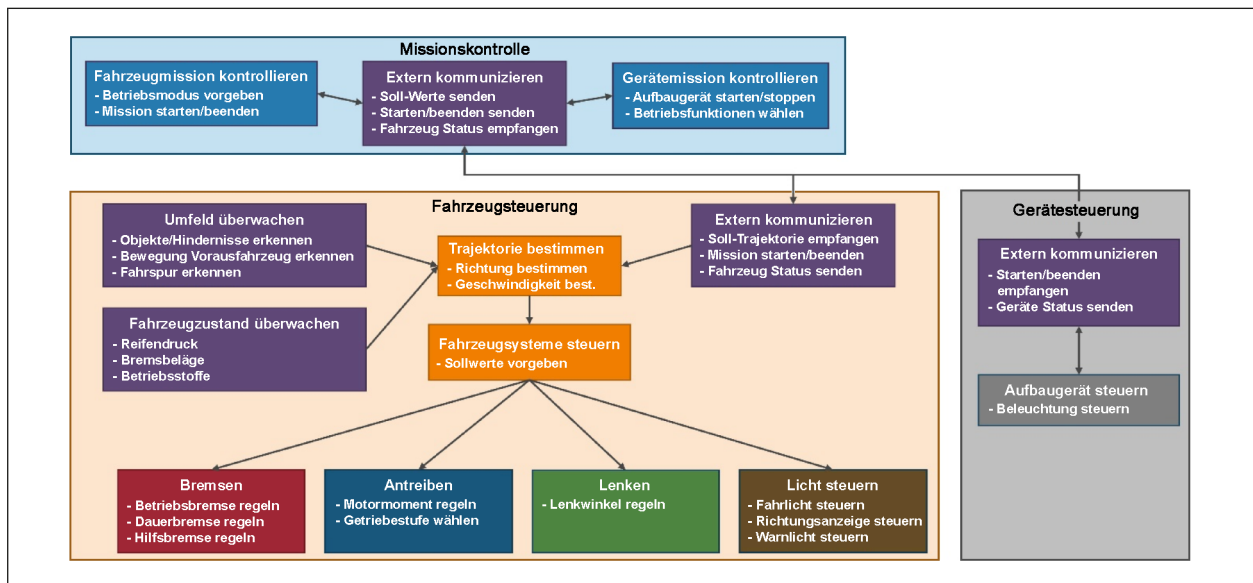


Bild 7-1: Use Case 3 – vereinfachte funktionale Architektur

- Betriebsmodus (gekoppelter Betrieb oder Folgebetrieb)
- Einsatzkonfiguration (Sollabstand, max. Geschwindigkeit, ...)
- Betriebsmodus des Aufbaugerätes (gezogener Anhänger mit Absperrtafel und Lichtzeichen)

Die Missionskontrolle stellt auch die Schnittstelle zum Bediener des Fahrzeugs dar. Auf die näheren Eigenschaften der Mensch-Maschine-Schnittstelle soll jedoch an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden. Hier sind verschiedene kabelgebundene oder drahtlose Lösungen vorstellbar, die entweder fest im Fahrzeug eingebaut oder mobil sein können. Die Rückmeldungen der Systeme zu den aktuellen Betriebsdaten und Status- sowie Fehlermeldungen würden ebenfalls über die jeweiligen Lösungen zur Mensch-Maschine-Schnittstelle erfolgen. Von dort aus wäre in einem weiteren Schritt auch die Weiterleitung und Bündelung sämtlicher operativer Daten an eine zentrale Leitstelle möglich.

7.2.3 Fahrzeugsteuerung

Die Fahrzeugsteuerung umfasst alle Systeme, die notwendig sind, damit das Fahrzeug dem Führungsfahrzeug im ausgewählten Betriebsmodus folgen und dabei auf Hindernisse reagieren kann. Die Fahrzeugsteuerung kommuniziert mit der Missionskontrolle und überwacht außerdem den Zustand

des Fahrzeugs (Reifendrucke, Bremsbeläge, Füllstände, Fehlerinformationen, ...).

Die erforderlichen Sicherheitskonzepte sind ebenfalls Bestandteil der Fahrzeugsteuerung. Im Fehlerfall muss ein sicherer Zustand (d. h. ein sicheres Anhalten und Warnen der Umgebung) durch die Fahrzeugsteuerung autark erfolgen.

7.2.4 Gerätesteuerung

Für diesen Use Case ist die Gerätesteuerung beschränkt auf die Steuerung der Lichtzeichen und Richtungsanzeige auf dem gezogenen Absperrtafelanhänger. Die Gerätesteuerung kann entweder manuell durch den Fahrer des Absicherungsfahrzeugs oder automatisiert erfolgen. Beide Wege sind mit dem Konzept einer zentralen Missionskontrolle umsetzbar.

7.2.5 Vereinfachte technische Architektur

Für ein konkretes Fahrzeugkonzept müssen die beschriebenen Funktionen physischen Subsystemen zugeordnet werden. Eine mögliche Aufteilung ist in Bild 7-2 dargestellt. Sie orientiert sich an üblichen und im Wesentlichen marktverfügbaren Lösungen. Die Zuordnung der Funktionen zu den Subsystemen ist über die Farbcodierung erkennbar.

Sämtliche Umfelderfassungsfunktionen (einschließlich der im Bild symbolisch dargestellten Kameras

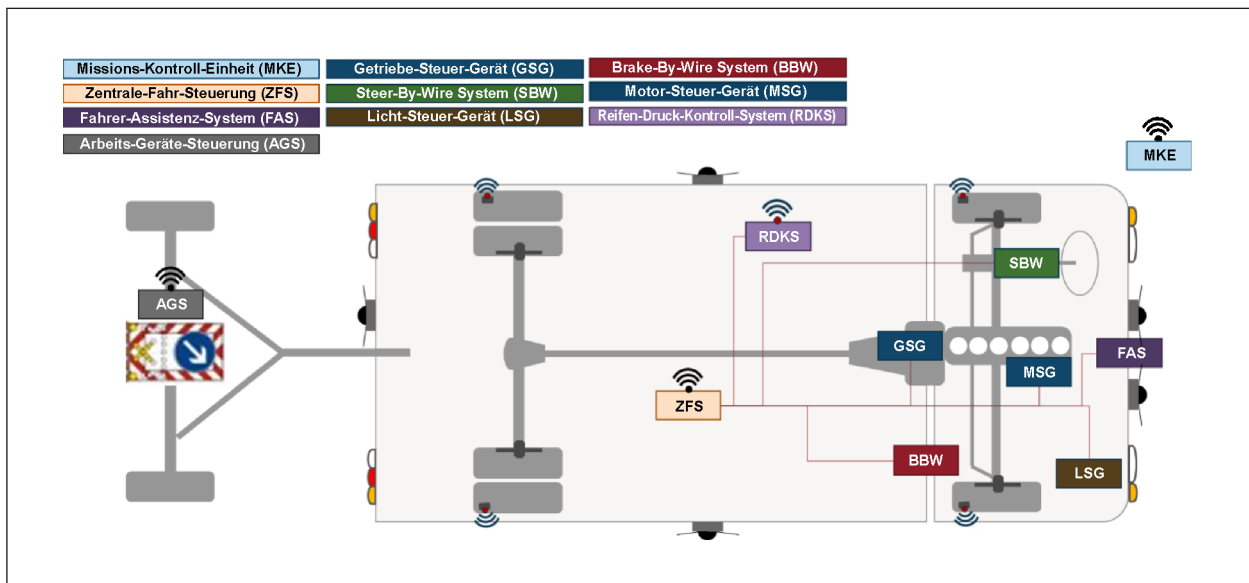


Bild 7-2: Use Case 3 – vereinfachte technische Architektur

und Radarsensoren) sind dem Fahrer-Assistenzsystem zugeordnet.

Dabei sind die Kommunikationsschnittstellen innerhalb des Fahrzeugs kabelgebunden – mit Ausnahme des Reifendruck-Kontrollsystems, welches mit den Sensoren im Reifen über eine Funkverbindung kommuniziert. Die Schnittstellen zwischen der Missions-Kontroll-einheit und der zentralen Fahrsteuerung sowie der Arbeitsgerätesteuerung werden als drahtlose Schnittstellen angenommen. Damit ist die Missionskontrolle räumlich vom Fahrzeug getrennt und könnte sowohl über ein mitgeführtes Endgerät (z. B. Tablet), als auch über eine zentrale Leitstelle realisiert werden.

7.2.6 Risikopotenzial bzgl. funktionaler Sicherheit

Zur Abschätzung des Risikopotenzials werden die einzelnen Hauptfunktionen des Systems nach relevanten Kriterien bewertet, um die wesentlichen Ausfallrisiken und deren Auswirkungen auf betroffene Personen und Verkehrsteilnehmer zu identifizieren. Dabei werden auch die Häufigkeiten der im Fehlerfall kritischen Betriebsituation sowie die Möglichkeiten zur Kontrollierbarkeit der fehlerhaften Funktion berücksichtigt. Um eine ausreichende Unterscheidung zwischen geringeren und höheren Risiken in der Bewertung zu erhalten, werden die Zahlen für die Wichtigkeit der einzelnen Stufen mit einer vergrößerten Spreizung (10-06-03-01) gewählt.

Einzelheiten dazu im Anhang 5: Checkliste zur Identifikation potenzieller funktionaler Sicherheitsrisiken für UC3 Anhang 5.

7.2.7 Zusammenfassung Risikopotenzial funktionale Sicherheit

Aus der betrachteten Funktionsarchitektur für die Automatisierung der Fahraufgabe ergeben sich also hohe Risikopotenziale für folgende 5 Funktionsgruppen:

- Trajektorie bestimmen
- Fahrzeugsystem steuern
- Bremsen
- Lenken
- Umfeld überwachen

Diese Funktionen können bei Ausfall oder fehlerhaftem Verhalten mit hoher Wahrscheinlichkeit alle dazu führen, dass es zu Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommt. Gemäß der üblichen Vorgehensweise bei einer Risikoanalyse, wird hier das Gesamtsystem ohne Sicherheitsmechanismen betrachtet (weil diese Maßnahmen aus dem Ergebnis der Analyse abgeleitet und definiert werden, und eine Berücksichtigung innerhalb der Analyse zu einem Zirkelbezug führen würde). Es wird also nicht betrachtet, dass z. B. eine Fehlfunktion in der Trajektorienbestimmung durch die Umfeldüberwa-

chung (Verlassen der Fahrspur) erkannt werden könnte, und ein Sicherheitsmechanismus dann über die Lenkung und Bremse eine Notreaktion einleiten würde. Eine solche Sicherheitsfunktion wäre eine mögliche Antwort auf die abgeleiteten Sicherheitsziele (s. u.).

Zu den Funktionsgruppen mit einem mittleren Risikopotenzial gehören:

- Licht steuern
- Extern kommunizieren
- Antriebsfunktion

Die Lichtsteuerung ist mit einem mittleren Risikopotenzial eingestuft, weil andere Verkehrsteilnehmer eigene Lichtanlagen haben und damit das Hindernis im Dunkeln mit einiger Verspätung erkennen und reagieren können. Die standardmäßigen Reflektoren am Absicherungsfahrzeug gehören bereits zu den Sicherheitsmechanismen und stellen eine Gegenmaßnahme dar.

Die externe Kommunikation liegt bei der Bewertung genau an der Grenze zwischen mittlerem und hohem Risikopotenzial. Der Grund für die etwas geringere Einstufung ist, dass der komplette Ausfall der Kommunikation im Vergleich zu einer Verfälschung als weniger kritisch eingestuft wurde, da das Fahrzeug (ohne weitere Sicherheitsmechanismen) in diesem Fall seine aktuelle Trajektorie beibehalten und trotz der fehlenden externen Daten korrekt auf z. B. Hindernisse und Kurven reagieren würde.

Im gleichen Sinne wird das Risiko im Falle eines Ausfalls für den Antrieb deutlich geringer als z. B. für die Bremse oder Lenkung eingestuft, da ein Stehenbleiben zu den normalen Betriebsszenarien gehört. Von daher liegt die Antriebsfunktion im mittleren Bereich des Risikopotenzials. Ob das Risiko einer ungewollten maximalen Antriebsleistung durch diese Gesamteinschätzung am Ende zu gering bewertet wurde, kann nur eine detaillierte HARA ermitteln, da dort z. B. die Kräfteverhältnisse für den Fall Gas gegen Bremse genauer untersucht würden.

Das Risikopotenzial für die Überwachung des Fahrzeugzustands wird als gering eingestuft, da hier die technische Einsatzbereitschaft des Fahrzeugs im Fokus steht. Auch ein Reifenplatzer ist vergleichsweise unkritisch, da das Fahrzeug im hier betrachteten automatisierten Einsatz überwiegend mit geringer Geschwindigkeit fährt.

Die Gerätesteuerung ist in diesem Use Case auf die Steuerung der Lichtanlage der gezogenen Warntafel beschränkt und liegt daher genau wie die Lichtanlage des Absicherungsfahrzeugs im mittleren Bereich.

7.2.8 Risikopotenzial bzgl. Cybersecurity

Für die Abschätzung des Cybersecurity-Risikopotenzials reicht die rein funktionale Betrachtung nicht aus, da hierfür Annahmen über die externen- und internen Schnittstellen getroffen werden müssen. Die physischen Schnittstellen (sowohl kabelgebunden als auch drahtlos) sind die wesentlichen möglichen Angriffspfade für eine Cyber-Attacke, und damit die Basis für die Bewertung der damit verbundenen möglichen Risiken. In der folgenden Analyse werden, ausgehend von den sog. Cybersecurity Eigenschaften des jeweiligen Subsystems und seiner Schnittstellen, die Angriffspfade und die möglichen Auswirkungen grob bewertet.

Das Cybersecurity-Risikopotenzial ist jedoch nicht auf das Fahrzeug bzw. Arbeitsgerät beschränkt, da auch andere Stellen der gesamten Wirkkette für einen fehlerfreien Betrieb betrachtet werden müssen, die außerhalb des Fahrzeugs liegen. Bei allen teleoperierten oder autonom agierenden Systemen ist der Zugang zu den Eingabegeräten, die das System und den Arbeitseinsatz steuern, zwingend mitzubetrachten, da die Bedienung oder Manipulation durch eine nicht autorisierte Person einen wesentlichen Angriffspfad darstellt. Im gleichen Maße wie die Bedieneinrichtungen sind auch die Werkstätten für Wartung und Reparatur betroffen. Wenn dort z. B. Softwareupdates durchgeführt werden, darf das Risiko einer möglichen Manipulation durch nicht autorisierte Personen nicht außer Acht gelassen werden.

Um eine ausreichende Unterscheidung zwischen geringeren und höheren Risiken in der Bewertung zu erhalten, werden die Zahlen für die Wichtung der einzelnen Stufen mit einer vergrößerten Spreizung (10-06-03-01) gewählt. Einzelheiten dazu im Anhang 8: Checkliste zur Identifikation potenzieller Cybersecurity-Risiken für UC3.

7.2.9 Zusammenfassung Risikopotenzial Cybersecurity

Aus der betrachteten technischen Architektur für die Automatisierung der Fahraufgabe ergeben sich

hohe Risikopotenziale für die Missions-Kontrolleinheit (MKE) und die Zentrale-Fahrsteuerung (ZFS), da diese über Drahtlosverbindungen verfügen. Die anderen Systeme, die kabelgebunden vernetzt sind, sind per Definition unkritischer (d. h. mittlere oder geringe Risikoeinstufung), da eine Manipulation einen physischen Eingriff direkt am Fahrzeug erfordert, während Drahtlosverbindungen als ortsunabhängig angreifbar gelten.

Die Bewertung des Risikopotenzials dessen, was außerhalb des Fahrzeugs liegt, ist durch eine separate Tabelle zusammengefasst worden. Dabei kann in diesem Rahmen nur auf die unterschiedlichen Risiken der Einsatzumgebung hingewiesen werden. Welche Steuereinrichtungen beispielsweise in diesem Use Case eingesetzt werden sollten, ist im Rahmen dieses Projekts nicht im Detail ausgearbeitet worden.

7.2.10 Use Case 3: Zusammenfassende Bewertung

Komplexität/Entwicklungsaufwand

Die Automatisierung der Fahraufgabe des Absicherungsfahrzeugs ist im Vergleich zu einem Fahrzeug, das autonom mit hoher Geschwindigkeit von einem Start- zum Endpunkt durch ein komplexes Verkehrsgeschehen fahren kann, weniger anspruchsvoll. Durch die Einschränkung auf den gekoppelten Betrieb bei höherer Geschwindigkeit und das Folgen mit größerem Abstand bei geringer Geschwindigkeit, wird die Trajektorien-Bestimmung vereinfacht. Die Arbeitsaufgabe, das Steuern der richtungsabhängigen Beleuchtung der gezogenen Absperrtafel, ist von geringerer Komplexität.

Trotzdem ergeben sich aus den oben analysierten Risikopotenzialen hohe Anforderungen an die Performance, Sicherheit und Zuverlässigkeit der Subsysteme sowie der Missionskontrolle, die auch gesicherte Prozesse in der Bedienung und Wartung voraussetzt.

Verfügbarkeit der erforderlichen Technologien

Die Technologien sind prinzipiell verfügbar und Fahrzeuge mit vergleichbaren Einsatzbedingungen sind in der Praxis prototypisch dargestellt worden (siehe aFAS). Generell ist die Weiterentwicklung eines Prototypensystems zur Serienlösung ein großer Aufwand, da in diesem Schritt alle erkannten

Detailprobleme gelöst, prozesskonform entwickelt und die Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb nachgewiesen werden müssen. Darüber hinaus müssen Serienlösungen von normal qualifizierten Personen (d. h. keine eingewiesenen Ingenieure und Techniker) bedienbar sein. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich viele der erforderlichen Subsysteme in einer Serienentwicklung, aber eine uneingeschränkte Anwendung für den öffentlichen Verkehr steht noch aus.

Sicherheits- und Cybersecurityziele

Die letztlich gültigen und vollständigen technischen Sicherheits- und Cybersecurityziele für die beschriebenen Funktionen und Subsysteme müssen aus den in den späteren Serienentwicklungsprojekten durzuführenden detaillierten Analysen (HARA und TARA) abgeleitet werden. In diesem Rahmen können nur beispielhaft einige Ziele genannt werden:

- Auswahl Sicherheitsziele:
 - Eine unbeabsichtigte oder unautorisierte Änderung der Missionsvorgabe soll verhindert werden.
 - Ein unbeabsichtigtes oder unautorisiertes Starten oder Stoppen der Mission soll verhindert werden.
 - Eine unbeabsichtigte oder unautorisierte Änderung der Fahrtrajektorie soll verhindert werden.
 - Eine fehlerhafte Erkennung von Hindernissen in Bezug auf Größe, Abstand und Relativgeschwindigkeit soll verhindert werden.
 - Eine sicherheitskritische Abweichung zwischen dem Soll- und Istwert einer Bremsansteuerung soll verhindert werden.
 - Eine sicherheitskritische Abweichung zwischen dem Soll- und Istwert der Antriebssteuerung soll verhindert werden.
 - Eine sicherheitskritische Abweichung zwischen dem Soll- und Istwert einer Lenkwinkelvorgabe soll verhindert werden.
 - Das Ausbleiben oder die Richtungsumkehr von Lichtsteuerungsvorgaben soll verhindert werden.

- Auswahl Cybersecurityziele:
 - Eine Manipulation der relevanten Missionsparameter soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Kommunikation zwischen der Missionskontrolle und der Fahrzeugsteuerung soll verhindert werden.
 - Das unautorisierte Auslesen der Missionsdaten soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Umfelddaten für die Fahrzeugsteuerung soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Missionsdaten durch unautorisierten Zugang zu den Kontrolleinrichtungen soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Software durch unautorisierte Personen bei der Fahrzeugwartung und -Reparatur soll verhindert werden.

7.3 Use Case 5: Vorwarntafeln automatisiert aufstellen, einsammeln und bewegen

7.3.1 Vereinfachte funktionale Architektur

Um die Funktionalität der automatisiert selbstfahrenden Vorwarntafel und der teilautomatisierten Absetzvorrichtung auf dem Trägerfahrzeug beispielhaft darzustellen, wird die in Bild 7-3 dargestellte Aufteilung in Funktionsblöcke vorgeschlagen.

7.3.2 Missionskontrolle

Mit dem Use Case 5 werden zwei Hauptfunktionen abgedeckt. Zum einen soll eine auf einem selbstfahrenden Fahrgestell montierte Vorwarntafel automatisiert (oder teilautomatisiert/ferngesteuert) einer beweglichen Arbeitsstelle folgen und zum Ausbringfahrzeug zurückkehren können. Zum anderen soll auf einem manuell gesteuerten Ausbringfahrzeug eine (teil-)automatisierte Absetz- und Hebevorrichtung installiert sein, die die selbstfahrende Vorwarntafel vom Ausbringfahrzeug ab- und wieder aufladen kann.

Da diese Hauptfunktionen voneinander unabhängig sind, wird die Missionskontrolle in einen Teil A und B unterteilt. Die Missionskontrolle A beinhaltet die Definition sämtlicher Randbedingungen des Einsatzes für die selbstfahrende Vorwarntafel, die Kommunikation mit dem Fahrzeug und das Auswählen sowie Starten und Stoppen der Funktionen. Dazu gehören u. a. Angaben zum/zur

- Start- und Endpunkt des Einsatzes
- Betriebsmodus (stationärer oder beweglicher Betrieb, optionale Fernsteuerung)
- Einsatzkonfiguration (Sollabstand, max. Geschwindigkeit, ...)
- Steuerung der Vorwarntafel und Lichtzeichen

Die Missionskontrolle B beinhaltet aller Steuerungen zum Absetzen und Aufladen der Vorwarntafel

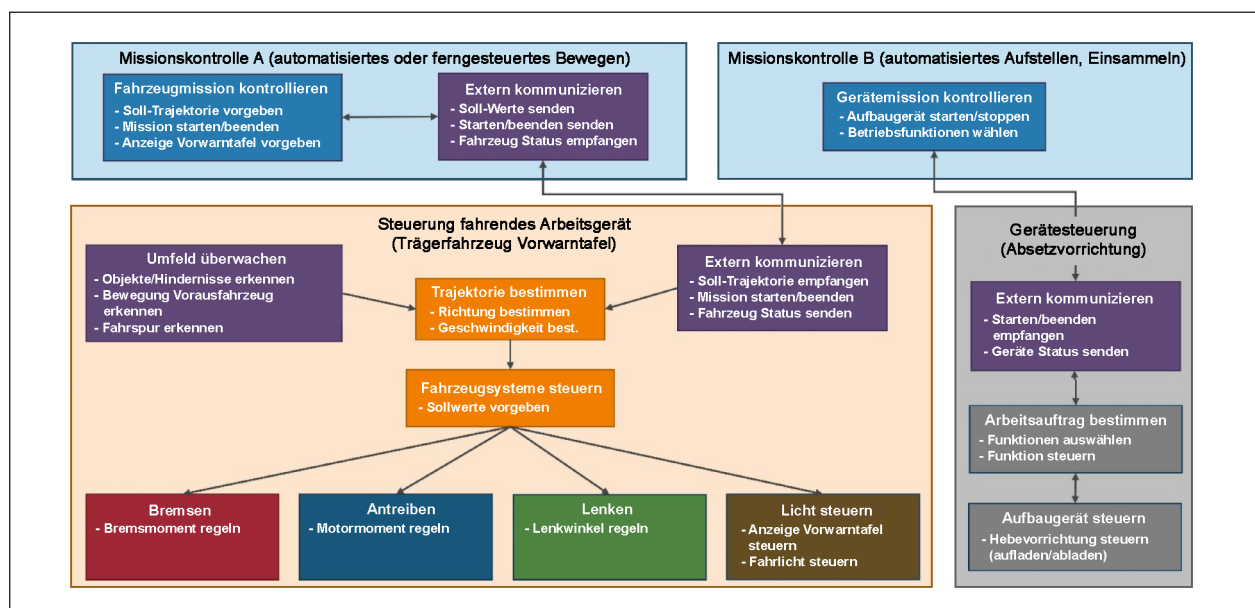


Bild 7-3: Use Case 5 – vereinfachte funktionale Architektur

auf das Ausbringfahrzeug. In erster Annahme wird davon ausgegangen, dass die Missionskontrolle B kabelgebunden aus dem Fahrerhaus des Ausbringfahrzeugs stattfindet. Nach dem Start des Vorgangs zum Absetzen oder Aufladen sollen diese dann automatisiert ablaufen.

7.3.3 Steuerung des fahrenden Arbeitsgerätes

Die Steuerung umfasst alle Systeme, die notwendig sind, damit die selbstfahrende Vorwarntafel im ausgewählten Betriebsmodus automatisiert bzw. ferngesteuert vorrücken und dabei auf Hindernisse reagieren sowie die Fahrspur halten kann. Die Fahrzeugsteuerung kommuniziert mit der Missionskontrolle und steuert die Subsysteme für das Lenken, Bremsen, Antreiben.

7.3.4 Gerätesteuerung

Die Gerätesteuerung setzt alle Befehle der Missionskontrolle B zum Absetzen und Aufladen der Vorwarntafel auf das Ausbringfahrzeug um. Diese Vorgänge werden manuell durch den Fahrer des Trägerfahrzeugs ausgelöst, sollen dann aber automatisiert bis zum Erreichen der jeweiligen Endposition (aufgeladen und verriegelt bzw. abgesetzt und entriegelt) ablaufen.

7.3.5 Vereinfachte technische Architektur

Für ein konkretes Fahrzeugkonzept müssen die beschriebenen Funktionen physischen Subsysteme

zugeordnet werden. Eine mögliche Aufteilung ist in Bild 7-4 dargestellt. Sie orientiert sich an üblichen und im Wesentlichen marktverfügbaren Lösungen. Die Zuordnung der Funktionen zu den Subsystemen ist über die Farbcodierung erkennbar.

Sämtliche Umfelderkennungsfunktionen (einschließlich der im Bild symbolisch dargestellten Kameras und/oder Radarsensoren) sind dem Fahrer-Assistenzsystem zugeordnet. Aufgrund der geringen Geschwindigkeit wird angenommen, dass kein zusätzliches Schaltgetriebe erforderlich ist.

Dabei sind die Kommunikationsschnittstellen innerhalb des Fahrzeugs kabelgebunden. Die Schnittstelle zwischen der Missions-Kontrolleinheit A und der zentralen Fahrsteuerung wird als drahtlose Schnittstellen angenommen. Damit ist die Missionskontrolle A räumlich vom Fahrzeug getrennt und könnte sowohl über ein mitgeführtes Endgerät (z. B. Tablet), als auch über eine zentrale Leitstelle realisiert werden.

Das automatisierte Rückkehren der Vorwarntafel zum Trägerfahrzeug lässt sich über ein GNSS-Positionssignal steuern. Da die Missions-Kontrolleinheit B fest mit dem Trägerfahrzeug verbunden ist, bietet es sich an, über dieses Steuergerät die Position zu erfassen und drahtlos mit der zentralen Fahrsteuerung auszutauschen, um das Ziel für die Rückkehrfunktion vorzugeben.

Die Arbeitsgerätesteuerung steuert die (nicht dargestellte) Hydraulik der Hebevorrichtung und der Verriegelungsmechanik.

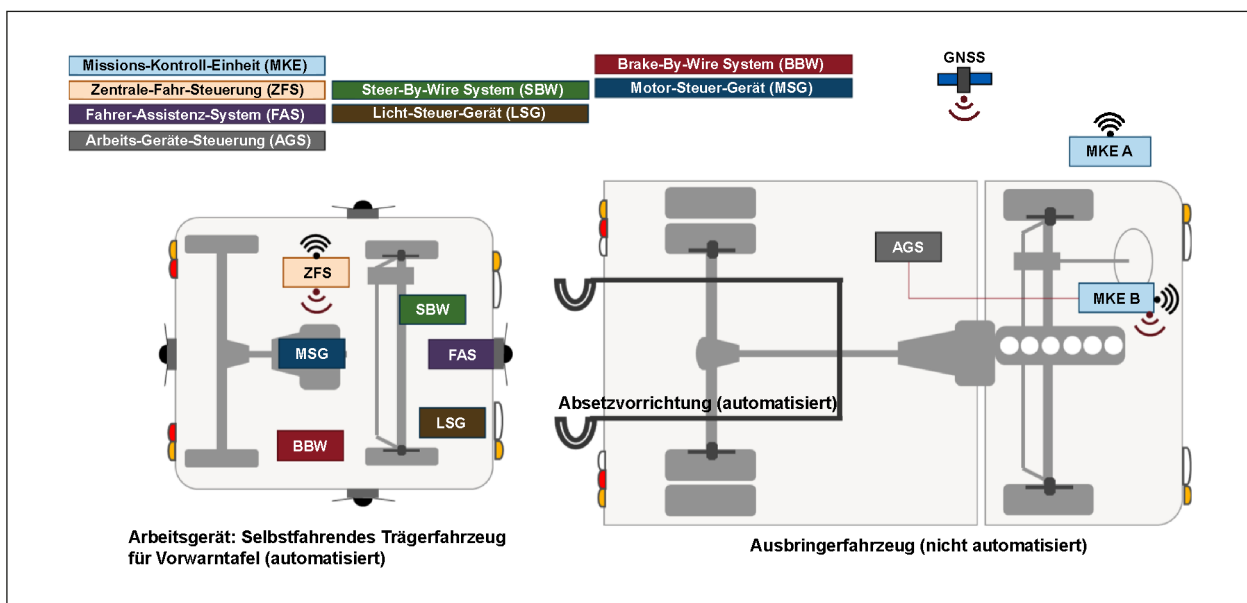


Bild 7-4: Use Case 5 – vereinfachte technische Architektur

7.3.6 Risikopotenzial bzgl. funktionaler Sicherheit

Zur Abschätzung des Risikopotenzials werden die einzelnen Hauptfunktionen des Systems nach relevanten Kriterien bewertet, um die wesentlichen Ausfallrisiken und deren Auswirkungen auf betroffene Personen und Verkehrsteilnehmer zu identifizieren. Dabei werden auch die Häufigkeiten der im Fehlerfall kritischen Betriebssituation sowie die Möglichkeiten zur Kontrollierbarkeit der fehlerhaften Funktion berücksichtigt. Um eine ausreichende Unterscheidung zwischen geringeren und höheren Risiken in der Bewertung zu erhalten, werden die Zahlen für die Wichtung der einzelnen Stufen mit einer vergrößerten Spreizung (10-06-03-01) gewählt. Einzelheiten dazu im Anhang 6: Checkliste zur Identifikation potenzieller funktionaler Sicherheitsrisiken für UC5.

7.3.7 Zusammenfassung Risikopotenzial funktionale Sicherheit

Aus der betrachteten Funktionsarchitektur für den automatisierten Betrieb der Vorwarntafel ergeben sich demnach hohe Risikopotenziale für folgende 4 Funktionsgruppen:

- Trajektorie bestimmen
- Fahrzeugsystem steuern
- Lenken
- Umfeld überwachen

Analog zu der Bewertung in Use Case 3, kann jede dieser Funktionen bei Ausfall oder fehlerhaftem Verhalten mit hoher Wahrscheinlichkeit dazu führen, dass es zu Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommt. Gemäß der üblichen Vorgehensweise bei einer Risikoanalyse, wird hier das Gesamtsystem ohne Sicherheitsmechanismen betrachtet (weil diese Maßnahmen aus dem Ergebnis der Analyse abgeleitet und definiert werden und eine Berücksichtigung innerhalb der Analyse zu einem Zirkelbezug führen würde).

Zu den Funktionsgruppen mit einem mittleren Risikopotenzial gehören:

- Bremsen
- Extern kommunizieren

Für die Einstufung der externen Kommunikation wird wie bei Use Case 3 davon ausgegangen, dass

der komplette Ausfall der Kommunikation im Vergleich zu einer Verfälschung als weniger kritisch eingestuft wurde, da das Fahrzeug (ohne weitere Sicherheitsmechanismen) in diesem Fall seine aktuelle Trajektorie beibehalten würde und trotz der fehlenden externen Daten korrekt auf z. B. Hindernisse und Kurven reagieren würde.

Das Risiko in Folge eines Bremsversagens liegt aufgrund der auf max. 10 km/h begrenzten Geschwindigkeit auch nur im mittleren Bereich.

Die niedrige Geschwindigkeit reduziert auch das Risiko im Falle eines Ausfalls für den Antrieb gegenüber Use Case 3, sodass dieser zusammen mit der Lichtsteuerung ein niedriges Risikopotenzial zugeordnet wird. Der auf den Standstreifen beschränkte Einsatz wirkt sich ebenfalls an dieser Stelle risikominimierend aus.

Für die manuell zu startende, automatisiert funktionierende Absetzvorrückung wird das Risikopotenzial als nicht signifikant eingeschätzt, da angenommen wird, dass sich während einer potenziellen Fehlfunktion keine Person im Absetzbereich befindet. Diese Einschätzung bezieht sich rein auf die funktionale Sicherheit und betrachtet keine Aspekte der Arbeitssicherheit im Umgang mit der Vorrichtung.

7.3.8 Risikopotenzial bzgl. Cybersecurity

Für die Abschätzung des Cybersecurity-Risikopotenzials reicht die rein funktionale Betrachtung nicht aus, da hierfür Annahmen über die externen- und internen Schnittstellen getroffen werden müssen. Die physischen Schnittstellen (sowohl kabelgebunden als auch drahtlos) sind die wesentlichen möglichen Angriffspfade für eine Cyber-Attacke, und damit die Basis für die Bewertung der damit verbundenen möglichen Risiken. In der folgenden Analyse werden, ausgehend von den sog. Cybersecurity-Eigenschaften des jeweiligen Subsystems und seiner Schnittstellen, die Angriffspfade und die möglichen Auswirkungen grob bewertet.

Das Cybersecurity-Risikopotenzial ist jedoch nicht auf das Fahrzeug bzw. Arbeitsgerät beschränkt, da auch andere Stellen der gesamten Wirkkette für einen fehlerfreien Betrieb betrachtet werden müssen, die außerhalb des Fahrzeugs liegen. Bei allen teleoperierten oder autonom agierenden Systemen ist der Zugang zu den Eingabegeräten, die das System und den Arbeitseinsatz steuern, zwingend mit-

zubetrachten, da die Bedienung oder Manipulation durch eine nicht autorisierte Person einen wesentlichen Angriffspfad darstellt. Im gleichen Maße wie die Bedieneinrichtungen sind auch die Werkstätten für Wartung und Reparatur betroffen. Wenn dort z. B. Softwareupdates durchgeführt werden, darf das Risiko einer möglichen Manipulation durch nicht autorisierte Personen nicht außer Acht gelassen werden.

Um eine ausreichende Unterscheidung zwischen geringeren und höheren Risiken in der Bewertung zu erhalten, werden die Zahlen für die Wichtung der einzelnen Stufen mit einer vergrößerten Spreizung (10-06-03-01) gewählt. Einzelheiten dazu im Anhang 9: Checkliste zur Identifikation potenzieller Cybersecurity-Risiken für UC5.

7.3.9 Zusammenfassung Risikopotenzial Cybersecurity

Aus der betrachteten technischen Architektur für die Automatisierung der Fahraufgabe für die Vorwarntafel, ergeben sich analog zum Use Case 3 hohe Risikopotenziale für die Missions-Kontrolleinheit (MKE), bestehend aus den Teilen A und B, und die zentrale Fahrsteuerung (ZFS), da diese über Drahtlosverbindungen verfügen. Die anderen Systeme, die kabelgebunden vernetzt sind, sind per Definition unkritischer (d. h. mittlere oder geringe Risikoeinstufung), da eine Manipulation einen physischen Eingriff direkt am Fahrzeug erfordert, während Drahtlosverbindungen als ortsunabhängig angreifbar gelten.

Die Bewertung des Risikopotenzials dessen, was außerhalb des Fahrzeugs liegt, ist durch eine separate Tabelle zusammengefasst worden. Dabei kann in diesem Rahmen nur auf die unterschiedlichen Risiken der Einsatzumgebung hingewiesen werden. Welche Steuereinrichtungen beispielsweise in diesem Use Case eingesetzt werden sollten, ist im Rahmen dieses Projekts nicht im Detail ausgearbeitet worden.

7.3.10 Use Case 5: Zusammenfassende Bewertung

Komplexität/Entwicklungsaufwand

Die Automatisierung der Fahraufgabe der selbstfahrenden Vorwarntafel ist im Vergleich zu einem

Fahrzeug, das autonom mit hoher Geschwindigkeit von einem Start- zum Endpunkt durch ein komplexes Verkehrsgeschehen fahren kann, weniger anspruchsvoll. Der Geschwindigkeitsbereich ist stark begrenzt (max. 10 km/h) und komplexe Fahrmanöver können ausgeklammert werden, da keine Spurwechsel vorgesehen sind. Durch die vorgesehene Möglichkeit zur Fernsteuerung ändert sich diese Risikoeinschätzung zunächst nicht, jedoch kommen ggf. weitere Risiken durch einen aus der Ferne agierenden Fahrer hinzu, da in diesem Fall eine hohe Aufmerksamkeit und Verantwortung gefordert wird, ohne dass die bedienende Person selbst einem Risiko ausgesetzt ist.

Insgesamt ergeben sich aus den oben durchgeführten Analysen signifikante Risikopotenziale, die zu hohen Anforderungen an die Performance, Sicherheit und Zuverlässigkeit der Subsysteme sowie der Missionskontrolle führen. In Bezug auf die Sicherheit bei Versagen der elektronischen Systeme gibt es keine wesentliche Vereinfachung durch eine Fernsteuerung im Vergleich zum automatisierten Betrieb, da in beiden Fällen ein direktes und unmittelbares Eingreifen nicht möglich ist.

Verfügbarkeit der erforderlichen Technologien

Die Technologien sind prinzipiell verfügbar und automatisiert fahrende Arbeitsgeräte/Fahrzeuge im unteren Geschwindigkeitsbereich auf nicht-öffentlichem Gelände (z. B. Logistikbereich) sind bereits seit längerem im Einsatz. Neu wäre hier auch für den langsam fahrenden Betrieb der Einsatz auf einer öffentlichen BAB. Dadurch sind ein erhöhter Aufwand und prozesskonforme Entwicklung und Nachweis der Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb erforderlich. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich viele der erforderlichen Subsysteme in einer Serienentwicklung, aber eine uneingeschränkte Anwendung für den öffentlichen Verkehr steht noch aus.

Sicherheits- und Cybersecurityziele

Die letztlich gültigen und vollständigen technischen Sicherheits- und Cybersecurityziele für die beschriebenen Funktionen und Subsysteme müssen aus den in den späteren Serienentwicklungsprojekten durzuführenden detaillierten Analysen (HARA und TARA) abgeleitet werden. In diesem Rahmen können nur beispielhaft einige Ziele genannt werden:

- Auswahl Sicherheitsziele:
 - Unbeabsichtigte oder unautorisierte Änderungen der Missionsvorgabe sowohl im ferngesteuerten als auch im automatisierten Betrieb sollen verhindert werden.
 - Ein unbeabsichtigtes oder unautorisiertes Starten oder Stoppen der Mission soll verhindert werden.
 - Eine unbeabsichtigte oder unautorisierte Änderung der ferngesteuert oder automatisiert vorgegebenen Fahrtrajektorie soll verhindert werden.
 - Eine fehlerhafte Erkennung von Hindernissen in Bezug auf Größe, Abstand und Relativgeschwindigkeit soll verhindert werden.
 - Eine sicherheitskritische Abweichung zwischen dem Soll- und Istwert einer Lenkwinkelvorgabe soll verhindert werden.
 - Das Ausbleiben oder die Richtungsumkehr von Lichtsteuerungsvorgaben soll verhindert werden.
 - Auswahl Cybersecurityziele:
 - Eine Manipulation der relevanten Missionsparameter soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Kommunikation zwischen der Missionskontrolle und der Fahrzeugsteuerung soll verhindert werden.
- Das unautorisierte Auslesen der Missionsdaten soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Umfelddaten für die Fahrzeugsteuerung soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Missionsdaten durch unautorisierten Zugang zu den Kontrolleinrichtungen soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Software durch unautorisierte Personen bei der Fahrzeugwartung und -reparatur soll verhindert werden.

7.4 Use Case 9: Automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne

7.4.1 Vereinfachte funktionale Architektur

Um die Funktionalität der Drohne und der Kamerasteuerung mit Bildauswertung beispielhaft darzustellen, wird die in Bild 7-5 dargestellte Aufteilung in Funktionsblöcke vorgeschlagen.

7.4.2 Missionskontrolle

Der Use Case 9 kann in die Hauptfunktionen der Flugsteuerung und der Kamerasteuerung unterteilt werden. Mit Kamerasteuerung ist jedoch nur die Steuerung für die Bildaufzeichnung und Auswertung der Streckenkontrolle gemeint. Für die Umfeld-

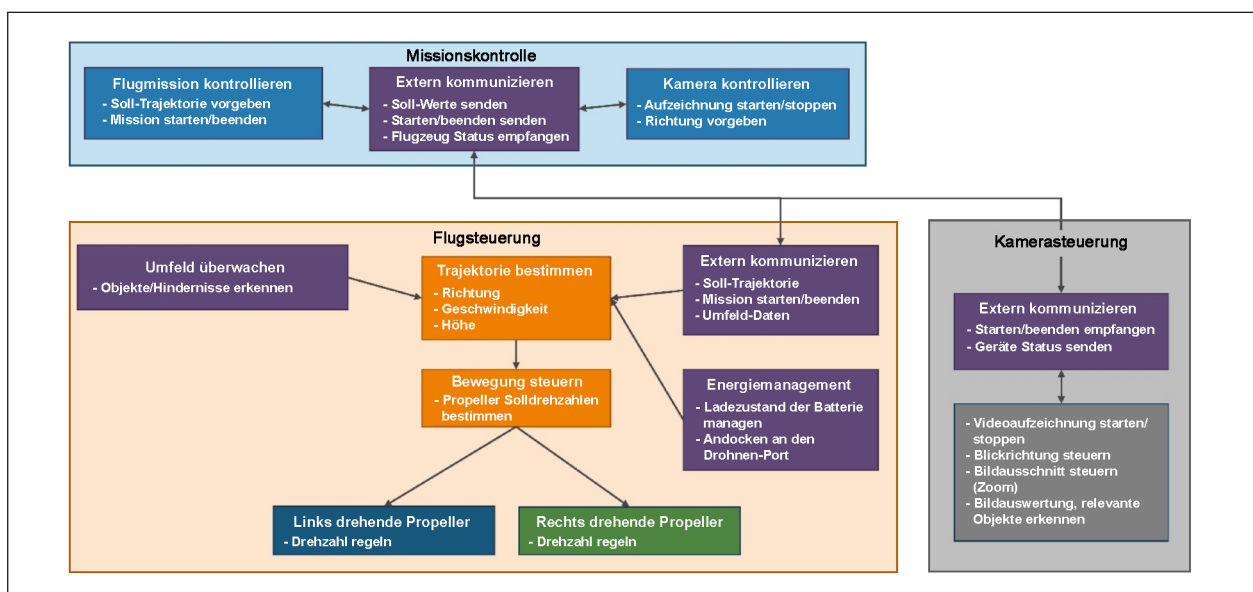


Bild 7-5: Use Case 9 – vereinfachte funktionale Architektur

überwachung der Flugsteuerung kommen ggf. weitere Kameras mit anderer Ausrichtung zum Einsatz.

Die Missionskontrolle beinhaltet die Definition sämtlicher Randbedingungen des Einsatzes, die Kommunikation mit der Drohne und der Kamera. Dazu gehören u. a. Angaben zum/zur

- Start- und Endpunkt des Einsatzes
- Einsatzkonfiguration (Flughöhe, max. Geschwindigkeit, ...)
- Einstellung der Kamera (Zoom, Winkel, ...)
- Konfiguration der Bildauswertung zur Erkennung relevanter Objekte
- Missionsdauer und Energiemanagement

7.4.3 Flugzeugsteuerung

Die Flugzeugsteuerung umfasst den Antrieb für die Propeller für die Umsetzung der Vorgaben bzgl. der Flughöhe, Geschwindigkeit und Richtung. Zusätzlich muss der Ladezustand der Batterie ständig überwacht und ggf. ein Notlandemanöver eingeleitet werden. Der automatisierte Start und die automatisierte Rückkehr an eine Ladestation (Drohnen-Port) ist ebenfalls Bestandteil des Use Cases.

7.4.4 Kamerasteuerung

Für diesen Use Case ist die Gerätesteuerung beschränkt auf die Steuerung der Kamera. Dabei werden nicht nur die Parameter für die Kameraperspektive konfiguriert, sondern auch notwendige Einstellungen für die automatische Bildauswertung vorgenommen. Die Bildauswertung soll den Video-Stream des definierten Fahrbahnausschnitts auf Gegenstände und Schäden überprüfen und für jede Auffälligkeit repräsentative Ausschnitte an die Einsatzstelle zur abschließenden Bewertung durch eine verantwortliche Person senden. Nicht relevante Anteile des Video-Streams werden nicht gespeichert oder übertragen. Damit kann die Datenlast und Übertragungsgeschwindigkeit optimiert werden.

7.4.5 Vereinfachte technische Architektur

Für ein konkretes Konzept der Drohne müssen die beschriebenen Funktionen physischen Subsystemen zugeordnet werden. Eine mögliche Aufteilung ist in Bild 7-6 dargestellt. Sie orientiert sich an üblichen und im Wesentlichen marktverfügbaren Lösungen. Die Zuordnung der Funktionen zu den Subsystemen ist über die Farbcodierung erkennbar.

Für die Steuerung des Flugbetriebs und das Lademanagement werden neben der zentralen Flugsteuerung, die im Wesentlichen die Steuerung der Propeller und die Kommunikation beinhaltet, weitere Hardwareeinheiten für die Umfeldüberwachung und das Lademanagement angenommen.

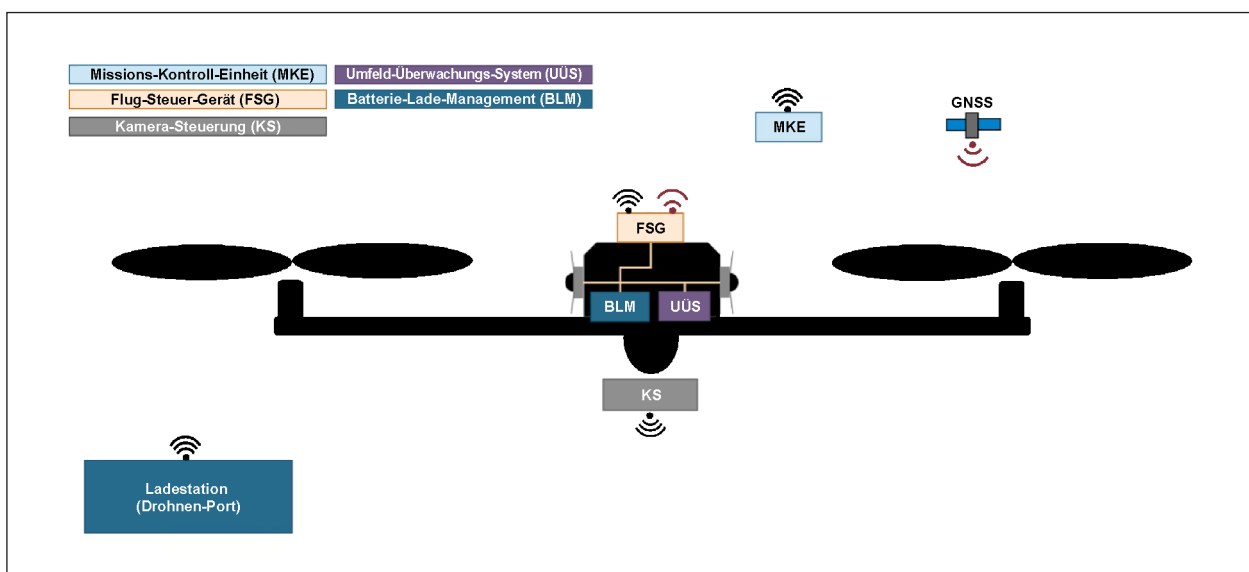


Bild 7-6: Use Case 9 – vereinfachte technische Architektur

7.4.6 Risikopotenzial bzgl. funktionaler Sicherheit

Zur Abschätzung des Risikopotenzials werden die einzelnen Hauptfunktionen des Systems nach relevanten Kriterien bewertet, um die wesentlichen Ausfallrisiken und deren Auswirkungen auf betroffene Personen und Verkehrsteilnehmer zu identifizieren. Dabei werden auch die Häufigkeiten der im Fehlerfall kritischen Betriebssituationen sowie die Möglichkeiten zur Kontrollierbarkeit der fehlerhaften Funktionen berücksichtigt. Um eine ausreichende Unterscheidung zwischen geringeren und höheren Risiken in der Bewertung zu erhalten, werden die Zahlen für die Wichtung der einzelnen Stufen mit einer vergrößerten Spreizung (10-06-03-01) gewählt. Einzelheiten dazu im Anhang 7: Checkliste zur Identifikation potenzieller funktionaler Sicherheitsrisiken für UC9.

7.4.7 Zusammenfassung Risikopotenzial funktionale Sicherheit

Die grobe Analyse des Risikopotenzials ergibt eine mittlere Einstufung für alle Funktionen, die mit der Durchführung und Absicherung des Flugbetriebs zusammenhängen. Die Grundannahme ist dabei, dass es nur zu sicherheitskritischen Situationen kommen kann, wenn die Fehlfunktion zum Absturz führt. Darunter fallen auch mögliche Kollisionen mit Brücken, Bäumen oder ähnlichem in unmittelbarer Nähe der Fahrbahnen. Aufgrund der geringen Masse der Drohne, wird nur eine mittlere Wahrscheinlichkeit für eine Kollision mit dem fließenden Verkehr mit tödlichen Verletzungen angenommen. In den überwiegenden Fällen würde es bei leichten bis schweren Verletzungen bleiben.

Das Risikopotenzial für die Gerätesteuerung (Kamera und Bildauswertung) ist erwartungsgemäß vernachlässigbar.

7.4.8 Risikopotenzial bzgl. Cybersecurity

Für die Abschätzung des Cybersecurity-Risikopotenzials reicht die rein funktionale Betrachtung nicht aus, da hierfür Annahmen über die externen- und internen Schnittstellen getroffen werden müssen. Die physischen Schnittstellen (sowohl kabelgebunden als auch drahtlos) sind die wesentlichen möglichen Angriffspfade für eine Cyber-Attacke, und damit die Basis für die Bewertung der damit verbundenen möglichen Risiken. In der folgenden Analyse werden, ausgehend von den sog. Cybersecurity-

Eigenschaften des jeweiligen Subsystems und seiner Schnittstellen, die Angriffspfade und die möglichen Auswirkungen grob bewertet.

Das Cybersecurity-Risikopotenzial ist jedoch nicht auf das Fahrzeug bzw. Arbeitsgerät beschränkt, da auch andere Stellen der gesamten Wirkkette für einen fehlerfreien Betrieb betrachtet werden müssen, die außerhalb des Fahrzeugs liegen. Bei allen teleoperierten oder autonom agierenden Systemen ist der Zugang zu den Eingabegeräten, die das System und den Arbeitseinsatz steuern, zwingend mitzubetrachten, da die Bedienung oder Manipulation durch eine nicht autorisierte Person einen wesentlichen Angriffspfad darstellt. Im gleichen Maße wie die Bedieneinrichtungen sind auch die Werkstätten für Wartung und Reparatur betroffen. Wenn dort z. B. Softwareupdates durchgeführt werden, darf das Risiko einer möglichen Manipulation durch nicht autorisierte Personen nicht außer Acht gelassen werden.

Um eine ausreichende Unterscheidung zwischen geringeren und höheren Risiken in der Bewertung zu erhalten, werden die Zahlen für die Wichtung der einzelnen Stufen mit einer vergrößerten Spreizung (10-06-03-01) gewählt. Einzelheiten dazu im Anhang 10: Checkliste zur Identifikation potenzieller Cybersecurity-Risiken für UC9.

7.4.9 Zusammenfassung Risikopotenzial Cybersecurity

Im Bereich der betrachteten Cybersecurity-Risiken wird das Risikopotenzial mittel bis hoch eingeschätzt. Die höhere Einstufung im Vergleich zu den funktionalen Sicherheitsrisiken liegt daran, dass hier neben der Sicherheit auch Aspekte bzgl. möglicher finanzieller Schäden und Datenverluste einfließen. Während bei der funktionalen Sicherheit davon ausgegangen wird, dass sich das Verletzungsrisiko aus einem statistischen Mittel der betrachteten Unfallsituationen ergibt, wäre es bei einem Cyberangriff durchaus denkbar, dass versucht würde, die Manipulation so vorzunehmen, dass das Risiko für tödliche Verletzungen möglichst hoch ausfällt.

Auch für diesen Use Case ist die Bewertung des Risikopotenzials in der Peripherie des Einsatzes von großer Bedeutung. Die Infrastruktur für Steuerung, Wartung und Handling der Daten und der Software hat den maßgeblichen Anteil bei den möglichen Angriffspfaden.

7.4.10 Use Case 9: Zusammenfassende Bewertung

Komplexität/Entwicklungsaufwand

Die Automatisierung eines Drohneneinsatzes ist in Bezug auf die reine Flugsteuerung von geringerer Komplexität, da die Drohne eine automatische Stabilisierungsfunktion aufweist und die Aufgabe im Wesentlichen auf die Trajektoriensteuerung und die Aufzeichnung des Video-Streams beschränkt ist.

In Bezug auf den Gesamteinsatz sind im Detail noch Lösungen rund um das Lademanagement in den speziellen Stationen zu entwickeln, die gleichzeitig als sicherer Aufbewahrungsort außerhalb des Einsatzes dienen (sog. Drohnenports).

Obwohl Größe und Gewicht im Vergleich zu Fahrzeugen eher klein sind, ergeben sich doch signifikante Risiken, falls die Drohne unkontrolliert über dem fließenden Verkehr abstürzen würde. Die Absicherung in Bezug auf funktionale Sicherheit und Cybersecurity ist auch für diesen Use Case relevant und komplex.

Verfügbarkeit der erforderlichen Technologien

Drohnen mit ausreichender Reichweite für den Betrieb im beschriebenen Use Case sind generell verfügbar, ebenso wie die benötigten Kamera- und Bildauswertungssysteme. Stationen zum Nachladen und die Steuerungssysteme sind technologisch ebenfalls keine größere Hürde. Die Herausforderung bei der Entwicklung eines Systems für den Use Case 9 liegt eher in der Integration aller Einzelösungen in ein Gesamtsystem. Hier müssen auch abgesicherte Betriebsprozesse, einfache Bedienbarkeit und das Datenmanagement der Video-Streams enthalten sein.

Sicherheits- und Cybersecurityziele

Die letztlich gültigen und vollständigen technischen Sicherheits- und Cybersecurityziele für die beschriebenen Funktionen und Subsysteme müssen aus den in den späteren Serienentwicklungsprojekten durzuführenden detaillierten Analysen (HARA und TARA) abgeleitet werden. In diesem Rahmen können nur beispielhaft einige Ziele genannt werden:

- Auswahl Sicherheitsziele:
 - Eine unbeabsichtigte oder unautorisierte Änderung der Missionsvorgabe soll verhindert werden.
 - Ein unbeabsichtigtes oder unautorisiertes Starten oder Stoppen der Mission soll verhindert werden.
 - Eine unbeabsichtigte oder unautorisierte Änderung der Flugtrajektorie soll verhindert werden.
 - Eine sicherheitskritische Abweichung zwischen dem Soll- und Istwert der Antriebssteuerung für die Propeller soll verhindert werden.
- Auswahl Cybersecurityziele:
 - Eine Manipulation der relevanten Missionsparameter soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Kommunikation zwischen der Missionskontrolle und der Flugzeugsteuerung soll verhindert werden.
 - Das unautorisierte Auslesen der Missionsdaten soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Missionsdaten durch unautorisierten Zugang zu den Kontrolleinrichtungen soll verhindert werden.
 - Eine Manipulation der Software durch unautorisierte Personen bei der Wartung und -Reparatur soll verhindert werden.

7.5 Bewertung des rechtlichen Rahmens der Use Cases

7.5.1 Bewertung Use Case 3

Das autonom fahrende Absicherungsfahrzeug fällt eindeutig in den im Kapitel 2.3.4 beschriebenen Kontext des neuen Gesetzes zum Autonomen Fahren. Daraus ergeben sich zusammengefasst folgende Konsequenzen:

- Auch für den Einsatz im Zusammenhang mit Baustellen auf einer BAB muss ein Konzept für die geforderte „Technische Aufsicht“ erarbeitet werden. Dabei sind sowohl lokale Lösungen

(d. h. Zuweisung der Technischen Aufsicht an Mitarbeiter auf der Baustelle) als auch zentrale Lösungen (d. h. Technische Aufsicht über zentrale Leitstelle(n)) möglich.

- Bislang gibt es nur den übergeordneten Rahmen. Die Einarbeitung konkreter Anforderungen in die zulassungsrelevanten Einzelvorschriften (z. B. ECE-R13 für Bremssysteme, ECE-R79 für Lenksysteme, etc.) ist noch nicht abgeschlossen. Aufgrund der Komplexität wird dies wahrscheinlich noch einige Jahre dauern. Bis dahin gibt es jedoch die Möglichkeit, Fahrzeuge über Einzelzulassungen für den Betrieb auf öffentlichen Straßen zuzulassen. D. h., die Umsetzung dieses Use Cases wäre aus zulassungstechnischer Sicht generell heute schon möglich.
- Die grundlegenden technischen Voraussetzungen für einen autonomen Fahrbetrieb, d. h. entsprechend ausgelegte Fahrzeugsysteme und Sensoren, sind für viele Anwendungsfälle für PKW, Busse und Nutzfahrzeuge sehr ähnlich. D. h., sobald in einem dieser Marktsegmente der Durchbruch stattgefunden hat und sich autonome Fahrzeuge etablieren, werden sich schnell Synergien für die anderen Segmente ergeben.
- Da das in Use Case 3 beschriebene autonome Absicherungsfahrzeug nur in geringen Stückzahlen vermarktet werden kann, ist es unwahrscheinlich, dass es eine Vorreiterrolle einnehmen wird. Sobald Lösungen für den Einsatz autonomer Nutzfahrzeuge im Güterverkehr verfügbar sind, werden wahrscheinlich auch autonome Absicherungsfahrzeuge wirtschaftlich darstellbar sein.

7.5.2 Bewertung Use Case 5

Im Vergleich zum Use Case 3 gibt es im Use Case 5 kein autonom fahrendes Straßenfahrzeug. Das Ausbringfahrzeug kann also auf Basis eines konventionellen Serien-Nutzfahrzeugs, ohne besondere zulassungstechnische Anforderungen, realisiert werden.

Für die autonom fahrende Vorwarntafel ist eine Bewertung ohne Rücksprache und Einschätzung durch einen technischen Dienst an dieser Stelle nicht möglich. Für die Frage, ob die Vorwarntafel in den Geltungsbereich der neuen Gesetzgebung zum

Autonomen Fahren fällt, sind folgende Aspekte zu bewerten, die dafür oder dagegen sprechen:

- Dagegen spricht:
 - Die Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit auf 10 km/h,
 - Der auf den Standstreifen beschränkte Einsatzort,
 - Bauartbedingt gibt es keine Kabine oder Sitze für Personen.
- Dafür spricht:
 - Auch der Standstreifen gehört zum öffentlichen Verkehrsraum,
 - Es gibt keinen Mechanismus, der von vornherein verhindern kann, dass das Fahrzeug auf die Fahrbahn gerät. D. h., das aus dem autonomen Betrieb resultierende Risiko – und damit auch die Forderung nach einer Technischen Aufsicht – ist per se nicht anders als bei einem PKW oder Nutzfahrzeug.
 - Größe und Masse sind mit PKW oder Transportern vergleichbar.

7.5.3 Bewertung Use Case 9

Die Einordnung der autonom agierenden Drohne für die Streckenkontrolle in den in Kapitel 2.3.5 beschriebenen rechtlichen Rahmen kann im aktuellen Stand nur grob eingeschätzt werden. Relevante Kriterien, die eine vorläufige Einordnung in die Betriebskategorie „speziell“ nahelegen, sind u. a.:

- Das Startgewicht der Drohne. Hier ist 25 kg eine wichtige Grenze zwischen den Betriebskategorien „offen“ (= genehmigungsfrei) und „speziell“ (= genehmigungspflichtig).
- In Bezug auf die Flughöhe ist man in der „speziellen“ Kategorie nicht an die Grenze von 120 m gebunden.
- Um unterhalb eines seitlichen Abstands von 100 m zu Fernstraßen bleiben zu können, ist ebenfalls die „spezielle“ Kategorie erforderlich.
- Eine Rolle für die Genehmigung spielt auch, ob der zu überwachende Streckenabschnitt der BAB außerhalb oder innerhalb eines bebauten Gebiets liegt.

8 Lastenhefte für ausgewählte Use Cases

Für die Lastenhefte der in Kapitel 5 ausgewählten drei Use Cases wurden die Ergebnisse aus der Potenzialanalyse (Kapitel 6) und aus der Bewertung der Realisierbarkeit (Kapitel 7) als Anforderungen zusammengefasst. Hierfür wurden zunächst die Stakeholder und Benutzer ermittelt sowie deren Bedürfnisse formuliert. Da auch aus Vorschriften und Normen Anforderungen für das System resultieren, wurden diese ebenfalls auf der Ebene der Stakeholder aufgenommen. Die Erhebung der Anforderungen orientierte sich an der üblichen Vorgehensweise in der Automobilindustrie.

In Bild 8-1 ist beispielhaft die funktionale Struktur für ein System zur Umsetzung von Use Case 3 dargestellt. In diesem Fall wird das System in drei Teilsysteme unterschieden, welche auch untereinander Anforderungen haben können. Am Ende der Lastenhefte wurde zusätzlich für jeden der drei Use Cases eine Referenzarchitektur als Empfehlung beschrieben.

Die drei Lastenhefte sind als eigenständige Dokumente aufgebaut und befinden sich im Anhang:

- Anhang 11: System zur Absicherung von Fahrstreifen mit einem autonomen Absicherungsfahrzeug
- Anhang 12: System zum automatisierten Aufstellen, Einsammeln und Bewegen von Vorwarn tafeln
- Anhang 13: System für die automatisierte Streckenkontrolle mit einer Drohne

Die erstellten Lastenhefte stellen keine erschöpfende Beschreibung einer Lieferleistung für automatisierte Fahr-, Flug- oder Gerätefunktionen dar, sondern sollen Anregungen für Entwickler liefern.

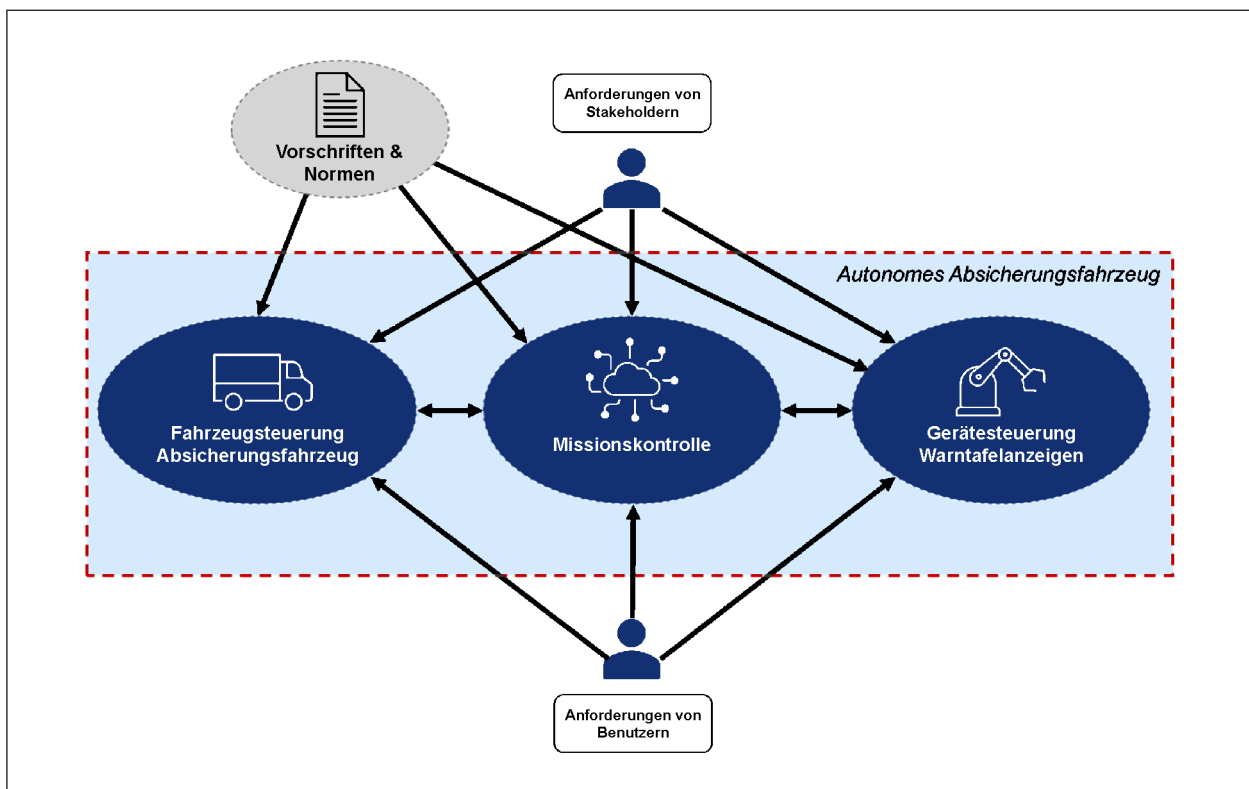


Bild 8-1: Funktionale Struktur für Use Case 3

9 Nächste Schritte zur Umsetzung

Das Projekt hat gezeigt, dass durch den Einsatz von automatisierten Technologien in der Fahrzeug- und Maschinenteknik im Straßenbetriebsdienst die Sicherheit von MA erhöht und die Effizienz mittel- und langfristig gesteigert werden kann. Daher ist es sinnvoll, diesen Ansatz weiter zu verfolgen und dafür notwendige Schritte einzuleiten. Im Folgenden werden einige Aspekte kurz beschrieben, die als nächste Schritte geeignet sind.

Wie im Kapitel 6.3 erwähnt, werden automatisierte Technologien primär durch die Entwicklungen für den Massenmarkt vorangetrieben. Um den Übergang dieser Entwicklungen zum Straßenbetriebsdienst zu erleichtern, können weitere Forschungsprojekte hilfreich sein sowie die Adaption vereinfachen und fördern. Besonders geeignet sind in diesem Fall die drei im Rahmen des Projekts ausgewählten Use Cases, die im Workshop und im Betreuerkreis als besonders nützlich bewertet wurden und zum Teil auch in näherer Zeit umsetzbar sind.

Im Rahmen weiterer Forschungsprojekte für diese Use Cases könnte die aktuell noch weitestgehend ungeklärte Umsetzung einer „Technischen Aufsicht“ (TA) untersucht werden, die gemäß der neuen Verordnung zum Autonomen Fahren für Level-4-Fahrzeuge vorgeschrieben ist. Diese TA wird nicht von einem OEM zur Verfügung gestellt, sondern steht in der Verantwortung des Halters (siehe § 13, Absatz 6 in der Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion und zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften). In diesem Kontext sollten auch die Anforderungen an MA für eine TA analysiert werden. Hier ist auch zu betrachten, ob hierzu neue Stellen geschaffen werden müssten.

Eine weitere Hürde stellt die Cybersecurity dar, die bei zunehmender Automatisierung und Vernetzung immer umfangreicher berücksichtigt werden muss. Gleichzeitig mangelt es branchenübergreifend an Fachpersonal in diesem Bereich. Wie mit dieser Problematik zukünftig, insbesondere bei höherem Bedarf dieser Qualifikation im Straßenbetriebsdienst, umgegangen wird, kann in einem Pilotprojekt im Straßenbetriebsdienst getestet werden. Dabei kann auch untersucht werden, ob eine zentrale Leitstelle z. B. in der Verkehrszentrale der Autobahn GmbH in Frankfurt, als TA für mehrere Fahrzeuge unterschiedlicher Autobahnmeistereien infra-

ge kommt und somit der Bedarf von hochqualifiziertem Personal minimiert und auf bestimmte Orte begrenzt werden kann. Außerdem können so erste Erfahrungen mit einer TA in der Praxis gesammelt werden, die in die Entwicklung weiterer Rahmenbedingungen für eine TA einfließen können.

Da eine Vielzahl automatisierter Technologien im Straßenbetriebsdienst als Basis ein autonom fahrendes Fahrzeug voraussetzen, ist ebenso eine Forcierung auf ein Basisfahrzeug als nächstes Forschungsprojekt denkbar. In diesem Fall kann in einem frühen Stadium Einfluss auf die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen im Pkw-Massenmarkt genommen werden, die eine anschließende Umsetzung für Nutzfahrzeuge vereinfacht. Ein autonomes Basisfahrzeug im Nutzfahrzeugsegment ist zudem auch für die Logistik besonders interessant. Relevante Entwicklungen in diesem Bereich sollten daher frühzeitig konvergieren, um die Kosten und den Umsetzungszeitraum dieser Technologien für den Straßenbetriebsdienst möglichst gering zu halten.

Das Forschungsprojekt hat zudem das Potenzial von autonom fliegenden Drohnen im Straßenbetriebsdienst aufgezeigt. In einem nächsten Schritt könnte genauer untersucht werden, wie sich diese Technologie in die Prozesse und Gegebenheiten des Straßenbetriebsdienstes bzw. der Autobahnmeistereien integrieren lässt. Außerdem sollte die Thematik der sog. Drohnenports, als wesentlicher Bestandteil dieser Automatisierungslösung, näher betrachtet werden.

Literatur

- [AKIT 2017] AKIT – Institutsteil Angewandte Systemtechnik des Fraunhofer IOSB (Konsortialführer) [2017]. AKIT – Autonomie-KIT für serien-nahe Arbeitsfahrzeuge zur vernetzten und assistierten Bergung von Gefahrenquellen. URL: <http://a-kit.de/>, abgerufen am 11.04.2022
- [Autobahn GmbH 2021] Autobahn GmbH [2021]. Die Autobahn- Autobahnreform. URL: <https://www.autobahn.de/die-autobahn/auto-bahnreform>, abgerufen am 11.04.2022
- [BASt et al. 2020] BASt – Bundesanstalt für Straßenwesen; Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (KITE ISE); Betreuerkreis aus Vertretern von Straßenbau- und Verkehrsverwaltungen sowie des Arbeitsschutzes und der Bauwirtschaft [2020]. Handlungshilfe für das Zusammenwirken von ASR 5.2 und RSA bei der Planung von Straßenbaustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr, veröffentlicht vom FGSV-Verlag, FGSV-Nr. 37098, Köln
- [BEKORS 2013] BEKORS – Adhoc Fachgruppe Betriebsdienst – Arbeitskreis BEKORS (Herausg.) [2013]. M 7: Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst: Management der Fahrzeug- und Geräteausstattung für den Straßenbetriebsdienst, eingeführt durch ARS Nr. 21/2013
- [BENZ 2021] Mercedes-Benz [2021]. Mercedes-Benz erhält weltweit erste international gültige Systemgenehmigung für hochautomatisiertes Fahren. URL: <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/de/instance/ko.xhtml?oid=52173961&ls=L2RIL2luc3RhbmlL2tvLn hodG1sP29pZD00ODM2MjU4>, abgerufen am 11.04.2022
- [BMAS 2018] BMAS – Bundesministerium für Arbeit und Soziales [2018]. Technische Regeln für Arbeitsstätten: Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen (ASR 5.2), veröffentlicht von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, URL: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/ASR-A5-2.html>, abgerufen am 11.04.2022
- [BMDV 2020] BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr [2020]. Verkehrsinvestitionsbericht für das Berichtsjahr 2018. Berlin
- [BMDV 2021a] BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr [2021]. MOSAiK:D – M2M-gestützte Optimierung der Sicherheit in Arbeitsstellen kürzerer Dauer. URL: <https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/mosaik.html>, abgerufen am 11.04.2022
- [BMDV 2021b] BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr [2021]. Gesetz zum autonomen Fahren tritt in Kraft. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/gesetz-zum-autonomen-fahren.html>, abgerufen am 11.04.2022
- [BMDV 2021c] BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr [2021]. EU-Regelungen für Drohnen. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LF/drohnen.html>, abgerufen am 11.04.2022
- [BMDV 2021d] BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr [2021]. Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen, erarbeitet von dem Bund/Länder-Arbeitskreis BEKORS, Betriebskostenrechnung im Straßenbetriebsdienst. Berlin
- [BMDV 2022] BMDV – Bundesministerium für Digitales und Verkehr [2022]. Bundeskabinett verabschiedet Verordnung zum Autonomen Fahren. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2022/008-wissing-verordnung-zum-autonomen-fahren.html>, abgerufen am 11.04.2022
- [DGUV 2012] DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. [2012]. Psychische Belastungen im Straßenbetrieb und Straßenunterhalt. DGUV Information 206-016. URL: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/901>, abgerufen am 11.04.2022
- [FGSV 2020] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [2020]. Zusammenstellung betriebsdienstrelevanter Regelwerke und ihrer Bedeutung für die Praxis, Version 3.2 – Stand 01.12.2020, erstellt durch den AA 3.11 Straßenbetriebsdienst der FGSV. URL: <https://www.fgsv.de/rw-zusammenstellungen.html>, abgerufen am 11.04.2022
- [FGSV 2021] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [2021]. Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA), Ausgabe 2021, herausgegeben durch

- die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. FGSV-Verlag, Köln 2021
- [HANKE 2019] HANKE, H. [2019]. Teil I: Straßenbetriebsdienst. In: Der Elsner, Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2020, Otto Elsner Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Dieburg
- [Hessen Mobil 2018] Hessen Mobil [2018]. URL: https://mobil.hessen.de/sites/mobil.hessen.de/files/aFAS_Schlusspr%C3%A4sentation_Pressemeldung_01-00-00.pdf, abgerufen am 11.04.2022
- [Hessen Mobil 2019] Hessen Mobil [2019]. Zusammenstellung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) im Basisnetz unter Beachtung StVO und arbeitsschutzrechtlicher Richtlinien. Hessen Mobil, Straßen- und Verkehrsmanagement, Wiesbaden
- [HOLLDORB et al. 2022] HOLLDORB, C.; CYPRA, T.; WACHSMANN, J. [2022]. Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall. Schlussbericht zum FE-Vorhaben 03.0572/2018/MRB im Auftrag Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht). Karlsruhe, Januar 2022
- [KAYSER et al. 1993] KAYSER, H. J.; FELDGES, M.; BUSCHMANN, U.; OVERKAMP, K. [1993]. Unfälle mit Straßenunterhaltungspersonal auf Bundesautobahnen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 673, Bonn
- [KBA 2021] Kraftfahrt-Bundesamt [2021]. KBA erteilt erste Genehmigung zum automatisierten Fahren. URL: https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemittelungen/Allgemein/2021pm49_2021_erste_Genehmigung_automatisiertes_Fahren.html?snn=3662144, abgerufen am 11.04.2022
- [LFA 2003] LfA – Länderfachausschuss „Straßenunterhaltung und Betriebsdienst“ (Herausg.) [2003]. MK 8: Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst: Ermittlung des Fahrzeug- und Gerätebedarfs für Autobahn- und Straßenmeistereien, veröffentlicht: Verkehrsblatt, (VkBl) Heft 20, Seite 674 ff., Verkehrsblatt-Verlag Borgmann GmbH & Co. KG, Dortmund
- [ROOS et al. 2008] ROOS, R.; ZIMMERMANN, M.; RIFFEL, S.; CYPRA, T. [2008]. Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen. Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.403/2005/LRB. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 170, Bergisch Gladbach, Mai 2008
- [RUTTLOFF 2017] RUTTLOFF, M. [2017]. Neue rechtliche Vorgaben für automatisiertes Fahren. URL: <https://www.gleisslutz.com/de/node/13144/pdf>, abgerufen am 11.04.2022
- [TU DRESDEN 2021] Technische Universität Dresden, Fakultät Psychologie und Zentrum für taktiles Internet mit Mensch-Maschine-Interaktion (CeTI) [2021]. Autonom und unfallfrei – Betrachtungen zur Rolle der Technischen Aufsicht im Kontext des autonomen Fahrens. URL: https://tu-dresden.de/mn/psychologie/iaosp/applied-cognition/ressourcen/dateien/publikationen/pdf/01_Dix2021.pdf?lang=en, abgerufen am 11.04.2022
- [ZIMMERMANN/MORITZ 2004] ZIMMERMANN, M.; MORITZ, K. [2004]. Erhöhung des Schutzes von Straßenbetriebsdienstpersonal an Arbeitsstellen kürzerer Dauer, in: Straßenverkehrstechnik, Heft 10/2004, S. 499-506, Kirschbaum-Verlag Bonn

Bilder

- Bild 1-1: Projektorganisation und Projektsteuerung
- Bild 2-1: Verkehrstechnische Gestaltung einer Arbeitsstelle von kürzerer Dauer auf dem Seitenstreifen [FGSV 2021]
- Bild 2-2: Regelplan D III/2r [FGSV 2021]
- Bild 2-3: Anteile der Leistungsbereiche am Gesamtaufgabenumfang im Straßenbetrieb für Bundesautobahnen, Datengrundlage: BMDV (2020)
- Bild 2-4: Sicherheitsaspekte der Betriebssicherheit
- Bild 2-5: Basis Sicherheits-Standard IEC 61508
- Bild 2-6: Beispiele von Cybersecurity Normen
- Bild 2-7: Relevante Cybersecurity Vorschriften & Rechtsakte

- Bild 5-1: Abschätzung von Umsetzungszeitraum und Umsetzungsaufwand der Use Cases
- Bild 5-2: Technische Realisierbarkeit (Abstimmungsergebnis)
- Bild 5-3: Erhöhung der Sicherheit (Abstimmungsergebnis)
- Bild 5-4: Erhöhung der Effizienz (Abstimmungsergebnis)
- Bild 5-5: Absicherung Risiken (Abstimmungsergebnis)
- Bild 5-6: Weiterverfolgung Use Cases (Abstimmungsergebnis)
- Bild 5-7: Zusammenfassung der Abstimmungsergebnisse zu den neun Use Cases
- Bild 5-8: Ausgewählte Use Cases
- Bild 7-1: Use Case 3 – vereinfachte funktionale Architektur
- Bild 7-2: Use Case 3 – vereinfachte technische Architektur
- Bild 7-3: Use Case 5 – vereinfachte funktionale Architektur
- Bild 7-4: Use Case 5 – vereinfachte technische Architektur
- Bild 7-5: Use Case 9 – vereinfachte funktionale Architektur
- Bild 7-6: Use Case 9 – vereinfachte technische Architektur
- Bild 8-1: Funktionale Struktur für Use Case 3
- Tab. 3-1: Liste der Autobahnmeistereien im Rahmen des Anwenderworkshops
- Tab. 5-1: Liste der Stakeholder beim Expertenworkshop
- Tab. 7-1: Betrachtete Use-Cases und Fahrzeugkonfigurationen

Tabellen

- Tab. 2-1: Zuordnung der relevanten Aufgaben des Betriebsdienstes zu den Kategorien A, B und C [BASt et al. 2020]
- Tab. 2-2: Betriebskategorien für UAS [BMDV 2021c]
- Tab. 2-3: Ausstattung der Autobahnmeistereien mit Fahrzeugen, Anhängern und Großgeräten

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2020

V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

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

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

Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> 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, Bawidemann € 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, Löffbering, 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**
Klößner, 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, Altröck, 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, Kathis, 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.

V 371: **Begleitende Systemevaluation der Maßnahme: Sicheres Ausleiten bei BAG-Standkontrollen**
Fehn, Margreiter, Spangler, Bogenberger, Emmermann, Bengler, Vierkötter, Nedkov, Feldges, Holst
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 372: **Autonome Systeme für Straßenbetriebsdienste (AETAS BAB)**
Lüpges, Kleer, Holldorb, Zielke
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.