

# **Begleitende Systemevaluation der Maßnahme: Sicheres Ausleiten bei BAG-Standkontrollen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 371**

**bast**

# **Begleitende Systemevaluation der Maßnahme: Sicheres Ausleiten bei BAG-Standkontrollen**

von

Fabian Fehn  
Martin Margreiter  
Matthias Spangler  
Klaus Bogenberger

Lehrstuhl für Verkehrstechnik  
TU München

Birte Emmermann  
Klaus Bengler

Lehrstuhl für Ergonomie  
TU München

Marcel Vierkötter  
Malte Nedkov

TÜV Rheinland Consulting GmbH  
Köln

Michael Feldges  
AVT-Consult GmbH  
Geilenkirchen

Lutz Holst  
Ingenieurbüro Holst  
Grünheide

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 371**

**bast**

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

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

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

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

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

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

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

## **Impressum**

**Bericht zum Forschungsprojekt 03.0541 (Anlage 2)**  
Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg

**Fachbetreuung**  
Karen Scharnigg

**Referat**  
Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb

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

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Kommunikation

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

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-732-7

Bergisch Gladbach, Mai 2023

## Kurzfassung – Abstract

### **Begleitende Systemevaluation der Maßnahmen „Sicheres Ausleiten bei BAG-Standkontrollen“**

Ziel des Projektes war die Evaluierung einer technischen Ausleitmethode für Fahrzeuge an Kontrollplätzen im Rahmen von Standkontrollen des Bundesamts für Güterverkehr, um das händische Ausleiten durch das Kontrollpersonal in Zukunft zu ersetzen. An fünf deutschlandweit verteilten Standorten wurde die Technik, bestehend aus: Bedienstation, Kamertechnik und LED-Ausleitafel getestet, um ein gefahrloses Ausleiten von Fahrzeugen von Autobahnen zu ermöglichen.

Die verwendete Software übermittelt die Kennzeichen, welche zuvor von einem Kamerasystem erfasst wurden und leitet diese dann inklusive eines Fahrzeugbildes an die das Kontrollpersonal weiter. Grundsätzlich ist eine Pulk- oder Individualausleitung der Fahrzeuge möglich.

Am Pilotstandort Sophienberg, Bayern wurden empirische Untersuchungen zur Sicherheit und Funktionalität der Ausleittechnik durchgeführt, zusätzlich befragte man standortübergreifend fahrzeugführende Personen hinsichtlich der Ausführung und Darstellung der Ausleitafel. Durch eine Befragung des Kontrollpersonals wurde die höhere Sicherheit beim technischen Ausleiten bestätigt und Probleme herausgearbeitet, die dem Kontrollpersonal in der Testphase aufgefallen sind.

Die anschließende ergonomische Untersuchung ergab, dass Optimierungsbedarf bezüglich der Bediensoftware für das BAG-Kontrollpersonal besteht. Verbesserungsmöglichkeiten werden zum Beispiel in der Bildqualität, dem Bildausschnitt und der Verringerung der Anzahl an Kamerabildern auf dem Bildschirm, sowie der Erfassung und Dokumentation gesehen.

Die parallel ablaufende technische Bewertung des Gesamtsystems legte Verbesserungspotenzial an den einzelnen Standorten offen und sprach Empfehlungen zum weiteren Ausbau der Pilotstandorte aus.

Für den flächendeckenden Ausbau der Ausleittechnik werden die Standorte für eine mögliche technische Aufrüstung nach bestimmten Eigenschaften

ausgewählt, die in einem Gesamtkriterienkatalog zusammengefasst wurden.

Die Einschätzung zur zukünftigen Entwicklung der Ausleittechnik ergab, dass eine digitale Kommunikationsverbindung zwischen Bediensoftware und Lkw eine Verbesserung des Verkehrsflusses zur Folge hat. Die Informationen, welche die Ausleitafeln anzeigen würden, könnten direkt an den Bordcomputer des zu ausleitenden Fahrzeugs übermittelt werden, um eine gezieltere Ausleitung durchzuführen.

### **Accompanying system evaluation of the measure “Safe Motorway Exit for Road-Side Checks”**

The aim of the project was to evaluate a technical diversion method for vehicles at control points within the scope of stationary controls of the Federal Office for Goods Transport (BAG) in order to replace manual rejection by control personnel in the future. The technology, consisting of an operating station, camera technology and a control unit, was installed at five locations throughout Germany: Control station, camera technology and LED motorway exit display, was tested at five locations throughout Germany to enable the safe diversion of vehicles from motorways.

The software used transmits the number plates, which were previously recorded by a camera system, and then forwards them, including a vehicle image, to the control personnel. In principle, it is possible to divert vehicles in batches or individually.

At the pilot site in Sophienberg, Bavaria, empirical studies were carried out on the safety and functionality of the guidance technology, and in addition, vehicle operators were questioned across all sites regarding the design and presentation of the LED motorway exit display. A survey of the control personnel confirmed the higher level of safety during the technical diversion and identified aspects that the control personnel noticed during the test phase.

The subsequent ergonomic study showed that there is a need for optimisation of the operating software

for the BAG control staff. Possibilities for improvement are seen, for example, in the image quality, the image detail and the reduction of the number of camera images on the screen, as well as the recording and documentation.

The parallel technical evaluation of the overall system revealed potential for improvement at the individual sites and made recommendations for further expansion of the pilot sites.

For the network wide expansion of the system, the locations for a possible installation were selected according to certain characteristics, which were summarised in an overall catalogue of criteria.

The assessment of the future development of the technical diversion method showed that a digital communication link between the operating software and the truck would result in an improvement of the traffic flow. The information that would be displayed by the LED motorway exit displays could be transmitted directly to the on-board computer of the vehicle to be diverted in order to carry out a more targeted diversion.

# Inhalt

<b>Abkürzungen</b> .....	8	4.3.2 Ergebnisse der Radarmessungen .....	24
<b>1 Hintergrund und Zielsetzung</b> .....	9	4.4 Auslastung der Parkplatzkapazitäten des Kontrollplatzes PWC Sophienberg. ....	24
<b>2 Grundlagen und methodische Vorgehensweise</b> .....	10	4.5 Wesentliche Erkenntnisse zur Verbesserung des Gesamtsystems ...	25
2.1 Zusammenstellung bestehender Projektberichte und Untersuchungen ...	11	<b>5 Befragungen zum Ausleitsystem</b> ...	26
2.2 Bestandsaufnahme existierender Systeme .....	11	5.1 Befragung der Fahrzeugführer .....	26
2.2.1 Österreich .....	11	5.1.1 Allgemeine Informationen zu den Fahrzeugführern .....	26
2.2.2 Schweiz .....	12	5.1.2 Auswertung der Fragen für Ausfahrer und Nicht-Ausfahrer .....	28
2.3 Technische Ausstattung der 5 Pilot- Kontrollplätze in Deutschland .....	12	5.1.3 Auswertung der Fragen exklusiv für Ausfahrer .....	30
2.3.1 Erfassungssysteme .....	13	5.1.4 Auswertung der Fragen exklusiv für Nicht-Ausfahrer .....	32
2.3.2 Anzeigesysteme .....	14	5.1.5 Allgemeine Kommentare der Fahrzeugführer .....	33
2.3.3 Datenkommunikation .....	15	5.2 Befragung des BAG-Kontroll- personals .....	33
2.3.4 Energieversorgung (EV) .....	15	5.2.1 Allgemeine Informationen zu den BAG-Kontrolleuren .....	34
2.3.5 Intelligente BAG-SSst 3 .....	16	5.2.2 Vergleich des neuen und alten Ausleitsystems .....	34
2.3.6 Bedienung und Visualisierung (BuV) ..	16	5.2.3 Erfahrungen mit Fahrzeugführern ....	35
<b>3 Methodische Vorgehensweise – Ablauf der Evaluierung</b> .....	17	5.2.4 System- und Softwareevaluierung ....	36
<b>4 Empirische Untersuchungen am Standort PWC Sophienberg-West</b> ...	19	5.3 Wesentliche Erkenntnisse zur Verbesserung des Gesamtsystems ...	39
4.1 Videoaufzeichnungen im Bereich des Verzögerungsstreifens .....	19	5.3.1 Befragung der Fahrzeugführer .....	39
4.1.1 Befolgungsgrad der Ausleit- aufforderung .....	19	5.3.2 Befragung des BAG-Kontroll- personals .....	40
4.1.2 Zeitpunkt des Wechsels auf den Verzögerungsstreifen .....	21	<b>6 Technische Bewertung der Ausleittechnik</b> .....	40
4.2 Videoaufzeichnungen im Bereich der Kennzeichenerkennung .....	22	6.1 Technische Bewertung und Optimierung der Kennzeichen- erkennung .....	41
4.2.1 Versuchsaufbau .....	22	6.1.1 Methodik .....	41
4.2.2 Fahrstreifenwahl auf Höhe der Kennzeichenerfassung .....	23	6.1.2 Ergebnisse Bewertung ANPR .....	42
4.3 Geschwindigkeitsverhalten im Zulauf .....	23		
4.3.1 Versuchsaufbau .....	23		

6.2	Technische Bewertung und Optimierung der Datenkommunikation . . . . .	43	7.2.1	Verwendung von Schilderelementen nach Verkehrszeichenkatalog . . . . .	56
6.2.1	Methodik zur Bewertung Datenkommunikation . . . . .	43	7.2.2	Farbgebung . . . . .	57
6.2.2	Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	44	7.2.3	Anordnung der Gewichtsklassen . . . . .	57
6.3	Technische Bewertung und Optimierung der Anzeige . . . . .	46	7.2.4	Textanzeige . . . . .	57
6.4	Technische Bewertung und Optimierung der Energieversorgung . . . . .	47	7.2.5	Erhöhung der Auffälligkeit . . . . .	57
6.5	Technische Bewertung der Sicherheit der IT-Infrastruktur zur Datenkommunikation . . . . .	50	7.3	Weiterentwicklung der Anzeigehalte der Ausleitertafel – Iteration I. . . . .	58
6.5.1	Aufbau und Bewertung der Sicherheit des Mobilfunk-Netzes. . . . .	50	7.3.1	Okklusionsversuch . . . . .	59
6.5.2	Aufbau und Bewertung der Sicherheit des WLAN-Netzes . . . . .	50	7.4	Weiterentwicklung der Anzeigehalte der Ausleitertafel – Iteration II . . . . .	64
6.5.3	Aufbau und Bewertung der Sicherheit des Mesh-Netzes . . . . .	50	7.4.1	Online-Umfrage . . . . .	64
6.6	Technische Bewertung und Optimierung der Funktionalitäten der BuV-Software . . . . .	51	7.5	Evaluation der Verwendung einer zweiten Ausleitertafel. . . . .	70
6.6.1	Zielsetzung . . . . .	51	7.5.1	Gestaltung einer zweiten Ausleitertafel. . . . .	71
6.6.2	Bewertung BuV-Software (Qualität, Verfügbarkeit) . . . . .	51	7.5.2	Online-Umfrage . . . . .	71
6.6.3	Bewertung Servicefreundlichkeit des Systems. . . . .	53	7.6	Finale Iteration . . . . .	77
6.7	Weiterentwicklung der Komponenten und des Gesamtsystems . . . . .	53	<b>8</b>	<b>Bewertung und Evaluation der aktuellen BAG Bediensoftware. . . . .</b>	<b>78</b>
6.7.1	Weiterentwicklung der Vorerfassung . . . . .	53	8.1	Analyse des Status Quo. . . . .	78
6.7.2	Dokumentation nicht ausgefahrener Fahrzeuge (Nacherfassung) . . . . .	54	8.1.1	Methoden . . . . .	78
6.7.3	Zentrales Monitoring aller Kontrollplätze durch das BAG . . . . .	54	8.1.2	Festgestellte Mängel . . . . .	78
6.7.4	Anbindung der Achslastmess-einrichtungen . . . . .	55	8.2	Implikationen für Überarbeitung der Bediensoftware . . . . .	81
<b>7</b>	<b>Bewertung und Evaluation der aktuellen Anzeigehalte der Ausleitertafel . . . . .</b>	<b>56</b>	8.3	Weiterentwicklung der Bediensoftware . . . . .	83
7.1	Status quo und Ergebnisse aus Befragungen und Vorgehen . . . . .	56	8.3.1	Durchführung . . . . .	84
7.2	Berücksichtigte Gestaltungsmerkmale und ergonomische Kriterien . . . . .	56	8.4	Finaler Prototyp der Bediensoftware . . . . .	84
			8.4.1	Variante I . . . . .	84
			8.4.2	Variante II . . . . .	90
			<b>9</b>	<b>Flächendeckender Ausbau der Ausleitertechnik. . . . .</b>	<b>92</b>
			9.1	Anforderungen an BAG-Kontrollplätze unter Berücksichtigung des sicheren Ausleitens . . . . .	93
			9.2	Erarbeitung eines Gesamtkriterienkatalogs mit Nutzwertanalyse als Bewertungsverfahren für Kontrollplätze . . . . .	94

---

9.3	Anpassung des Kriterienkatalogs zur Bewertung aller in Frage kommender Standorte . . . . .	95
9.4	Validierung und Anwendung des reduzierten Kriterienkatalogs zur Standortbewertung für das sichere Ausleiten . . . . .	96
<b>10</b>	<b>Zukünftige Entwicklung der Ausleittechnik.</b> . . . . .	<b>99</b>
10.1	Ausarbeitung von möglichen Varianten für Regelpläne einer zukünftigen Kontrollstellenbeschilderung . . . . .	99
10.2	Mögliches Vorgehen beim Ausleiten von elektronisch gekoppelten Lkw (Lkw-Konvois) . . . . .	103
10.3	Möglichkeit der Nutzung kooperativer Systeme für das sichere Ausleiten. . . . .	107
<b>11</b>	<b>Fazit und Ausblick</b> . . . . .	<b>110</b>
	<b>Literatur.</b> . . . . .	<b>112</b>
	<b>Bilder.</b> . . . . .	<b>113</b>
	<b>Tabellen.</b> . . . . .	<b>118</b>

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

## Abkürzungen

ABDNB	Autobahndirektion Nordbayern	KVS	Kabelverteilerschrank
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route	Lkw	Lastkraftwagen
ALT	Ausleitafel	LTE	Long Term Evolution
AME	Achslastmessstelleneinrichtung	LWL	Lichtwellenleiter
ANPR	Automatic Number Plate Recognition	M	Mittelwert
AS	Anschlussstelle	PW	Prismenwender
ASTRA	Bundesamt für Straßen (Schweiz)	PWC	Parkplatz mit WC
AVTC	Aachener Verkehrs Telematik Consult	RWBA	Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Autobahnen
BAG	Bundesamt für Güterverkehr	RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben	SD	Standardabweichung (Engl.: standard deviation)
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik	SM	Steuermodul
BuV	Bedienung und Visualisierung	SSt	Streckenstation
DK	Datenkommunikation	TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
DTA	Digitalen Testfelds Autobahn	SW	Software
EAK	Eingabe-Ausgabe-Konzentrator	TLS	Transport Layer Security
EV	Energieversorgung	TLS	Technische Lieferbedingungen Streckenstationen
EVU	Elektrizitätsversorgungsunternehmen	TUM	Technische Universität München
EV-ÜP	Energieversorgungs-Übergabepunkt	UMTS	Universal Mobile Telecommunications Systems
FS	Fahrstreifen	UZ	Unterzentrale
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
Fzg	Fahrzeug	VPN	Virtual Privat Network
GüKG	Güterkraftverkehrsgesetz	VRZ	Verkehrsrechnerzentrale
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	VZ	Verkehrszentrale
I-CODE	Interactive-Consumer Design & Evaluation	WLAN	Wireless Local Area Network
IR	Infrarot	WVZ	Wechselverkehrszeichen
KonPK	portable Kontrolltechnik	WWB	Wegweisende Beschilderung
KontP	Kontrollplatz	ZMS	Zentrales Monitoring System

## 1 Hintergrund und Zielsetzung

Bei Kontrollen von Fahrzeugen auf Autobahnen durch das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) wurden Fahrzeuge bisher durch BAG-Kontrolleure „händisch“ ausgeleitet. Aus Gründen der Arbeitssicherheit für die Kontrolleure sowie der allgemeinen Verkehrssicherheit bestand der Bedarf, das bisherige Ausleitverfahren durch eine technische Ausleitmethode zu ersetzen. Im Rahmen des Projektes FE 82.0520/2011 wurde eine automatisierte Ausleitmethode entwickelt, die ein Betreten der Autobahn in Funktion des Ausleitpostens durch das Kontrollpersonal (siehe Bild 1) nicht mehr erforderlich macht. Bei dieser Ausleitmethode kommen neben einer Bedienstation auch Kamertechnik und eine LED-Ausleittafel zum Einsatz.

Anfang September 2017 wurde die erste Pilotanlage für das „Sichere Ausleiten bei BAG Standkontrollen“ am Parkplatz mit WC (PWC) Sophienberg West im Rahmen des Digitalen Testfelds Autobahn (DTA) an der A9 offiziell in Betrieb genommen. Weitere vier Standorte – in Hessen am PWC Theißtal West an der A3, in Nordrhein-Westfalen am PWC Allenstein Süd an der A2, in Brandenburg am PWC Schieferberg Süd an der A10 und in Schleswig-Holstein am PWC Ellerbrock West an der A1 – wurden ebenfalls eingerichtet. Die Lage der fünf Pilotstandorte kann Bild 2 entnommen werden. Die Hauptziele der neuen Ausleittechnik waren das gefahrlose Ausleiten der Fahrzeuge, die direkte Ansprache der Fahrzeugführer und ein effizienter Ablauf der Standkontrollen. Die genannten Pilotanlagen zum sicheren Ausleiten von Lkw, Bussen und Fahrzeugen mit Anhängern sind ähnlich aufgebaut. Der generische Aufbau der Pilotanlagen wird in Bild 3 dargestellt. Sie bestehen aus der Vorerfassung (Streckenstation 1) durch eine Kennzeichenerfassungs- und eine



Bild 1: Herkömmliches Ausleitverfahren (© BAG)

Übersichtskamera, einer Ausleittafel (Streckenstation 2) inklusive einer weiteren Übersichtskamera und der Steuerungseinheit (Streckenstation 3), welche sich via WLAN-Verbindung über einen Laptop bedienen lässt.

Das Vorgehen bei einer Ausleitung mit dem beschriebenen System läuft üblicherweise folgendermaßen ab: Die Vorerfassung detektiert mithilfe einer Kennzeichenerfassungs- und einer Übersichtskamera auf dem Hauptfahrstreifen vorbeifahrende Fahrzeuge. Das erkannte Kennzeichen und das zugehörige Übersichtsbild werden anschließend an die Steuerungseinheit auf dem Kontrollplatz übermittelt. Von dort aus können die Mitarbeiter des BAG über WLAN auf die Bediensoftware des Systems zugreifen und eine kennzeichen-basierte Ausleitung des Fahrzeugs veranlassen. An dieser Stelle sei erwähnt, dass neben der individuellen Ausleitung per Kennzeichen auch eine Ausleitung im Pulk (alle Fahrzeuge einer Fahrzeugklasse müssen abfahren) stattfinden kann. Dabei wird der Person, die das Fahrzeug führt, beim Passieren der LED-Ausleittafel die Aufforderung „Kontrolle“, bzw. „Control“ in Kombination mit einem Symbol (z. B. für Lkw) oder dem amtlichen Kennzeichen seines Fahrzeugs präsentiert. Die Ausleittafel befindet sich da-

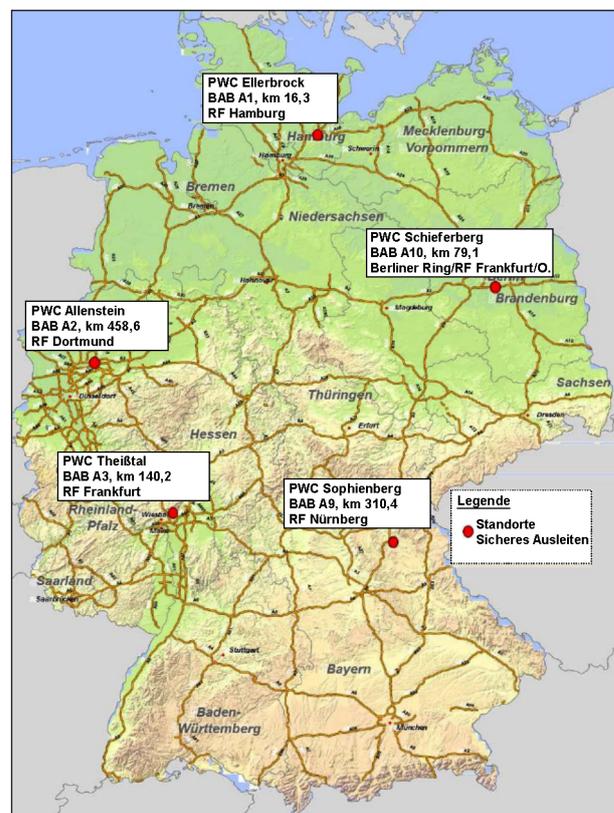


Bild 2: Übersichtskarte zu Pilotstandorten (© BAG)

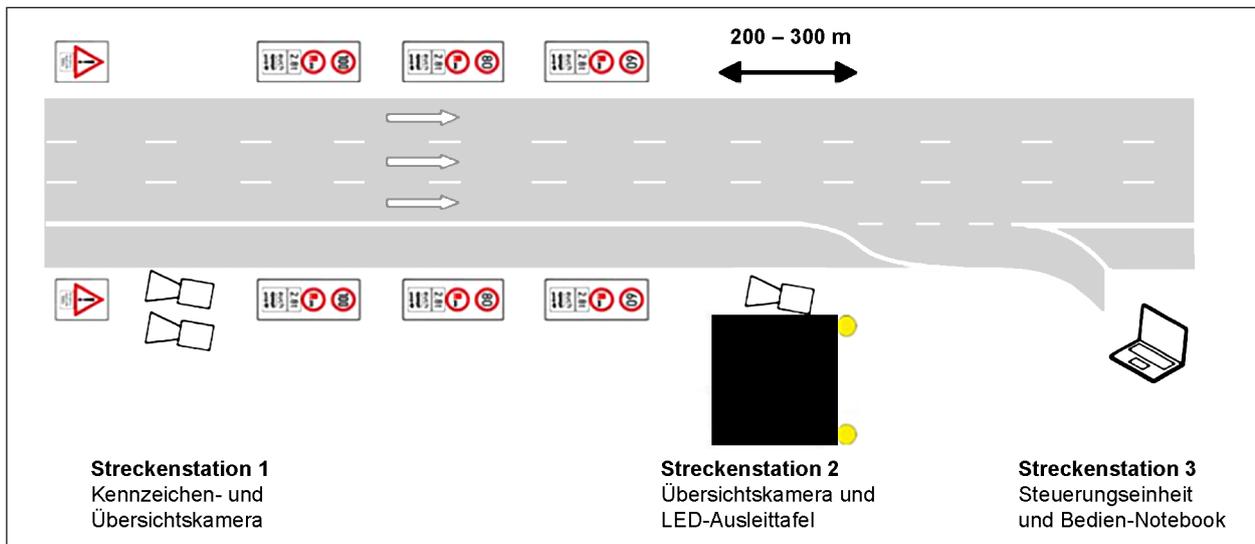


Bild 3: Übersichtsplan des Aufbaus der Pilotanlagen zum sicheren Ausleiten bei BAG Standkontrollen (© BAG)

bei etwa 200 bis 300 m vor Beginn der Ausfahrt zum Kontrollplatz. Die genaue Vorgehensweise bei einer Ausleitung wird im „Leitfaden Sicheres Ausleiten“ der BAG zusammengefasst (Bundesamt für Güterverkehr (BAG), 2018).

Der Pilotbetrieb ist auf einen Zeitraum von ca. 2 Jahren ausgelegt. Im ersten Jahr soll die Anwendung der Technik sowie das Einspielen der Abläufe im Vordergrund stehen. Gleichzeitig soll der Bekanntheitsgrad des Systems unter den Fahrzeugführern erhöht werden. Im zweiten Jahr soll das System evaluiert und die Ergebnisse ausgewertet werden. Ziel der Evaluation ist hierbei die Auswertung der Akzeptanz des Ausleitsystems unter den Fahrzeugführern und die Analyse von Optimierungspotenzialen für das Gesamtsystem. Darauf aufbauend soll die Grundlage für einen flächendeckenderen Ausbau der Ausleittechnik geschaffen werden.

Das Gesamtsystem kann in die bereits genannten Teilsysteme Vorerfassung, Ausleittafel und Steuerungseinheit auf dem Kontrollplatz aufgeteilt werden. Darüber hinaus stellt die Bediensoftware für das BAG-Kontrollpersonal eine wichtige zu evaluierende Systemkomponente dar. Im Bereich der Vorerfassung soll insbesondere die Detektions- sowie Erkennungsrate der Kennzeichenerfassung beurteilt werden. Die LED-Ausleittafel soll hinsichtlich der Funktionalität der aktuell verwendeten Anzeigehalte bei Pulk- und Individualausleitung untersucht werden. Zusätzlich sollen mögliche Verbesserungsvorschläge der Anzeigehalte erarbeitet und getestet werden. Des Weiteren ist zu untersuchen, ob sich Verbesserungspotenziale in der Be-

diensoftware der BAG-Kontrolleure identifizieren lassen.

## 2 Grundlagen und methodische Vorgehensweise

Die Grundlagenermittlung sowie die methodische Vorgehensweise orientieren sich am üblichen Vorgehen bei der Evaluierung von Verkehrssystemen. Das vorliegende Evaluierungsvorhaben gliedert sich in sechs aufeinander aufbauende Teilvorhaben:

1. Grundlagenstudie und Erstellung eines Versuchsplans.
2. Empirische Untersuchungen am Standort PWC Sophienberg und standortübergreifende Befragungen.
3. Technische Bewertung der neuen Ausleittechnik; insbesondere Kennzeichenerfassung, Datenkommunikation, Anzeigetechnik, Betrieb.
4. Bewertung der aktuellen sowie Erarbeitung und empirische Bewertung von verbesserten Anzeigehalten für die Ausleittafel und die BAG-Bedienoberfläche sowie Identifizierung der Verbesserungspotenziale.
5. Ableitung von Empfehlungen zur Verbesserung des Gesamtsystems.
6. Empfehlungen für einen flächendeckenderen Ausbau und zukünftige Entwicklung der Ausleittechnik.

Die Teilvorhaben werden nachfolgend detailliert beschrieben, sowie deren Zusammenhänge erläutert. Bild 8 zeigt das Ablaufschema zur Evaluierung der Maßnahme „Sicheres Ausleiten bei BAG Standkontrollen“.

## 2.1 Zusammenstellung bestehender Projektberichte und Untersuchungen

Zu Beginn der Untersuchungen wurden die grundlegenden Arbeiten zum Thema sicheres Ausleiten bei Standkontrollen recherchiert und zusammengestellt. Dabei wurden sowohl bestehende Projektberichte gesichtet als auch internationale Best-Practice Beispiele recherchiert. Als erstes ist hierbei der Abschlussbericht „Sicheres Anhalten von Kraftfahrzeugen und Fahrzeugkombinationen bei (Stand-) Kontrollen des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) auf Autobahnen“ (FE 82.0520/2011) der RWTH Aachen zu nennen. Ziel des Projektes war es, die Sicherheit der BAG-Kontrolleure zu erhöhen, und dafür eine automatisierte Ausleitmethode zu entwickeln und zu evaluieren. Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass „im Vergleich zum derzeit angewandten, klassischen Ausleiten durch BAG-Kontrolleure [...] unter den gegebenen verkehrlichen Umständen an unterschiedlichen Kontrollplätzen mit dem automatischen Ausleiten im Schnitt deutlich höhere Ausfahr- und Kontrollraten erzielt werden“ (DINER, KEMPER, OESER, SKOTTKE & MÜSSELER, 2013).

Eine Untersuchung des Ingenieurbüros GEVAS Humberg & Partner aus dem Jahr 2017 hat ergeben, dass der Softwarestand am BAG-Kontrollpunkt PWC Sophienberg noch Mängel offenbart. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass „der Beginn des Pilotbetriebs [...] dennoch möglich ist“ (HUMBERG, 2017). Im Rahmen der Untersuchungen durch das Ingenieurbüro GEVAS HUMBERG & Partner definierte die Autobahndirektion Nordbayern (ABDNB) ihrerseits Verbesserungsideen zum Bestandssystem (Autobahndirektion Nordbayern, 2017). Dabei wurden insbesondere folgende Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert:

- Verringerung der Anzahl an angezeigten Pkw-Kennzeichen in der durchlaufenden Endlostabelle der BAG-Bediensoftware zur Reduzierung der visuellen Belastung des BAG-Kontrollpersonals.

- Abdeckung des mittleren Fahrstreifens mit einer weiteren Kamera zur Kennzeichenerfassung.
- Modifikation der Anzeigehalte der Ausleitafel bei Kennzeichenausleitung (Individualausleitung).
- Modifikation der Anzeigehalte der Ausleitafel bei Pulkausleitung.
- Veränderung der Programmsteuerung der BAG-Bediensoftware.
- Schriftgrößen-Maximierung je nach Kennzeichen.
- Standort Sophienberg: Behebung des Ruckelns der Videos trotz LWL-Verbindungen.
- Erstellung eines beweismitteltauglichen Ausleitprotokolls.

## 2.2 Bestandsaufnahme existierender Systeme

Im Laufe des Projektes wurden alle sich bereits in Betrieb befindlichen Pilotstandorte zum sicheren Ausleiten der BAG durch das Projektteam besucht und die Bestandssysteme analysiert. Zusätzlich zu den Entwicklungen der RWTH Aachen und den von der Autobahndirektion Nordbayern erarbeiteten Verbesserungsvorschlägen wurde eine Recherche zu Best-Practice Beispielen im deutschsprachigen Ausland zum Thema durchgeführt.

### 2.2.1 Österreich

Zur technischen Überprüfung des Schwerverkehrs in Österreich wurde eine mobile Einsatztruppe geschaffen, welche die Kontrollen an flächendeckend eingeführten Kontrollstellen entlang der Autobahnen durchführt. Zusätzlich kam es zur Einführung eines einheitlichen Bußgeldkatalogs und einheitlicher Kontrollstandards. Im Jahr 2006 ging am Grenzübergang der B180 Reschenstraße die Kontrollstelle Nauders in Betrieb, welche über eine spurfeine LED-Anzeigeeinheit verfügt (siehe Bild 4).

An größeren Kontrollstellen wurden dynamische Spuruweisungen eingerichtet, welche eine genaue Selektion der zu kontrollierenden Fahrzeuge zulassen (siehe Bild 5).



Bild 4: Kontrollstelle Nauders in Tirol (© Land Tirol)

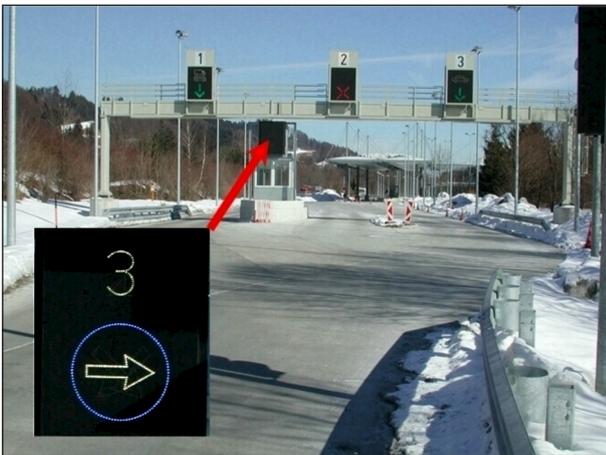


Bild 5: Dynamische Spurzuweisung an der Kontrollstelle in Radfeld (© Land Tirol)



Bild 6: Kontrollplatz des Schwerverkehrskontrollzentrums im schweizerischen San-Vittore (© ASTRA, Sekundärquelle: Alpen-Initiative, „Kontrollzentrum San Vittore. Primärquelle: Bundesamt für Strassen ASTRA, „Kontrollzentrum San Vittore“)

### 2.2.2 Schweiz

Im Jahr 2008 wurde das erste Schwerverkehrskontrollzentrum im schweizerischen Unterrealta in Betrieb genommen. Landesübergreifend gibt es Stand 2017 sechs solcher Schwerverkehrskontrollzentren, welche wiederum in sogenannte Maxi-, Midi-

und Mini-Zentren eingeteilt sind. Bild 6 zeigt den Kontrollplatz des Schwerverkehrskontrollzentrums in San-Vittore.

Die Ausleitung der zu kontrollierenden Fahrzeuge erfolgt mittels statischer Verkehrszeichen.

Zusätzlich werden laut dem Bundesamt für Straßen ASTRA laufend mobile Unterwegs-Kontrollen durch die Kantonspolizei durchgeführt.

### 2.3 Technische Ausstattung der 5 Pilot-Kontrollplätze in Deutschland

Von 2017 bis 2019 wurden an insgesamt 5 BAG-Kontrollplätzen (KontP) die innovativen Ausleitsysteme für das Sichere Ausleiten errichtet. Mit Stand April 2021 sind alle 5 Standorte in Betrieb. Das Ausleitsystem besteht aus den Komponenten:

- Kennzeichen-Vorerfassung (Automatic Number Plate Recognition ANPR) mit Trigger-Detektor und Übersichtskamera 1 und SSt 1.
- Freiprogrammierbare LED-Ausleittafel des BAG (BAG-ALT) mit Übersichtskamera 2 und SSt 2.
- intelligente BAG-Streckenstation (BAG-SSt), SSt 3.
- Komponenten zur Datenkommunikation (DK) und Energieversorgung (EV).

Hierzu kommt eine Software, welche die Anzeige von Fahrzeugkennzeichen und -bildern sowie von Videostreams auf dem Laptop der Kontrolleure im BAG-Kontrollfahrzeug und die Auswahl auszuleitender Fahrzeuge ermöglicht.

Dabei wurden im Sinne des Pilotcharakters verschiedene Ausbaustufen und technische Lösungen des Ausleitsystems realisiert. In Tabelle 1 werden die eingerichteten Kontrollplätze inklusive der jeweils installierten Komponenten dargestellt. Die vorhandene Regelbeschilderung ist je nach Kontrollplatz unterschiedlich ausgebildet. An den meisten Kontrollplätzen kommen manuell zu bedienende Klapptafeln zumeist als Prismenwender (PW), welche bei Vorbeifahrt durch die Kontrolleure mittels Funk-Fernbedienung einzeln geschaltet werden, zum Einsatz.

Beim PWC A1 Ellerbrook soll dies zentral an der BAG-SSt 3 über die BuV sowie Nahbereichsfunk erfolgen.

KontP/ Komponenten	A1 Ellerbrook	A2 Allenstein	A3 Theißtal	A9 Sophienberg	A10 Schiefererg
Vorerfassung (ANPR)	x	-	x	x	x
Ü-Kam1	x	-	x	x	x
Ü-Kam2	x	x	x	x	x
Kontrollstellen- beschilderung	x (neu)	(vorh.)	(vorh.)	(vorh.)	(vorh.)
BAG-ALT	x	x	x	x	x
BAG-SSt 3 mit Steuerungseinheit	x	x	x	x	x
Laptop mit Software zur Bedienung und Visualisierung (BuV)	x	x	x	x	x
DK	LWL/ Funk	Funk	Funk	LWL	Funk
EV Vorerfassung	Netz	-	Autark	Netz	Netz
EV BAG-ALT	Netz	Autark	Netz	Netz	Netz
EV BAG-SSt 3	Netz	Netz	Netz	Netz	Netz
Anbindung-VZ	nein	nein	nein	ja	nein

Tab. 1: Übersicht Komponenten BAG-Pilot-KontP

### 2.3.1 Erfassungssysteme

Das Erfassungssystem besteht aus mehreren Komponenten; seine Zusammenstellung hängt davon ab, ob einzelne Fahrzeuge individuell und Fahrzeug-Pulks (Variante 1) oder nur Fahrzeug-Pulks (Variante 2) ausgeleitet werden sollen.

Bei Variante 1 kommen zum Einsatz:

- ANPR-Kamera circa 1.200 – 2.500 m vor dem Bezugspunkt mit Seitenradar als Trigger für die Bildauslösung und die ANPR. Erfasst wird nur der rechte Fahrstreifen. Der Bezugspunkt befindet sich am Anfang des Verzögerungstreifens an der Stelle, an der dieser seine volle bauliche Breite erreicht hat.
- Übersichts-Kamera 1 am selben Standort mit korrespondierender Aufnahme von Videostreams des Verkehrs zur Beobachtung des zufließenden Verkehrs.
- Übersichts-kamera 2 am Standort der BAG-ALT. Wiedergabe eines Videostreams zur Darstellung

der Verkehrssituation und als Entscheidungsgrundlage zur Aktivierung der Ausleitung über Pulk.

Bei Variante 2 kommen zum Einsatz:

- Nur die Übersichtskamera 2 am Standort der BAG-ALT. Die Verwendung ist analog zu derjenigen bei Variante 1 als Entscheidungsgrundlage zur Aktivierung der Ausleitung über Pulk. Die Variante 2 kommt nur am Kontrollplatz A2 Allenstein-Süd zum Einsatz.

Die ANPR-Kamera wird im Seitenraum auf einem circa 6 – 8 m hohen Mast montiert, sodass eine Erfassung der Kennzeichen auf dem rechten Fahrstreifen auch bei schwierigen Bedingungen wie zum Beispiel Kolonnenverkehr oder während der Dämmerung möglich ist. Um Kontrollen auch im Dunkeln zu ermöglichen, ist eine Technik vorzusehen, welche ein Fahrzeug von der Front und in der Silhouette auch im Dunkeln erkennbar darstellt. Hierzu wird ein integrierter IR-Scheinwerfer eingesetzt.

Die ANPR-Kamera wird so ausgerichtet und eingestellt, dass von einem auf dem rechten Fahrstreifen fahrenden Fahrzeug das amtliche Kennzeichen erfasst wird. Die Bildauflösung wurde so gewählt, dass das Kennzeichen im Bild gelesen werden kann. Zur Verbesserung der Zuordnung Kennzeichen – Fahrzeug und für eine mögliche Filterung nach Lkw und alle Kfz wurde ein Seitenradar-Detektor an der Vorerfassung installiert. Dieser triggert anhand seiner Fahrzeug-Erkennung die Aufnahme der Fahrzeug- und Kennzeichenbilder.

Wesentliche Anforderung ist, dass zeitgleich von ein- und demselben Fahrzeug jeweils ein Standbild als ein zusammengehörendes Paar aus Fahrzeug- und Kennzeichenabbildung erzeugt wird. Die Kennzeicheninhalte werden für die weitere Verarbeitung in der Bediensoftware in Zeichenform dargestellt.

Die Übersichtskamera 1 ist zur Wiedergabe eines Videostreams des Verkehrs am selben Mast wie die ANPR-Kamera oberhalb von dieser montiert. Der Blickwinkel ist seitlich in Richtung des ankommenden Verkehrs. Der Bildausschnitt ist so zu wählen, dass alle Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn überwacht werden können. Der rechte Fahrstreifen soll nach Möglichkeit auf einer Strecke von mindestens 250 Metern eingesehen werden können. Das Kontrollpersonal können sich somit eine Übersicht der ankommenden Fahrzeuge verschaffen.

Die Übersichtskamera 2 wird an der BAG-ALT in circa 5 m Höhe montiert. Hier gelten analoge Randbedingungen wie bei der Übersichtskamera 1.

### 2.3.2 Anzeigesysteme

Gemäß dem BAG-Regelplan für 3-streifige Richtungsfahrbahnen wurde eine Abfolge der Ausleitbeschilderung inklusive der neuen BAG-ALT realisiert (wie in Tabelle 2 und Anlage B4.1 dargestellt):

Bei zusätzlicher Polizei-Kontrolle kommen noch weitere dazwischenliegende Anzeigen zur Spurreduktion 3→2 bzw. 2→1 und  $v_{zul} = 40$  km/h hinzu.

Das Anzeigekonzept zum innovativen Ausleiten sieht vor, dass die BAG-ALT ca. 200 – 300 m vor dem Bezugspunkt im rechten Seitenraum platziert wird. Der genaue Standort variiert in Abhängigkeit der Örtlichkeit.

Gestaltung und Inhalte der BAG-ALT wurden im vorlaufenden FE-Projekt FE 82.0520/2011 grundsätzlich festgelegt und hinsichtlich Wirksamkeit erprobt. Das Design wurde bei der Ausrüstung der 5 Pilot-Kontrollplätze in Abstimmung mit dem BAG und den Straßenverkehrsbehörden nochmals etwas angepasst, ohne die grundsätzlichen Inhalte zu verändern.

Für die Einsatzzwecke „gezieltes Ausleiten“ und „Ausleiten im Pulk“ wurden die folgenden unveränderlichen Anzeigeninhalte standardmäßig programmiert:

Die BAG-ALT wird zur Platzierung der Informationselemente in drei Bereiche mit sichtbarer, waagerechter Abtrennung unterteilt:

- Unterer Teil mit variablem Text „Control/Kontrolle“, zweireihig, frei programmierbar (vgl. Bild 7).
- Bei Variante 1 Individualausleitung: Oberer Teil links und rechts als Matrix freiprogrammierbar mit Inhalten „Kennzeichen“.
- Bei Variante 2 Pulkausleitung: Oberer Teil links als Matrix freiprogrammierbar mit Inhalten Symbol „Pfeil gekröpft“ oder „Schrägpfel“.
- Oberer Teil rechts als Matrix freiprogrammierbar mit Inhalten: Lkw, alternativ Bus, PkWA für Variante 2 Pulkausleitung.

Das Raster beziehungsweise der Lichtpunktstand erlaubt eine Darstellung von Fahrzeugsym-

Nr.	Art	Abstand zum Nullpunkt
1	BAG01 (Info BAG-Kontrolle)	1.500
2	Tafel BAG02 (v100)	1.200
	<b>WWB PWC 1000 m</b>	<b>1.000</b>
3	Tafel BAG03 (v80)	900
4	Tafel BAG04 (v60)	600
	<b>WWB PWC 500 m</b>	<b>500</b>
5	Tafel BAG05 VZ 101 + Blinker	200 – 300
6	Ausleit Tafel BAG (neu)	200 – 300
	<b>WWB Ausfahrt</b>	<b>0</b>
7	VZ 282	Im Bereich PWC

Tab. 2: Abfolge BAG-Regel-Beschilderung

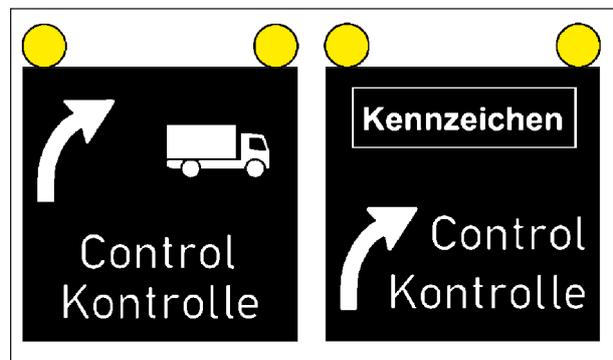


Bild 7: Schema-Anzeige ALT (Pulk und individual)

bolden in Anlehnung an die Sinnbilder in der Straßenverkehrs-Ordnung (§39 Abs. 7 StVO) beziehungsweise der RWBA und eine Wiedergabe von Text in Anlehnung an die Mittelschrift gemäß DIN 1451, Teil 2, oder Arial.

Die Darstellung der Anzeigeninhalte basiert auf der vorhandenen LED-Matrix-Technik, allerdings werden zukünftig RGB-Vollfarben-Matrix-Zeichen eingesetzt. Damit ist die Darstellung von blauen Hintergründen oder roten Symbolen möglich

Die BAG-ALT hat eine visuelle Schriftgröße von 240 mm bei einem Rastermaß der Matrix von 20 mm. Ansonsten gelten die DIN-EN 12966-1 in aktueller Fassung. Zwischen der letzten Lichtpunktreihe und dem Rand der schwarzen Hintergrundfläche muss ein ausreichender Abstand vorhanden sein, damit ein hinreichender Kontrast zwischen den Lichtpunkten und dem Rand der ALT gegeben ist. Die lichttechnischen Anforderungen mit breiter Abstrahlcharakteristik stellen sicher, dass die Inhalte der ALT von der fahrenden Person möglichst frühzeitig ab einer Distanz von mindestens 150 m

und bis zu 25 m vor der ALT bei der Fahrt auf dem rechten Fahrstreifen erkannt und gelesen werden können.

### 2.3.3 Datenkommunikation

Die Datenkommunikation (DK) der Komponenten des Systems erfolgt generell nach der aktuellen Fassung der TLS über die Ebenen Sensor/Aktor, Eingabe-Ausgabe-Konzentrator (EAK), Streckenstation (SSt) und gegebenenfalls Unterzentrale (UZ) und Verkehrsrechnerzentrale (VRZ). Die Videostreams und Bilddaten werden aufgrund nicht vorhandener Festlegungen in der TLS als MPEG-Videostream beziehungsweise JPEG übertragen.

Im Rahmen der Pilotanlagen ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen:

- DK zwischen Kameras, BAG-ALT und BAG-SSt 3 via Mobilfunk mittels UMTS/LTE.
- DK zwischen Kameras, BAG-ALT und BAG-SSt 3 via LWL-Kabel.
- DK zwischen Kameras, BAG-ALT, Regelbeschilderung und BAG-SSt 3 via LWL-Kabel und Mesh-Funk-Netzwerk.

Zwischen der BAG-SSt 3 und den Laptops in den BAG-Kontrollfahrzeugen auf dem PWC wird eine gesicherte WLAN-Verbindung aufgebaut. Zur Verbesserung der WLAN-Reichweite sind im Nachgang je 2 neue Antennen mit Richtcharakteristik pro BAG-SSt 3 eingebaut worden. Die Lage der BAG-SSt 3 wurde so gewählt, dass Bediener der Ausleittechnik mit dem Laptop im Kontrollfahrzeug Einsicht auf die Zufahrt des Kontrollplatzes haben und zugleich eine gute WLAN-Verbindung zur BAG-SSt 3 gegeben ist. Die Einsicht auf die Zufahrt des Kontrollplatzes ist erforderlich, damit ein die Ausfahr-Anweisung missachtendes Fahrzeug erkannt wird und verfolgt werden kann.

Die Übertragung der Videostreams und Bilder erfolgt über TCP/IP Verbindungen. Diese werden:

- im Netz der jeweiligen Straßenverwaltung (bundeseigenes Fernmeldenetz) oder
- in einem Mobilfunk-VPN zwischen den Streckenstationen des jeweiligen Standortes übertragen.

Durch das autark arbeitende LWL-Netz und die Sicherheitseigenschaften eines VPN ist die Video-

übertragung vor Zugriffen unberechtigter Dritter gesichert.

Die Ansteuerung der in Prismenwender- (PW-) Technik ausgeführten Kontrollstellen- Regelbeschilderung erfolgt heute mittels Funk-Fernbedienung bei Vorbeifahrt durch die Kontrolleure. Am Kontrollplatz A1 Ellerbrook erfolgt die Kommunikation von den leitungsgebunden angeschlossenen Komponenten (BAG-SSt 1 Vorerfassung 1.500 m, BAG-SSt 2 bei BAG-ALT und BAG-SSt 3) zu den nebenliegenden und im Mittelstreifen errichteten Prismenwendern (PW) mittels Mesh-Funk-Netzwerk unter Verwendung von 2400-MHz-Funktransceiver mit Sender und Empfänger mit RS-232- und RS-485-Schnittstelle. Die drahtlose Kommunikation basiert auf der Trusted Wireless 2.0-Funktechnologie. Mittels Frequenzsprungverfahren (FHSS) und die 128-Bit-Datenverschlüsselung ist sichergestellt, dass die Anforderungen an eine störffreie und sichere Datenübertragung erfüllt werden.

Über das Mesh-Funknetzwerk werden folgende Daten übertragen:

- Betriebsdaten wie zum Beispiel Störungsmeldungen der PW der Regelbeschilderung, geschaltete Anzeigen, Türkontakte, Status EV etc.
- Steuerung der Anzeigen des Regelplans bei BAG- und Polizei-Kontrollen am Kontrollplatz A1 Ellerbrook.

Bei der Konfiguration und Einrichtung des Mesh-Funknetzwerkes sind die Anzahl und die Adressierung der Funkstationen festgelegt, sodass zusätzliche „Fremdgeräte“ im Netz nicht erkannt werden, da diese dem Mastersystem nicht bekannt sind.

### 2.3.4 Energieversorgung (EV)

Für die BAG-SSt 3 ist aus Gründen der Verfügbarkeit eine netzgebundene Energieversorgung über Anschlüsse am PWC oder einem separaten Energieversorgungs-Übergabepunkt (EV-ÜP) aus dem Netz des Energieversorgungs-Unternehmens (EVU) vorzusehen. Die EV der BAG-SSt 3 erfolgt von diesem Anschluss in Längsverkabelung mittels Kabel des Typs NYCWY 4\*xx mm<sup>2</sup> (variiert nach Kontrollplatz). Die Kontrollplätze werden in der Regel an Parkplätzen mit WC (PWC) eingerichtet, die über eine eigene Netz-EV verfügen. Über die Netz-EV des PWC erfolgt die EV-Anbindung der BAG-SSt 3.

Die ANPR- und Übersichtskamera 1 der Vorerfassung sowie die BAG-ALT und Übersichtskamera 2 werden vorliegend im Rahmen des Pilotbetriebs entweder mittels

- Netz-EV: Alternativ vom PWC mit/ohne separatem Kabelverteilerschrank (KVS) oder
- Autarker EV: Mittels Solarpanel, Laderegler und Batterien, gegebenenfalls unterstützt durch Brennstoffzelle. Dies erfolgt bei der BAG-ALT beim Kontrollplatz A2 Allenstein und der Vorerfassung beim Kontrollplatz A3 Theißtal.

angeschlossen. Für den Pilotbetrieb wurde berücksichtigt, dass nicht täglich kontrolliert wird. Allerdings müssen bestimmte Komponenten der Ausleittechnik, zum Beispiel die Mobilfunk-Router, durchgehend mit Energie versorgt werden.

Eine autarke Stromversorgung ist so zu konzipieren, dass jederzeit ein stabiler und zuverlässiger Betrieb des gesamten Systems der Ausleittechnik unabhängig von Witterung und Lichtverhältnissen sichergestellt ist.

### 2.3.5 Intelligente BAG-SSt 3

Die Datenaufbereitung, System-Überwachung und Ansteuerung der ALT erfolgt durch die intelligente BAG-SSt 3 auf dem jeweiligen Kontrollplatz. Diese arbeitet mit lokaler Autarkie und führt alle Aufgaben ohne die Notwendigkeit eines Anschlusses an eine Zentraltechnik analog einer Streckenstation für Zuflussregelungsanlagen aus. Die BAG-SSt 3 führt folgende Funktionen aus:

- Datenübernahme der Kennzeichen und Fzg-Bilder aus den ANPR-Kameras.
- Verarbeitung der Videostreams aus den Übersichtskameras.
- Funktionskontrolle der Kameratechnik.
- Steuerung der DK zwischen den Komponenten des BAG-Ausleitsystems.
- Ausgabe der Anzeigehalte und -befehle an die BAG-ALT; für A1 Ellerbrook auch an die Regel-Kontrollstellenbeschilderung.
- Funktionskontrolle der BAG-ALT; für A1 Ellerbrook auch der Regel-Kontrollstellenbeschilderung.
- Interne Überwachung der BAG-SSt, zum Beispiel Türkontakt, EV etc.

- Bereitstellung von Störungs- und Statusmeldungen des Systems für die übergeordnete Zentraltechnik (wenn angebunden, vergleiche Tabelle 2).
- Upload von Grafiken und Texten in die BAG-ALT.

Hierzu ist die BAG-SSt 3 mit Komponenten zur Datenaufbereitung (Eingabe-/Ausgabekonzentratoren), Steuerung (Steuermodul (SM)), DK (Modem) und EV (Klemmen, Sicherungen, Steckdose) ausgerüstet.

Die intelligente BAG-SSt 3 ist das zentrale Element im BAG-Ausleitsystem und soll zukünftig die gesamten lokalen Komponenten an der Strecke beziehungsweise am Kontrollplatz überwachen und Status-/Störungsmeldungen an die Zentraltechnik absetzen. Der jeweilige eingenommene Anzeigezustand der BAG-ALT und der Regelbeschilderung ist an die BAG-SSt 3 zurückzumelden.

Der Zugriff auf die Ausleittechnik für die Bedienung erfolgt grundsätzlich vom Standort des Kontrollplatzes durch die BAG-Kontrolleure. Dies umfasst das Ansteuern der Ausleitkarte und der Regelbeschilderung (derzeit nur beim PWC A1 Ellerbrook) sowie den Empfang der notwendigen Informationen für den Fahrzeugauswahlprozess durch Ansicht der Kennzeichen und Übersichtsbilder des ankommenden Verkehrs.

### 2.3.6 Bedienung und Visualisierung (BuV)

Um mittels Kennzeichendarstellung ausleiten zu können, ist eine rechtzeitige Visualisierung des ankommenden Verkehrs für das Kontrollpersonal nötig. Das Bild eines sich dem Kontrollplatz nähernden Fahrzeugs und das Kennzeichen muss dem Kontrollpersonal in einer Liste auf einer mobilen Bedienstation/Laptop angezeigt werden. Entscheidet

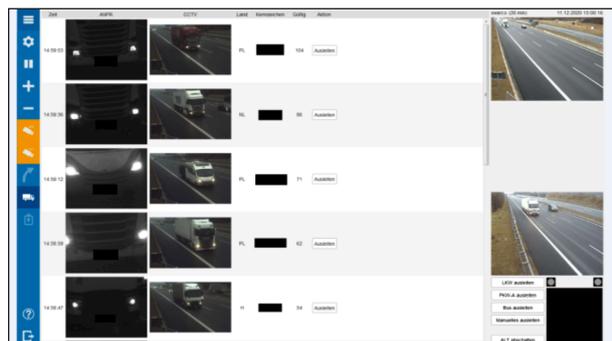


Bild 8: Screenshot Bedienoberfläche

sich das Kontrollpersonal das Fahrzeug auszuleiten, ermöglicht die Bedienoberfläche das Fahrzeug auszuwählen und das Kennzeichen auf der Ausleit- tafel darzustellen. Das Bedienprogramm ist als Webanwendung realisiert.

Es werden alle für die Fahrzeugauswahl relevanten Informationen auf einem Bildschirm zeitgleich dargestellt. Die Auswahl zwischen den beiden Ausleit- methoden „gezieltes Ausleiten“ mit Kennzeichen und „Ausleiten im Pulk“ und den verschiedenen au- torisierten Anzeigehalten/Ausleitvarianten erfolgt über eine Auswahlliste.

Beim gezielten Ausleiten mit Kennzeichen werden von beiden Übersichtskameras der Standorte 1 und 2 jeweils die aktuellen Video-Streams auf dem Bild- schirm dargestellt. Außerdem werden von Standort 1 die Standbilder der zuletzt registrierten Fahrzeu- ge und der zugehörigen Kennzeichen sowie das durch das Kennzeichenerfassungssystem automa- tisch ermittelte Kennzeichen in einer Bildlaufleiste angezeigt. In der Bildlaufleiste werden die innerhalb einer parametrierbaren Zeit von der Kennzeichen- erfassung registrierten Fahrzeuge auswählbar auf- gelistet.

Wenn das von der Kennzeichenerfassung ermittelte Kennzeichen von der kontrollierenden Person als richtig erkannt wurde, kann es manuell bestätigt werden. Falsch oder nicht registrierte Kennzeichen können über die Tastatur manuell eingegeben werden. Danach ist das Kennzeichen für eine Aktivie- rung freigegeben.

Die Aktivierung und Deaktivierung der Ausleit- tafel mit den vorab ausgewählten Inhalten erfolgen ma- nuell mit Bestätigung. Es ist wichtig, dass die Akti- vierung der Anzeige rechtzeitig erfolgt, bevor das jeweilige Fahrzeug die Ausleit- tafel erreicht. Ein ana- loges Vorgehen gilt für die Variante 2 „Ausleiten im Pulk“.

Bestandteil des Bedienprogramms ist ein Editor, mit dem Anzeigegrafiken als Bitmap-Datei für den Up- load in die BAG-ALT erstellt werden können. Diese Funktion ist bisher nur den SW-Entwicklern vorbe- halten, sollte aber auch für User mit Administrator- Rechten zugänglich sein.

Daten nicht ausgeleiteter und/oder kontrollierter Fahrzeuge werden unmittelbar nach Passieren des Kontrollplatzes durch zeitliche Steuerung in Sekun- den/Minuten nach Kennzeichenerfassung/Bildüber- tragung verworfen. Daten von ausgeleiteten Fahr-

zeugen werden bei Variante 1 in einem Ausleitpro- totokoll temporär vorgehalten. Der Zweck hierfür ist die Möglichkeit der Ahndung von Verstößen bei Nichtbefolgung der Ausfahranweisung. Aufgrund der derzeitigen Ausgestaltung des Systems ist es technisch bedingt nicht möglich, im Ausleitprotokoll ausschließlich diejenigen Fahrzeuge darzustellen, die die Ausfahranweisung missachtet haben.

Bei der Pulkausleitung (Variante 2) gibt es derzeit keine Dokumentation der Fahrzeuge, welche die Ausleit- anzeige ignorieren bzw. der Ausleit- aufforde- rung nicht nachkommen.

### 3 Methodische Vorgehensweise – Ablauf der Evaluierung

Die Evaluierung der Maßnahme sicheres Ausleiten bei BAG Standkontrollen folgt dem in Bild 9 dar- gestellten Ablaufschema.

Die bereits erwähnten Untersuchungen, welche im Vorfeld zu dieser Evaluierung erfolgten, bildeten ge- meinsam mit der Bestandsaufnahme bereits existi- erender Ausleitsysteme die Grundlage für das wei- tere Vorgehen dieses Projektes. Aufbauend auf der Grundlagenstudie wurde zur Planung der empiri- schen Untersuchungen am Pilotstandort PWC So- phienberg in Abstimmung mit dem BAG ein Ver- suchsplan entworfen. Dieser wurde im Vorfeld der empirischen Untersuchungen für einen möglichst reibungs- freien Ablauf vor Ort gestaltet.

Im ersten Untersuchungsblock wurde festgehalten, dass die Messungen am PWC Sophienberg an den Tagen 09.-11.04.2019 (Dienstag bis Donnerstag) synchron zu laufenden BAG-Kontrollen stattfinden sollten. Außerdem wurden die Versuchsaufbauten beschrieben und mit dem Kreis der Betreuer im Vor- feld zu den Erhebungen abgestimmt. Im zweiten Untersuchungsblock wurden Termine definiert, zu denen die verbleibenden zu dem Zeitpunkt drei ak- tiven Pilotstandorte bei laufenden Ausleitaktivitäten besucht und in Augenschein genommen werden konnten. Zusätzlich fand an allen Pilotstandorten, die sich aktiv in Betrieb fanden, eine Vor-Ort-Befra- gung von Lkw-Fahrern und im Nachgang auch des BAG-Kontrollpersonals mittels elektronischer Fra- gebogen statt. Darüber hinaus fanden Videoauf- zeichnungen zur Beobachtung des Bereichs um den Verzögerungsstreifen sowie zur Aufzeichnung von Fahrstreifenwechseln im Bereich der Kennzei-

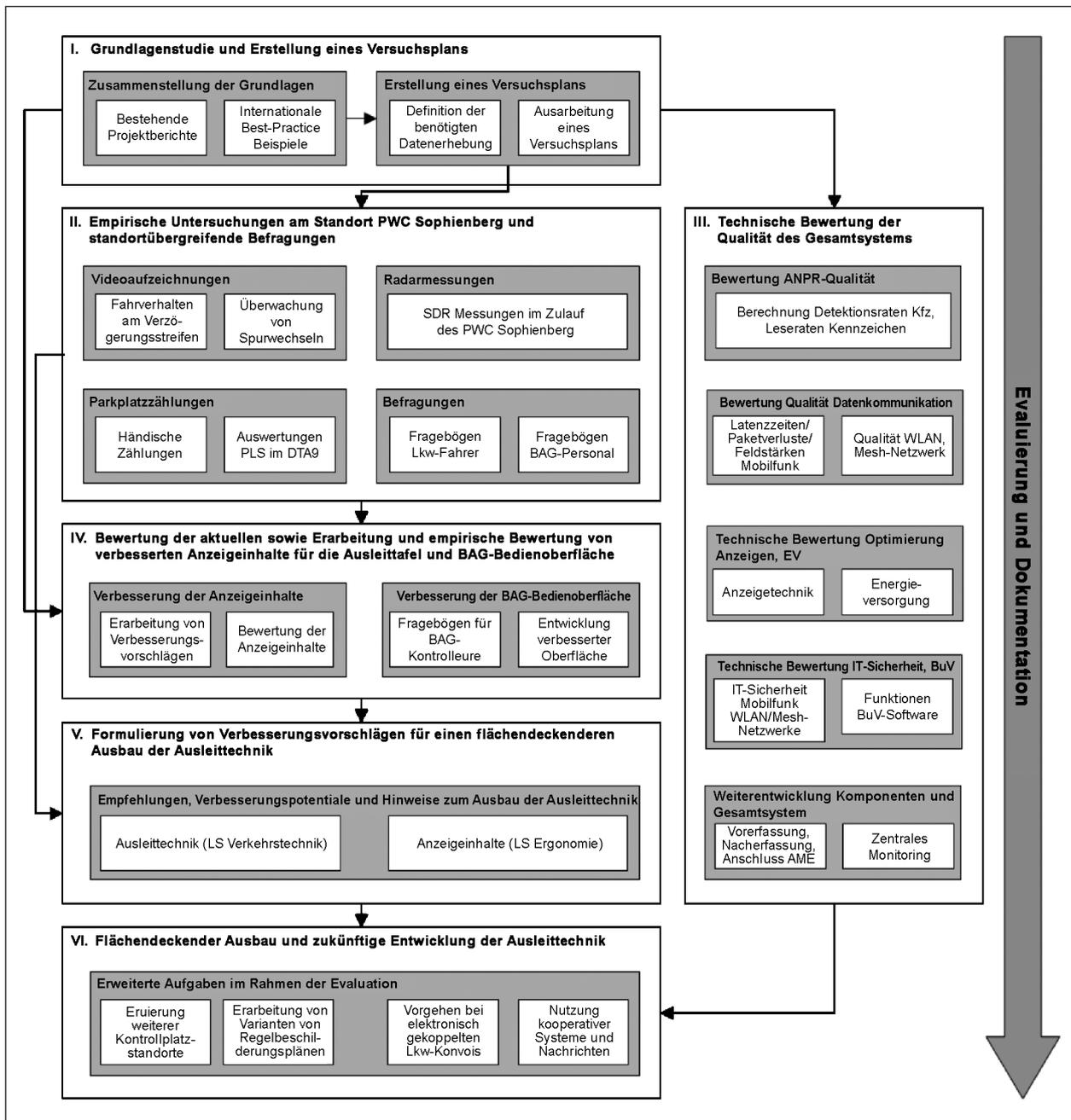


Bild 9: Ablaufschema zur Evaluierung der Maßnahme sicheres Ausleiten bei BAG Standkontrollen

chenerfassung durchgeführt. Des Weiteren wurde das Geschwindigkeitsverhalten im Zulauf des PWC Sophienberg mithilfe von Radarmessungen ermittelt.

Parallel zu den Untersuchungen der Technischen Universität München evaluierte die Aachener Verkehrs Telematik Consult GmbH (AVTC) das Ausleitsystem in Hinblick auf die technische Stabilität des Gesamtsystems (siehe Untersuchungsblock III). Hierbei wurden unter anderem Feldstärken und Übermittlungszeiten und die Erkennungs- und

Detektionsraten der Kennzeichenerfassung ermittelt.

Der vierte Untersuchungsblock umfasst die Analyse und Evaluierung der Anzeigehalte der Ausleitertafel sowie der BAG-Bedienoberfläche. Darüber hinaus wurden Verbesserungspotenziale identifiziert und getestet.

Im Untersuchungsblock V fand eine für die Blöcke II und IV zusammenfassende Formulierung von Verbesserungsvorschlägen statt, welche Hinweise für

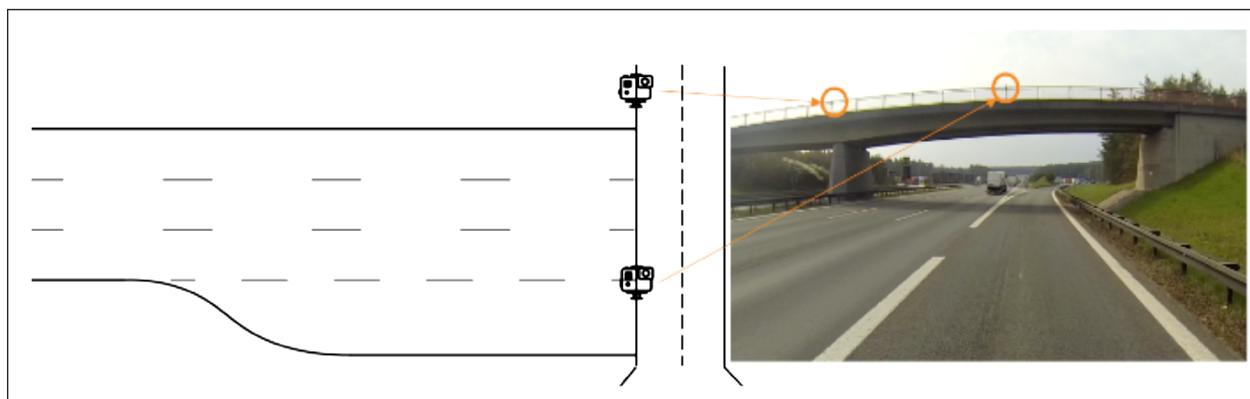


Bild 10: Versuchsaufbau und Kamerapositionierung im Bereich des Verzögerungstreifens

einen flächendeckenderen Ausbau der Ausleittechnik geben soll.

Die Untersuchung wird abschließend, im Rahmen der erweiterten Aufgaben der Beauftragung (Untersuchungsblock VI), um die Bewertung des flächendeckenden Ausbaus sowie die zukünftige Entwicklung der Ausleittechnik erweitert.

## 4 Empirische Untersuchungen am Standort PWC Sophienberg-West

Wie in Kapitel 3 bereits erwähnt wurde, gliederten sich die empirischen Untersuchungen in drei große Untersuchungsblöcke (II, IV, V): Die Untersuchungen am PWC Sophienberg, die standortübergreifende Befragung von Lkw-Fahrern und des BAG-Kontrollpersonals und die Evaluierung der Anzeigeinhalte.

Am Pilotstandort PWC Sophienberg fanden an drei aufeinanderfolgenden Tagen von Dienstag bis Donnerstag (09.-11.04.2019) Lkw-Kontrollen statt, welche vom Projektteam begleitet wurden. Dabei fanden Messungen zur Evaluierung der Ausleittechnik statt, welche im weiteren Verlauf detailliert erläutert werden.

### 4.1 Videoaufzeichnungen im Bereich des Verzögerungstreifens

Der Bereich um den Verzögerungstreifen wurde mithilfe von Videokameras beobachtet. Das Videomaterial wurde dazu verwendet, den Befolgungsgrad der Ausleitaufforderung sowie das Fahrstreifen-



Bild 11: Kamerabilder im Bereich des Verzögerungstreifens

fenwechselverhalten während der Ausleitung vom Hauptfahrstreifen auf den Verzögerungstreifen zu bewerten.

Um den Bereich vollständig abzudecken, wurden zwei Videokameras in unterschiedlichen Winkeln an der Versorgungsbrücke des PWC Sophienberg angebracht (Bild 10). Die daraus resultierenden Videobilder sind in Bild 11 als Standbild dargestellt.

Die Kameraaufzeichnungen dienen dabei als Datengrundlage sowohl für manuelle als auch automatisierte Videodatenauswertung.

#### 4.1.1 Befolgungsgrad der Ausleitaufforderung

Die Situation und die möglichen Trajektorien vor Ort werden in Bild 12 veranschaulicht. Der Befolgungsgrad der Ausleitaufforderung ergibt sich aus dem Quotienten aus bei aktiver Ausleitaufforderung ausgefahrenen Fahrzeugen (lila Trajektorie) und allen Fahrzeugen, denen die Ausleitaufforderung angezeigt wurde (lila und blaue Trajektorie). Dabei wurde zwischen den Fällen Pulk- und Individualausleitung unterschieden.

Um die Fahrzeuganzahl zu ermitteln, wurde eine Software verwendet, welche es ermöglicht, Fahrzeuge zu klassifizieren und zu zählen. Dafür wurden zwei sogenannte Zähler (siehe Bild 13) einge-

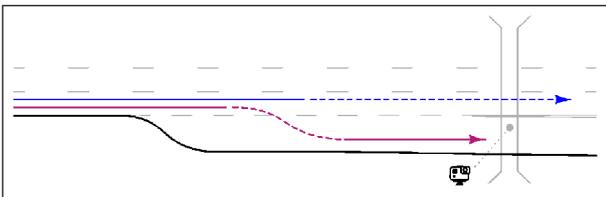


Bild 12: Mögliche Fahrzeugtrajektorien bei aktiver Ausleitaufforderung



Bild 13: Veranschaulichung der Zähler in der Videoevaluierungssoftware

Pulkausleitung	Lkw gesamt (absolut)	Lkw gesamt (relativ)
Zähler #1	496	65,1 %
Zähler #2	266	34,9 %
Summe	762	100 %

Tab. 3: Auswertung des Befolgungsgrades der Ausleitaufforderung bei aktiver Pulkausleitung

richtet, an denen die sie überfahrenden Lkw während aktiver Ausleitaufforderung gezählt wurden.

Das ausgewertete Videomaterial umfasst insgesamt zwei Stunden, während derer die Anzeige für Pulkausleitung aktiv war. Die Individualausleitungen wurden gesondert erfasst und ausgewertet. Insgesamt handelt es sich um 762 Fahrzeuge, die im Pulk ausgeleitet werden sollten und 19 Individualausleitungen. Tabelle 3 zeigt die Auswertung des Videomaterials bei aktiver Pulkausleitung.

Während des Beobachtungszeitraums bekamen 762 Fahrzeugführer eine Ausleitaufforderung (vergleichbar mit Bild 14 links) angezeigt. 496 Fahrzeugführer entschieden sich daraufhin, ihr Fahrzeug auf den PWC Sophienberg zu lenken und wurden von Zähler #1 erfasst. Die übrigen 266 Fahrzeugführer missachteten die Ausleitaufforderung aus unterschiedlichsten Gründen. Der Befolgungsgrad bei Pulkausleitung beträgt demnach 65,1 %.

Kennzeichenausleitung	Lkw gesamt (absolut)	Lkw gesamt (relativ)
Zähler #1	14	73,7 %
Zähler #2	5	26,3 %
Summe	19	100 %

Tab. 4: Auswertung des Befolgungsgrades der Ausleitaufforderung bei aktiver Kennzeichenausleitung

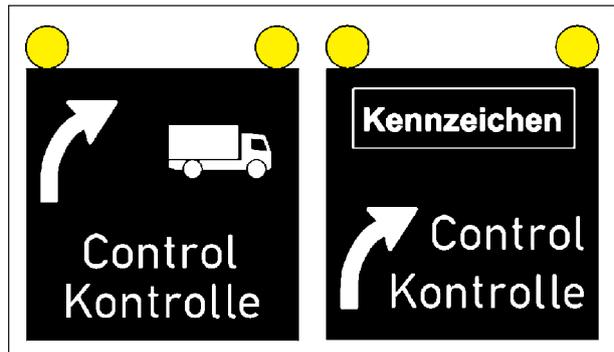


Bild 14: Angezeigte Ausleitaufforderungen am PWC Sophienberg-W während der Evaluierung (© BAG)

Die Ergebnisse der Beobachtung während aktiver Kennzeichenausleitung sind in Tabelle 4 dargestellt. Insgesamt bekamen 19 Fahrzeugführer die Aufforderung angezeigt, ihr Fahrzeug für eine Kontrolle auf den PWC Sophienberg zu lenken (siehe Bild 14 rechts). Fünf Fahrzeuge wurden von Zähler #2 erfasst und kamen der Kennzeichenausleitung demzufolge nicht nach. Der Kennzeichenausleitung kamen während des Beobachtungszeitraums 14 der 19 Fahrzeugführer nach, was einem Befolgungsgrad von 73,7 % entspricht.

Aufgrund des Verdachts, dass ein besseres Ausleitergebnis erzielt werden könnte, wenn ein BAG-Einsatzfahrzeug so auf dem Parkplatz platziert wird, welches von der Fahrbahn aus gesehen werden kann, wurde der Befolgungsgrad zusätzlich tagesfein ausgewertet. An den Beobachtungstagen 10.04.2019 (Mittwoch) und 11.04.2019 (Donnerstag) wurde deshalb ein Fahrzeug des Mautkontrolldienstes vom Hauptfahrstreifen einsehbar platziert. Tabelle 5 zeigt die tagesfeine Auswertung der Ausleitquoten bei Pulkausleitung.

Es ist zu erkennen, dass die Ausleitquoten an den beiden Tagen, an denen ein Fahrzeug des Mautkontrolldienstes vom Hauptfahrstreifen aus zu sehen war, wesentlich höher sind als am ersten Beobachtungstag. Es liegt also der Verdacht nahe, dass das Fahrzeug die Ausleitquoten positiv beeinflusst

Pulkausleitung	09.04.2019	10.09.2019	11.09.2019
Zähler #1	175	235	86
Zähler #2	141	97	28
Summe	316	332	114
Befolgungsgrad	55,4 %	70,8 %	75,4 %

Tab. 5: Tagesfeine Auswertung der Ausleitquoten bei Pulkausleitung

Pulkausleitung	09.04.2019	10.09.2019	11.09.2019
Hauptfahrstreifen	140	97	28
1. Überholfahrstreifen	1	0	0
2. Überholfahrstreifen	0	0	0

Tab. 6: Auswertung der Fahrstreifenwahl aller Fahrer, die die Pulkausleitung missachteten

hat. Zusätzlich wurde Zähler #2 nachträglich nochmals differenzierter ausgewertet, da der Verdacht aufkam, dass Fahrzeuge die Abfahrt, trotz gültigem Lkw-Überholverbot, auf dem ersten oder zweiten Überholfahrstreifen passieren und damit keine Chance mehr haben könnten, die Abfahrt rechtzeitig zu nehmen. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass sich die Lkw-Fahrer mit einer einzigen Ausnahme stets an das Überholverbot hielten (siehe Tabelle 6).

Basierend auf den Aussagen mehrerer BAG-Kontrollleure, dass der Befolgungsgrad beim herkömmlichen Ausleitverfahren bei nahezu 100 % liegt, lassen sich die beobachteten Ausleitquoten bereits grob einschätzen.

Es konnte außerdem beobachtet werden, dass es bei der Pulkausleitung immer wieder zu sogenanntem „Schwarmverhalten“ kam. Sobald ein Lkw aus einer Fahrzeugkolonne zur Kontrolle abfuhr, folgten die ihm nachfolgenden Fahrzeuge. Fuhr der erste Lkw an der Abfahrt vorbei, fuhr auch die nachfolgenden Fahrzeuge an der Kontrolle vorbei. Dieses Verhalten wird laut BAG-Kontrollpersonal immer wieder beobachtet und tritt standortübergreifend auf.

#### 4.1.2 Zeitpunkt des Wechsels auf den Verzögerungsstreifen

Die Videoaufzeichnungen im Bereich des Verzögerungsstreifens dienten neben der Bestimmung der Befolgungsgrade auch der Analyse des Fahrstreifen-



Bild 15: Visualisierung der Bewertung des Fahrstreifenwechsels auf den Verzögerungsstreifen

fenwechselferhaltens während der Ausleitung. Das Verhalten der Fahrzeugführer kann einerseits Aufschluss über die Verständlichkeit der Ausleitaufforderung geben und andererseits stellt der Fahrstreifenwechsel ein sicherheitskritisches Fahrmanöver dar, das möglichst früh und gleichmäßig eingeleitet werden sollte. Aus diesem Grund wurde das Videomaterial auch dahingehend analysiert. Dazu wurde der Verzögerungsstreifen in drei Bereiche (Zone 1-3) eingeteilt (Bild 15). Ein Fahrstreifenwechsel in Zone 1 kann dabei als sicheres Fahrmanöver eingestuft werden, welches mit genügend Vorlauf geplant wurde und ohne stärkere Bremsvorgänge zu absolvieren war. Außerdem indiziert es ein frühes Verständnis des Ausleitvorgangs durch den Fahrzeugführer. Zone 2 stellt ein immer noch sicheres, wenn auch nicht ideales Fahrmanöver dar. Ein Fahrstreifenwechsel in Zone 3 hingegen wird als sicherheitskritisches Fahrmanöver eingestuft und deutet auf ein verspätetes Verständnis bzw. Befolgen der Ausleitaufforderung hin. Bild 15 zeigt das Bewertungsprinzip zum Fahrstreifenwechsel auf den Verzögerungsstreifen mit den Zonen 1-3.

Auch hier wurde Videomaterial während aktiver Ausleitaufforderung analysiert. In den aufgezeichneten zwei Stunden Pulkausleitung wechselten 496 Lkw auf den Verzögerungsstreifen. Die Kennzeichenausleitungen konnten aufgrund der nicht vorhandenen Identifizierbarkeit der Kennzeichen auf dem Videomaterial nicht in diese Auswertung inkludiert werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die ausgefahrenen Fahrzeuge vermutlich sicher ausgefahren sind, da sie die Ausleitaufforderung per Kennzeichen augenscheinlich frühzeitig verstanden haben mussten. Tabelle 7 zeigt die Auswertung der Fahrstreifenwechsel von Lkw auf den Verzögerungsstreifen ausgewertet nach Zonen.

Pulkausleitung	Lkw gesamt (absolut)	Lkw gesamt (relativ)
Zone #1	433	87,3 %
Zone #2	41	8,3 %
Zone #3	22	4,4 %
Summe	496	100 %

Tab. 7: Auswertung der Fahrstreifenwechsel auf den Verzögerungstreifen nach Zonen



Bild 17: Standbilder der aufgebauten Videokameras vor und nach der Kennzeichenerfassung

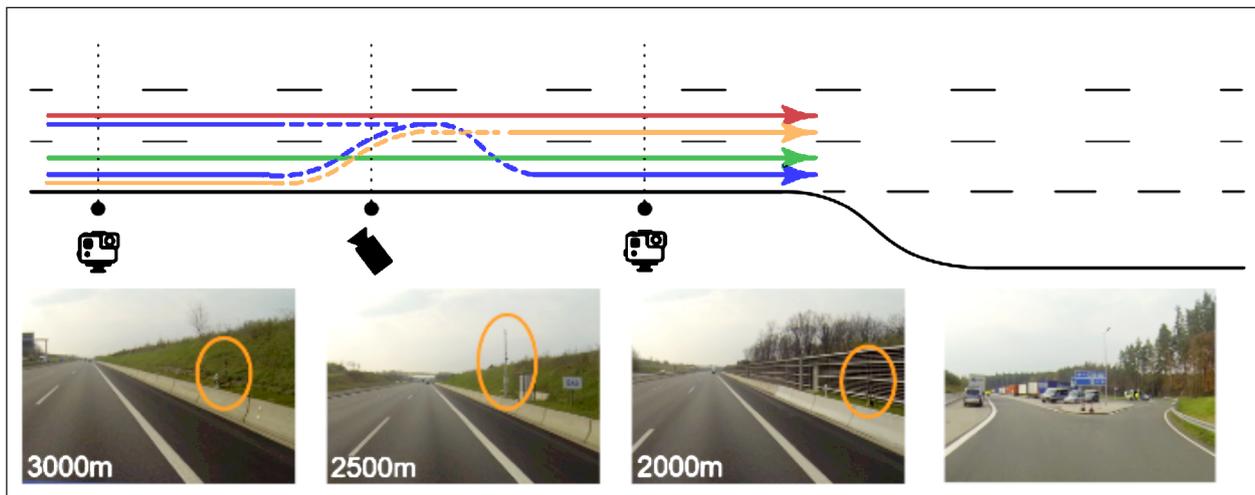


Bild 16: Versuchsaufbau und mögliche Trajektorien der Lkw-Fahrer im Bereich der Kennzeichenerfassung

Es ist zu erkennen, dass ein Großteil von 87,3 % der abgefahrenen Fahrzeugführer den Fahrstreifenwechsel in Zone 1 vollzieht. Lediglich 8,3 % der Fahrstreifenwechsel fallen in Zone 2 und 4,4 % in Zone 3 an. Insgesamt konnten im Rahmen Videoaufzeichnungen keine sicherheitskritischen Spurwechsel beobachtet werden.

## 4.2 Videoaufzeichnungen im Bereich der Kennzeichenerkennung

Wie bereits eingangs erwähnt wurde, fanden auch im Bereich der Kennzeichenerfassung Videoaufzeichnungen statt. Dabei ging es darum, die Frage zu beantworten, ob Lkw-Fahrer die Kennzeichenerfassung umfahren. Die Kennzeichenerkennung deckt nur den Hauptfahrstreifen ab. Zusätzlich gilt in diesem Bereich noch kein Lkw-Überholverbot. Es bestünde also die Möglichkeit, dass Fahrzeugführer

absichtlich oder unabsichtlich der Kennzeichenerfassung über einen Fahrstreifenwechsel ausweichen.

### 4.2.1 Versuchsaufbau

Um die Wahl des Fahrstreifens der einzelnen Lkw beobachten zu können, wurden im Bereich der Kennzeichenerfassung zwei Videokameras installiert. Die erste Kamera wurde 500 m vor der Kennzeichenerfassung (3.000 m vor dem Verzögerungstreifen des PWC Sophienberg, Standbild siehe Bild 17 links) und die zweite Kamera 500 m nach der Kennzeichenerfassung (2.000 m vor dem Verzögerungstreifen des PWC Sophienberg, Standbild siehe Bild 17 rechts) platziert. Zusätzlich wurde die vorhandene Übersichtskamera der Kennzeichenerfassung in die Evaluierung mit einbezogen. Die Videoüberwachung lief an allen drei Beobach-

tungstagen und erzeugte in etwa 15 Stunden Videomaterial pro Kamera.

Die verschiedenen Möglichkeiten der Fahrstreifenwahl der Lkw-Fahrer werden in Bild 16 dargestellt. Der Basisfall wird durch die grüne Trajektorie repräsentiert und zeigt eine fahrzeugführende Person, die mit seinem Lkw durchgehend den Hauptfahrstreifen befährt. Die gelbe Trajektorie zeigt einen Fahrstreifenwechsel zwischen der ersten Kamera und der Kennzeichenerfassung an. Ein vorübergehender Fahrstreifenwechsel auf Höhe der Kennzeichenerfassung wird durch die blauen Trajektorien repräsentiert. Die rote Trajektorie zeigt einen durchgehend auf dem ersten Überholfahrstreifen fahrenden Lkw. Es kann somit resümiert werden, dass bei der blauen, gelben und roten Fahrzeugtrajektorie keine Kennzeichenerfassung erfolgt.

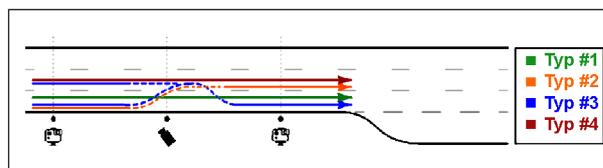


Bild 18: Darstellung der unterschiedlichen Trajektorien auf Höhe der Kennzeichenerfassung

Pulkausleitung	Lkw gesamt (absolut)	Lkw gesamt (relativ)
Typ #1	3.522	89,4 %
Typ #2	145	3,7 %
Typ #3	137	3,3 %
Typ #4	129	3,6 %
Summe	3.933	100 %

Tab. 8: Auswertung der Trajektorienwahl der Lkw-Fahrer auf Höhe der Kennzeichenerfassung

#### 4.2.2 Fahrstreifenwahl auf Höhe der Kennzeichenerfassung

Die eben beschriebenen Trajektorien werden nachfolgend den Typen #1 bis #4 zugeordnet (siehe Bild 18).

Die Auswertung der Videoaufzeichnungen sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass ca. neun von zehn Lkw-Fahrern die grüne Trajektorie wählen und damit durchgehend den Hauptfahrstreifen befahren und von der Kennzeichenerfassungskamera detektiert werden können. Demnach entscheiden sich erhebliche 10,6 % der Fahrzeugführer für eine der anderen Trajektorien und entgehen somit der Kennzeichenerfassung. Während des gesamten Erfassungszeitraums konnten keine Lkw-Fahrer auf dem zweiten Überholfahrstreifen detektiert werden. Hinzu kommt jedoch, dass weitere für den Kontrollauftrag des BAG relevante Fahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse < 3,5 Tonnen nicht Bestandteil der Auswertung waren. Bei den kleinen Fahrzeugen ist zusätzlich davon auszugehen, dass ein erheblicher Anteil eine Trajektorie außerhalb des Erfassungsbereichs der Kennzeichenerkennung befährt. Um also eine Detektionsrate von nahe 100 % zu erreichen, würde sich also ein Ausbau der Kennzeichenerfassung auf den ersten Überholfahrstreifen anbieten.

### 4.3 Geschwindigkeitsverhalten im Zulauf

Parallel zu den Videoaufzeichnungen fanden ergänzende Radarmessungen am PWC Sophienberg statt. Diese dienen sowohl zur Überprüfung der Einhaltung der Geschwindigkeitsvorgaben als auch als Indiz für die Erkennbarkeit und das Verständnis der Ausleitaufforderung.

#### 4.3.1 Versuchsaufbau

Um das Geschwindigkeitsverhalten der Lkw-Fahrer im Zulauf zum PWC Sophienberg zu beobachten, wurden vier Radarmessgeräte am Fahrbahnrand platziert. Die Geräte liefern neben einem Geschwindigkeitswert auch einen Längenwert für jedes detektierte Objekt. Der Längenwert wiederum kann zur Klassifizierung der Fahrzeuge genutzt werden. Am PWC Sophienberg existiert ein Geschwindigkeitstrichter, welcher die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf dem gesamten Autobahnquerschnitt schrittweise auf 60 km/h reduziert. An jedem Übergang der Höchstgeschwindigkeitsbegrenzung wurde ein Radarmessgerät installiert, welches an der jeweiligen Stelle (siehe Bild 19) sowohl die Fahrzeuge klassifiziert als auch deren Geschwindigkeit erfasst.

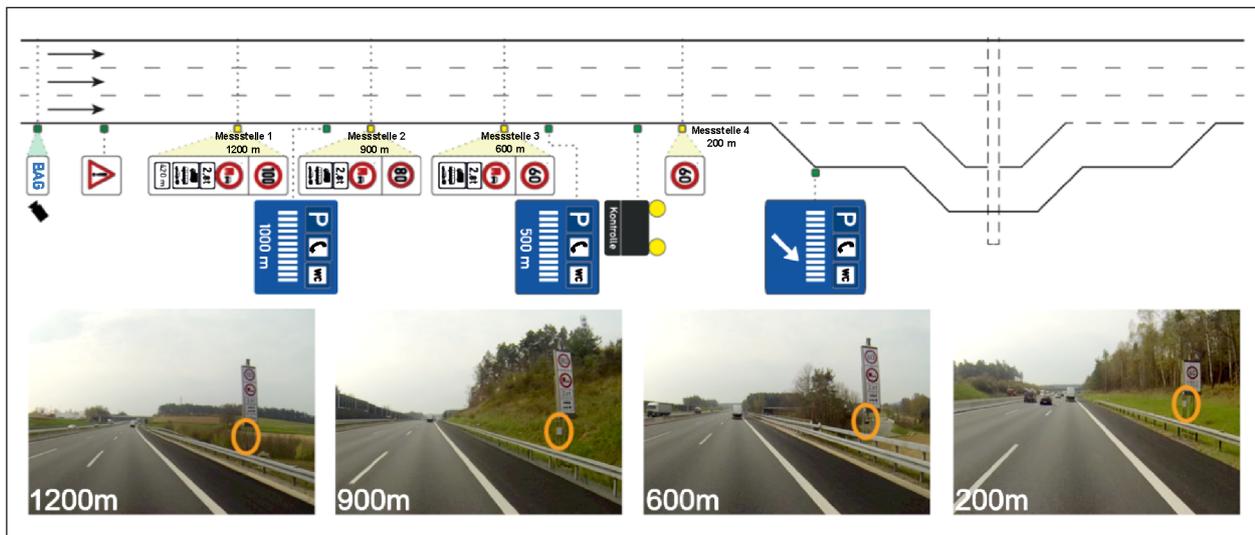


Bild 19: Versuchsaufbau der Radarmessungen am PWC Sophienberg (© BAG)

#### 4.3.2 Ergebnisse der Radarmessungen

Die Auswertung der Radarmessungen am Standort PWC Sophienberg umfasst sowohl Zeiten, zu denen Ausleitaufforderungen aktiv waren, als auch Zeiten zu denen nicht ausgeleitet wurde. An der ersten Messstelle (1.200 m vor Beginn des Verzögerungstreifens) liegt sowohl die Durchschnittsgeschwindigkeit als auch die Mediangeschwindigkeit der Lkw bei ca. 82 km/h. Etwa 400 m stromabwärts in Richtung des PWC verringern sich diese auf ca. 78 km/h. An der dritten Messstelle (600 m vor Beginn des Verzögerungstreifens) liegen sowohl die Durchschnitts- als auch die Mediangeschwindigkeit bei etwa 77 km/h. Es ist somit kein signifikanter Rückgang der Durchschnittsgeschwindigkeiten festzustellen. Es ist jedoch hervorzuheben, dass die Varianz der Messergebnisse zunimmt. Dies könnte darin begründet sein, dass die dritte Messstelle exakt am Ende einer Steigungsstrecke liegt und es somit zu größeren Geschwindigkeitsunterschieden als in der Ebene kam. An der letzten Messstelle (200 m vor Beginn des Verzögerungstreifens) liegt die Durchschnittsgeschwindigkeit bei ca. 68 km/h. Die Mediangeschwindigkeit liegt jedoch deutlich darunter, bei ca. 64 km/h und auch die Varianz der Messwerte fällt abermals deutlich höher aus als noch bei den ersten beiden Messstellen. Es ist hervorzuheben, dass es kaum Messwerte von unter 60 km/h gab, was darauf hindeutet, dass es zu keinem Zeitpunkt zu einem Rückstau von Fahrzeugen aufgrund eines überstauten Verzögerungstreifens kam. Insgesamt lässt sich erkennen, dass die Fahr-

zeugführer der Lkw ihre Geschwindigkeit an die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten anpassen.

Es ist erkennbar, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit bei aktiver (Pulk-)Ausleitung nur minimal unter der Durchschnittsgeschwindigkeit im Normalbetrieb (keine aktive Ausleitung und aktivierter Geschwindigkeitstrichter) liegt. Es kommt somit nicht zu einer deutlichen Geschwindigkeitsreduzierung während der Ausleitung. Dies deutet darauf hin, dass die Ausleitaufforderung bei der gewählten Geschwindigkeit gut zu erkennen ist und dass es bei korrekter Handhabung des Ausleitsystems nicht zu Rückstauwirkungen aufgrund des Ausleitvorganges kommt.

#### 4.4 Auslastung der Parkplatzzapazitäten des Kontrollplatzes PWC Sophienberg

Um geeignete Zeiträume für BAG-Standkontrollen empfehlen zu können, wurden während der Messungen am PWC Sophienberg Parkplatzzählungen durchgeführt. Bild 21 zeigt die Ganglinie der Parkplatzzählungen über den Zeitraum, an dem Mitarbeiter vor Ort waren. Es ist zu erkennen, dass die Zahl der regulär belegten Parkplätze (blau) am Morgen zu Beginn der Kontrolle bis zum Mittag noch leicht abfällt. Anschließend steigt die Auslastung wieder an und ab ca. 18:00 Uhr ist der PWC wieder komplett gefüllt. Die Zahlen geben die gezählten

Parkplätze an und in Klammern dahinter die Anzahl der durchgeführten Zählungen. Die rote Linie gibt die Kapazitätsgrenze der regulären Parkplätze an. Der gelbe Graph zeigt belegte Parkplätze außerhalb der gekennzeichneten Parkflächen.

Bild 20 zeigt eine exemplarische Ganglinie eines PWC (PWC Offenbau in Fahrtrichtung Berlin) des digitalen Testfeldes Autobahn A9. Zu sehen ist der Zeitraum zwischen dem 13.01.2020 und dem 05.02.2020. Es ist zu erkennen, dass es sehr auffällige Wochentagesganglinien gibt, welche eine hohe Auslastung zu den Abend- und Morgenstunden zeigen. Dies deckt sich ebenfalls sehr gut mit den Zählungen am PWC Sophienberg. Demnach ist es empfehlenswert, die Kontrollen in den nachfrageschwachen Zeiten zwischen 9:00 Uhr und 16:00 Uhr durchzuführen.

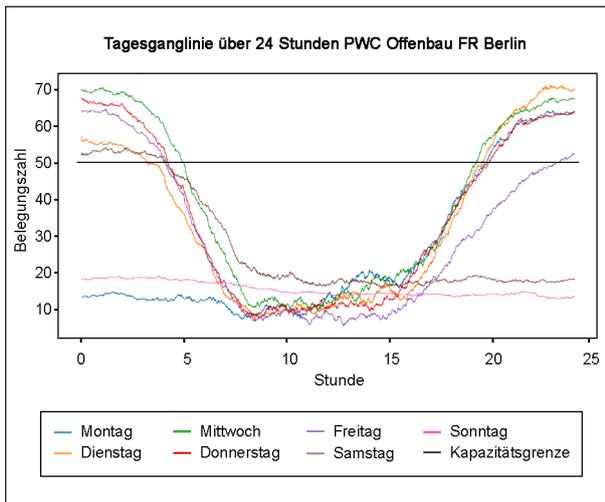


Bild 20: Typische Ganglinie des PWC Offenbau in Fahrtrichtung Berlin (©ZVM)

#### 4.5 Wesentliche Erkenntnisse zur Verbesserung des Gesamtsystems

Bei den Erhebungen am PWC Sophienberg wurden Videoaufzeichnungen im Bereich des Verzögerungstreifens durchgeführt. Die Befolgungsraten bei der Pulk- bzw. Individualausleitung lagen dabei bei 65,1 % und 73,7 %. Aus diesem Videomaterial ließ sich außerdem erkennen, dass sich an dieser Stelle alle Fahrzeuge mit einer Ausnahme an das geltende Überholverbot hielten. Außerdem wurde das Fahrstreifenwechselverhalten auf den Verzögerungstreifen analysiert, wobei ebenfalls deutlich wurde, dass die meisten Fahrzeugführer rechtzeitig, umsichtig und sicher ausfuhren.

Bei der Analyse der Fahrzeugtrajektorien auf Höhe der Kennzeichenerfassung wurde eine Umgehung der Erkennung (Verlassen des Hauptfahrstreifens) bei ca. 10 % aller Lkw festgestellt. Entsprechend der einführenden Darstellung wurden bei dieser Untersuchung Fahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von < 3,5 Tonnen nicht berücksichtigt. Daher ist davon auszugehen, dass die Quote hinsichtlich der für das BAG kontrollrelevanten Verkehre noch darüber liegt. Um diese Quote zu verringern, wird empfohlen, auch den ersten Überholfahrstreifen mit der Kennzeichenerfassung abzudecken.

Die Geschwindigkeitsmessungen im Zulauf zum PWC Sophienberg offenbarten eine typische Reduktion der Geschwindigkeit der Lkw. Tendenziell wird auf diesem Streckenabschnitt trotzdem zu schnell gefahren. Eine Vermeidung der Höchstgeschwindigkeitsüberschreitungen könnte sich über regelmäßige Geschwindigkeitskontrollen erreichen lassen.

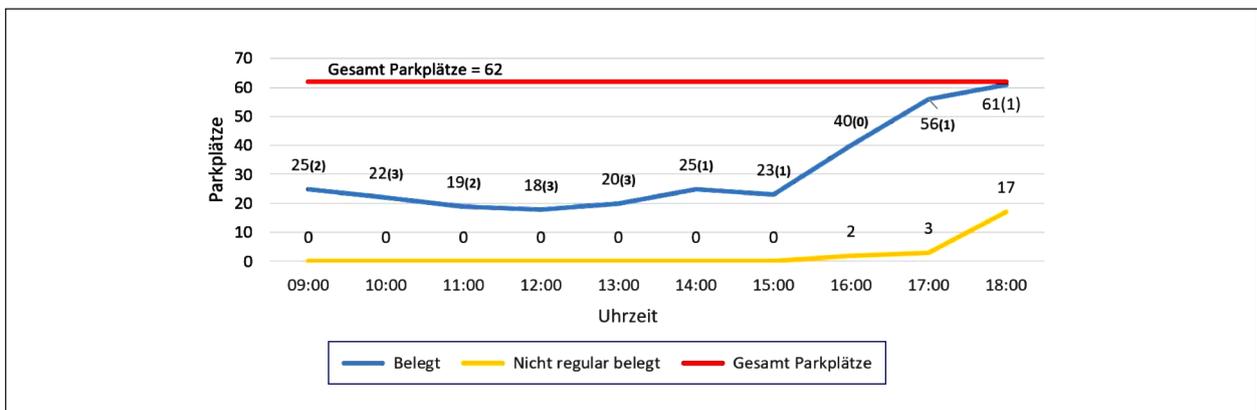


Bild 21: Ganglinie zur Parkplatzebelegung am PWC Sophienberg

Die Belegung der Parkplätze am PWC Sophienberg folgt über dem Beobachtungszeitraum dem typischen Muster (U-Form). Das heißt, dass sich der PWC an Wochentagen gegen ca. 16:00 Uhr füllt und gegen 18:00 Uhr an seine Kapazitätsgrenzen kommt. In der Frühe gegen 9:00 Uhr ist noch ein leichter Rückgang der parkenden Lkw aus der vorangegangenen Nacht zu beobachten. Das bedeutet, dass Kontrollen tagsüber (zwischen 9:00 Uhr und 16:00 Uhr) in Bezug auf die Parkplatzauslastung als sinnvoll zu erachten sind.

## 5 Befragungen zum Ausleitsystem

Im Rahmen der Erhebungen am Pilotstandort PWC Sophienberg kam es zu Befragungen von Lkw-Fahrern, welche im Anschluss im zweiten Untersuchungsblock an den anderen aktiven Pilotstandorten fortgesetzt wurden. Darüber hinaus wurde das BAG-Kontrollpersonal bundesländer-übergreifend zu Verbesserungspotenzialen und Änderungsvorschlägen bezüglich des Pilotbetriebs zum „Sicheren Ausleiten“ befragt.

### 5.1 Befragung der Fahrzeugführer

Zur Befragung der Lkw-Fahrer bezüglich der Verständlichkeit des Ausleitvorgangs sowie möglicher Verbesserungsvorschläge wurden zwei verschiedene Fragebogen in jeweils sechs Sprachen erstellt. Die Fragebogen lassen sich in die Gruppe der Fahrzeugführer, welche der Ausleitaufforderung Folge leisteten, und die Gruppe der Fahrzeugführer, welche der Ausleitaufforderung nicht Folge leisteten, aufteilen. Beide Fragebogen stimmen in großen Teilen überein und konnten somit teilweise zusammengefasst ausgewertet werden. Tabelle 9 zeigt die Anzahl der ausgewerteten Fragebogen nach Art und Standort.

Bild 22 zeigt die prozentuale Verteilung der Fragebogen auf Pulk- und Individualausleitung sowie die Verteilung auf die jeweiligen Fragebogengruppen Ausfahrer und Nicht-Ausfahrer. Es ist zu erkennen, dass rund ein Viertel aller Befragten per Individualausleitung ausgeleitet wurde. Außerdem ist zu erwähnen, dass die Ausleitquote unter den befragten Fahrzeugführern bei der Individualausleitung mit 86 % deutlich höher liegt als bei der Pulkausleitung

Standort (Datum der Befragung)	Ausfahrer	Nicht-Ausfahrer
Sophienberg (09.-11.04.2019)	56	17
Allenstein (11.07.2019)	25	21
Theital (03.07.2019)	26	4
Schieferberg (26.11.2019)	23	20
Summe	130	62

Tab. 9: Ausgewertete Fragebogen nach Art und Standort

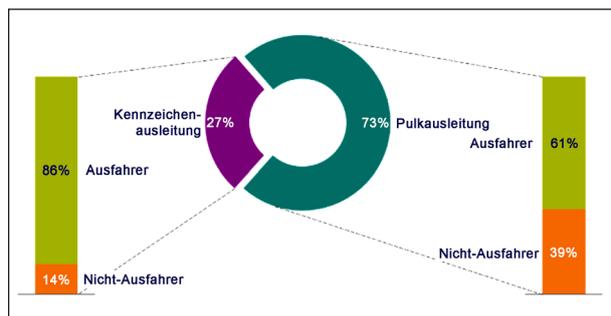


Bild 22: Relative Verteilung der Fragebogen auf Pulk- und Kennzeichenausleitung, und die jeweiligen Fragebogengruppen

mit 61 %. Es handelt sich hierbei explizit um befragte Fahrzeugführer, was die unterschiedlichen Zahlen zu Kapitel 4.1.1 erklärt.

#### 5.1.1 Allgemeine Informationen zu den Fahrzeugführern

Im allgemeinen Teil der Fragebogen wurde unter anderem nach Alter, Geschlecht, Nationalität, Deutschkenntnissen, Berufserfahrung und Streckenkenntnis der Fahrzeugführer gefragt.

Hinsichtlich der Altersverteilung unter den befragten Fahrzeugführern ist zu erkennen, dass der Großteil der Lkw-Fahrer in die beiden Altersgruppen 51-60 Jahre (32 %) oder 41-50 Jahre (31 %) fällt. 20 % entfallen auf die Gruppe 31-40 Jahre, 10 % waren <30 Jahre und 7 % >60 Jahre alt (siehe Bild 23).

Bezüglich der Geschlechterverteilung unter den Befragten kann festgestellt werden, dass alle befragten Fahrzeugführer männlich waren.

Tabelle 10 zeigt die Auswertung der Nationalität der befragten Lkw-Fahrer nach Nationalität und Pilotstandort. Es zeigt sich, dass ein Großteil der befragten Fahrer (jeweils ca. ein Drittel) aus Deutschland oder Polen stammt.

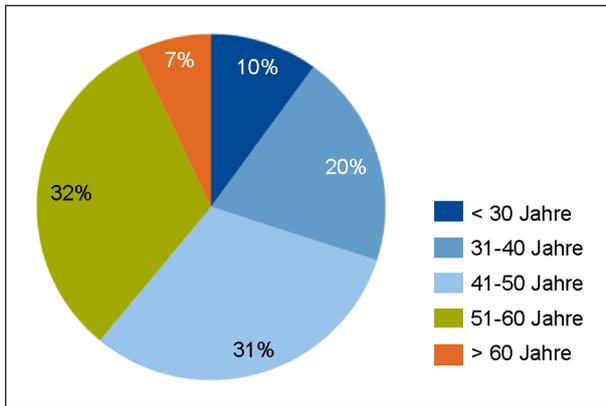


Bild 23: Auswertung der Altersverteilung der befragten Fahrzeugführer

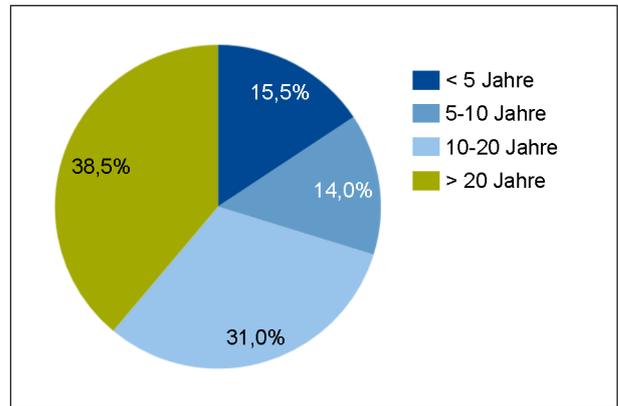


Bild 24: Auswertung zur Berufserfahrung der befragten Fahrzeugführer

Standort	DE	PL	RU	TR	CZ	Sonstige	Summe
Sophienberg	23	25	7	7	2	9	73
Allenstein	17	15	1	1	0	12	46
Theißtal	12	5	0	0	4	9	30
Schieferberg	17	16	2	0	1	7	43
Summe	69	61	10	8	7	37	192
Prozent [%]	36	32	5	4	4	19	100

Deutschland (DE), Polen (PL), Russland (RU), Türkei (TR), Tschechische Republik (CZ)

Tab. 10: Auswertung der Fragebogen nach Nationalität und Standort der Lkw-Fahrer

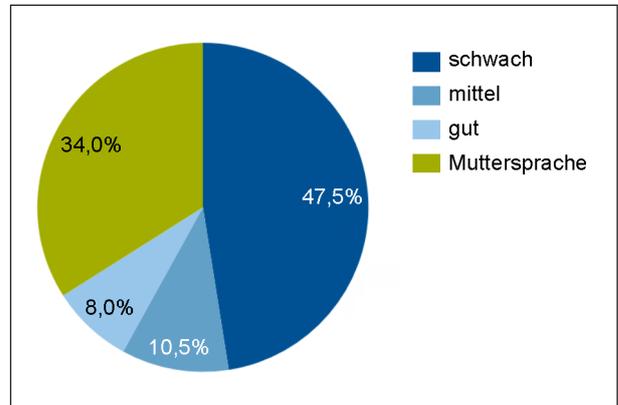


Bild 25: Auswertung der Sprachkenntnisse unter den Befragten

Bild 24 zeigt die Auswertung zur Berufserfahrung der befragten Fahrzeugführer. Es wird deutlich, dass ein Großteil über eine Berufserfahrung von >20 Jahren (38,5 %) oder 10-20 Jahren (31 %) verfügt. Die restlichen ca. 30 % verfügen über maximal 10 Jahre Berufserfahrung.

Im Hinblick auf die Kenntnis der deutschen Sprache wurde festgestellt, dass 52,5 % der Befragten über sehr gute bis passable Deutschkenntnisse verfügen. Ein Anteil von 47,5 % gab an, lediglich über schwache Kenntnisse zu verfügen (siehe Bild 25). Es ist zu beobachten, dass zwischen Tabelle 10 und Bild 25 eine Differenz von 2 % zwischen deutschen Staatsangehörigen und Muttersprachlern besteht. Dieser Unterschied könnte aufgrund von eingebürgerten Personen zustande gekommen sein.

Bild 26 zeigt die Streckenkenntnis der Fahrzeugführer. Als Maß der Streckenkenntnis diente hierbei, wie oft der Lkw-Fahrer diese Strecke bereits gefahren ist. Es wird deutlich, dass sowohl Ausfahrer als auch Nicht-Ausfahrer die Strecke sehr gut kennen.

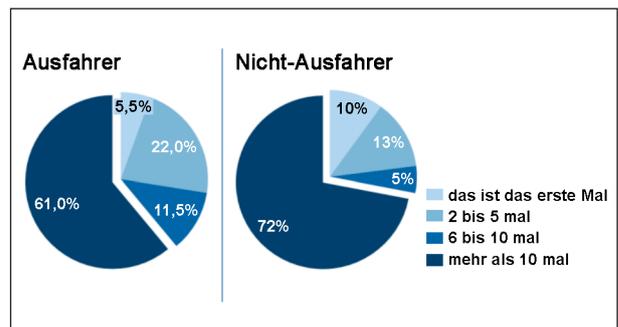


Bild 26: Auswertung zur Frage wie oft der Fahrzeugführer diese Route bereits gefahren ist

Lediglich 5,5 % bzw. 10 % aller befragten Fahrzeugführer fahren die Strecke zum ersten Mal.

Darüber hinaus wurden alle Lkw-Fahrer gefragt, ob sie die Konsequenzen der Nicht-Befolgung der Ausleitaufforderung kennen. Bild 27 zeigt die Ergebnisse der Befragung. Es wird deutlich, dass die Ausfahrerangaben, besser über die Konsequenzen Bescheid zu wissen als die Nicht-Ausfahrer. Das bedeutet entweder, dass das System unter den

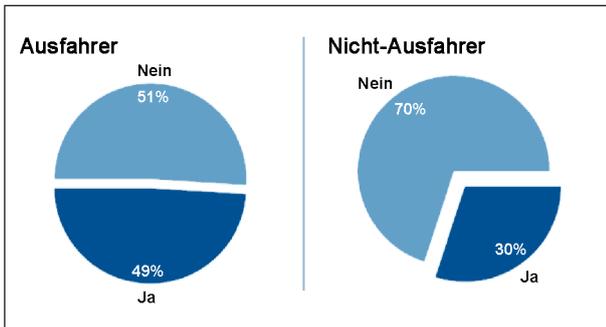


Bild 27: Auswertung zur Kenntnis der Folgen der Nicht-Beachtung der Ausleitaufforderung

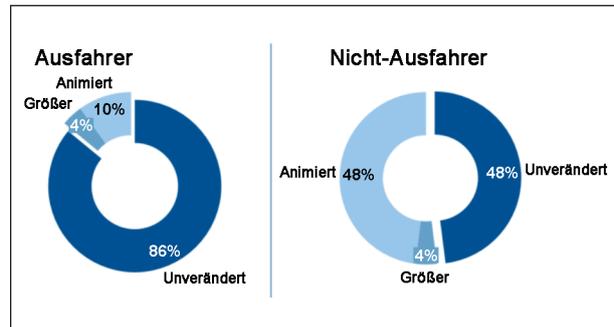


Bild 29: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Kennzeichendarstellung

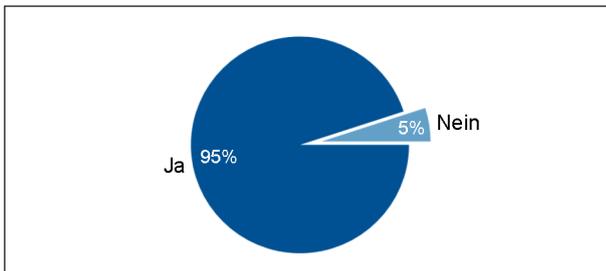


Bild 28: Auswertung der intuitiven Kenntnis des Kennzeichens des derzeitigen Fahrzeugs

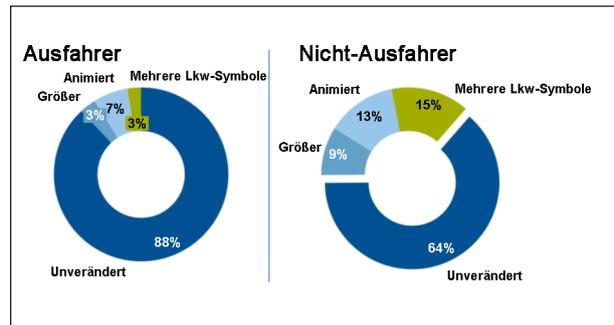


Bild 30: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Darstellung des Lkw-Symbols

Ausfahrern allgemein „bekannter“ war, oder die Nicht-Ausfahrer eine in ihren Augen bzw. sozial erwünschte Antwort gaben.

Zusätzlich wurden alle Fahrzeugführer gefragt, ob sie intuitiv das Kennzeichen ihres derzeitigen Fahrzeugs erkennen würden. Bild 28 gibt Aufschluss über die Ergebnisse der Fragestellung. Dabei wird klar, dass eine große Mehrheit von 95 % aller befragten Lkw-Fahrer das Kennzeichen ihres derzeitigen Fahrzeugs intuitiv erkennen würden. Diese Frage wurde nicht am Standort Allenstein gestellt, da es dort aktuell ausschließlich Pulkausleitungen gibt.

### 5.1.2 Auswertung der Fragen für Ausfahrer und Nicht-Ausfahrer

Die im Folgenden evaluierten Aspekte sind sowohl Teil des Fragebogens für Ausfahrer als auch für Nicht-Ausfahrer. Dabei wurde insbesondere auf die Aspekte zur Gestaltung der Anzeigeinhalte der Ausleitfläche und die Notwendigkeit und Platzierung einer zweiten Ausleitfläche eingegangen.

#### 5.1.2.1 Gestaltung der Ausleitfläche

Ein Beispiel für die derzeitige Gestaltung der Ausleitfläche kann Bild 14 entnommen werden. Die zen-

tralen drei Bestandteile sind dabei das Fahrzeug-Symbol bzw. das Kennzeichen bei der Individualausleitung sowie der Pfeil und das Textfeld.

Bei der Individualausleitung gaben 86 % der Ausfahrer und 48 % der Nicht-Ausfahrer an, dass sie die Darstellung des Kennzeichens nicht verändern würden, siehe Bild 29. 10 % der Ausfahrer und 48 % der Nicht-Ausfahrer wünschen sich ein in irgendeiner Form animiertes Kennzeichen und jeweils 4 % fänden eine größere Darstellung des Kennzeichens wünschenswert.

Das bei der Pulkausleitung zum Einsatz kommende Lkw-Symbol würde von 88 % der Ausfahrer und 64 % der Nicht-Ausfahrer unverändert belassen (siehe Bild 30). 3 % der Ausfahrer und 15 % der Nicht-Ausfahrer würden das Lkw-Symbol gerne durch mehrere Lkw-Symbole ersetzen. Zusätzlich würden sich 7 % der Ausfahrer und 13 % der Nicht-Ausfahrer eine Animation des Symbols wünschen. Lediglich 3 % der Ausfahrer und 9 % der Nicht-Ausfahrer wünschen sich eine größere Darstellung.

Übergreifend zur Pulk- und Individualausleitung wurde die Platzierung und Darstellung des Pfeils auf der Ausleitfläche von den Lkw-Fahrern bewertet (siehe Bild 31). 73 % der Ausfahrer und 53 % der

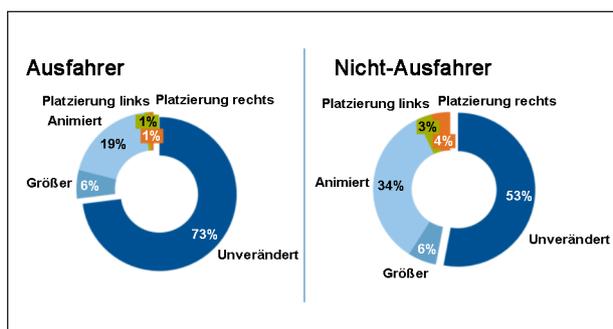


Bild 31: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Darstellung des Pfeils

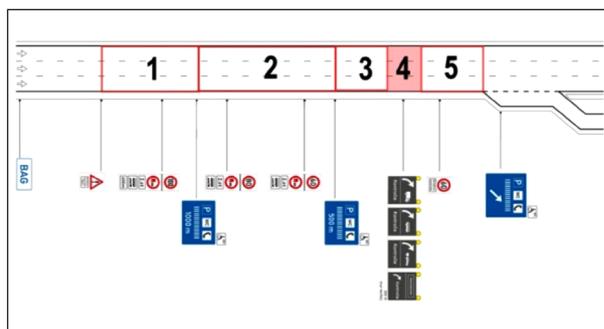


Bild 33: Skizze zur Platzierung der Ausleittafel(n)

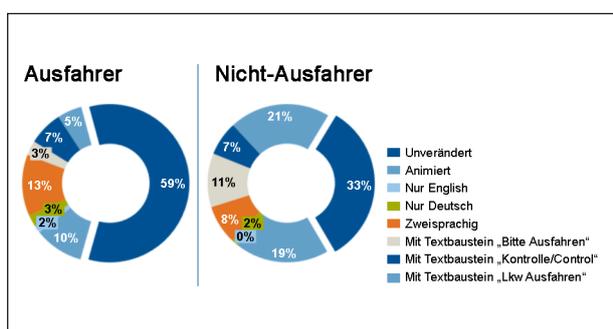


Bild 32: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Darstellung und Inhalt des Textfeldes

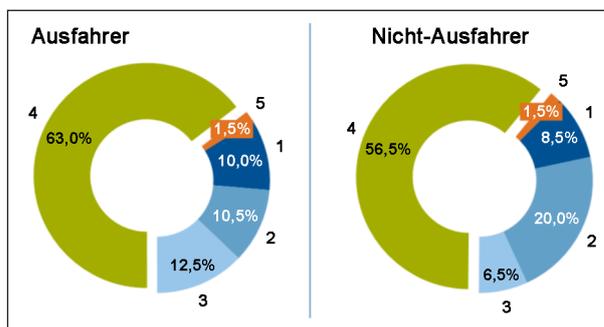


Bild 34: Ergebnisse der Befragung zur Platzierung der bestehenden Ausleittafel

Nicht-Ausfahrer gaben an, die Darstellung des Pfeils nicht verändern zu wollen. 19 % der Ausfahrer und 34 % der Nicht-Ausfahrer wünschten sich eine Animation des Pfeils und jeweils 6 % würden den Pfeil größer darstellen. Für eine veränderte Platzierung des Pfeils sprachen sich 1 % der Ausfahrer und 3 % der Nicht-Ausfahrer aus. Den Pfeil auf der rechten Seite hätten gerne 1 % der Ausfahrer und 4 % der Nicht-Ausfahrer.

Zur Darstellung des Textfeldes bei Pulk- und Individualausleitung gaben 59 % der Ausfahrer und 33 % der Nicht-Ausfahrer an, dass sie die Darstellung nicht verändern würden. 10 % der Ausfahrer und 19 % der Nicht-Ausfahrer wünschten sich eine Animation des Textfeldes in irgendeiner Form (siehe Bild 32). 3 % der Ausfahrer und 2 % der Nicht-Ausfahrer wünschten sich eine Darstellung ausschließlich auf Deutsch, 2 % (Ausfahrer) und 0 % (Nicht-Ausfahrer) wollten eine rein englische Beschriftung und 13 % (Ausfahrer) und 8 % (Nicht-Ausfahrer) würden eine zweisprachige Darstellung bevorzugen. Darüber hinaus bevorzugten 3 % der Ausfahrer und 11 % der Nicht-Ausfahrer den Textbaustein „Bitte Ausfahren“, 7 % der Ausfahrer und Nicht-Ausfahrer den Textbaustein „Kontrolle/Control“ und 5 % (Ausfahrer) und 21 % (Nicht-Ausfahrer) den Textbaustein „Lkw Ausfahren“.

### 5.1.2.2 Platzierung der Ausleittafel und Erörterung der Notwendigkeit einer zweiten Ausleittafel

Ein weiterer Fokus der Befragung der Lkw-Fahrer lag auf der Platzierung der Ausleittafel und der Frage, ob eine weitere Ausleittafel einen positiven Nutzen auf die Verständlichkeit der Ausleitaufforderung haben könnte. Den Probanden wurde die Skizze aus Bild 33 gezeigt und abgefragt, in welches Segment sie die bestehende Ausleittafel stellen würden. Im aktuell bestehenden Systemaufbau steht die LED-Tafel im vierten Segment.

Die Mehrheit der Fahrzeugführer, 63 % der Ausfahrer und 56,5 % der Nicht-Ausfahrer, würde die Ausleittafel gerne im vierten Segment aufgestellt sehen, siehe Bild 34. 12,5 % (Ausfahrer) und 6,5 % (Nicht-Ausfahrer) würden die Tafel in das dritte Segment stellen. 10,5 % der Ausfahrer und 20,0 % der Nicht-Ausfahrer würden gerne früher über die Ausleitung informiert werden und würden die Tafel demnach schon im zweiten Segment aufstellen. 10,0 % (Ausfahrer) und 8,5 % (Nicht-Ausfahrer) der Befragten würden die bestehende Ausleittafel sogar in das erste Segment stellen. Die wenigsten Fahrzeugführer, 1,5 % der Ausfahrer und Nicht-Ausfahrer würden die Tafel gerne direkt vor der Ausfahrt im fünften Segment platzieren (Bild 34).

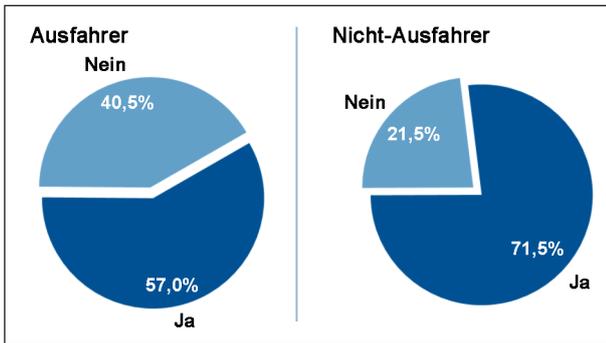


Bild 35: Ergebnisse zur Befragung der Notwendigkeit einer zweiten Ausleittafel

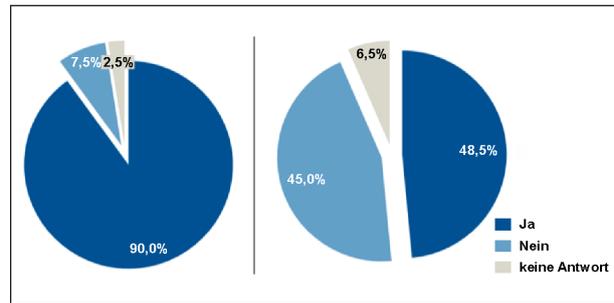


Bild 37: Auswertung zur guten und schnellen Erkennbarkeit der Ausleittafel

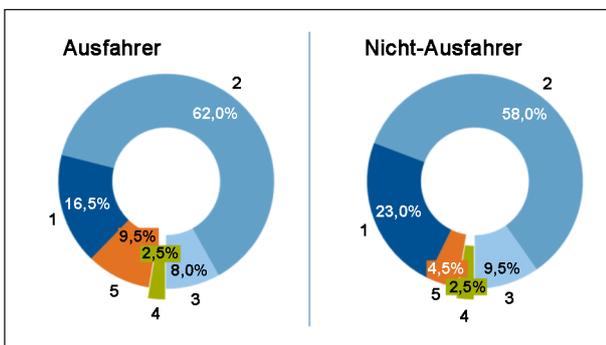


Bild 36: Ergebnisse der Befragung zur Platzierung einer weiteren Ausleittafel

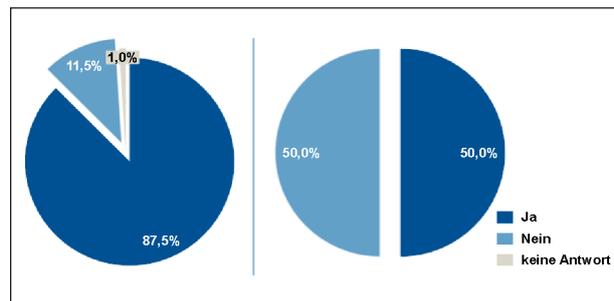


Bild 38: Auswertung zur ausreichend langen Dauer der Erkennbarkeit der Ausleittafel

Insgesamt lässt sich erkennen, dass die aktuelle Platzierung der Ausleittafel von den meisten Fahrern bevorzugt wird.

Im Anschluss wurden die Probanden gefragt, ob sie eine zusätzliche Ausleittafel zu der bestehenden befürworteten (siehe Bild 35). 57 % der Ausfahrer und 71,5 % der Nicht-Ausfahrer sprachen sich dabei für eine weitere Ausleittafel aus.

Jene Fahrer, welche sich für eine zweite Ausleittafel aussprachen, wurden anschließend gefragt, wo sie die zweite Ausleittafel anbringen würden. Dabei blieb die Position der jetzigen Ausleittafel im vierten Segment fixiert. Bild 36 zeigt die Ergebnisse der Befragung. Es ist zu erkennen, dass 62,0 % der Ausfahrer und 58,0 % der Nicht-Ausfahrer die zusätzliche Ausleittafel im zweiten Segment unterbringen würden. 16,5 % (Ausfahrer) und 23,0 % (Nicht-Ausfahrer) der Befragten wollten diese bereits im ersten Segment und 2,5 % der Befragten direkt bei der bestehenden Tafel im vierten Segment aufstellen.

9,5 % der Ausfahrer und 4,5 % der Nicht-Ausfahrer würden die zusätzliche Tafel direkt vor die Ausfahrt im fünften Segment aufstellen.

Die Frage, ob die Ausleittafel gut und schnell zu erkennen war, beantworteten die meisten (90 %) der Ausfahrer positiv, unter den Nicht-Ausfahrern gaben immerhin 48,5 % der Befragten an, die Tafel gut und schnell erkannt zu haben (siehe Bild 37).

Anschließend wurden die Fahrzeugführer gefragt, ob sie die Ausleittafel lange genug gesehen haben, um ihren Inhalt zu verstehen. Diese Frage beantworteten 87,5 % der Ausfahrer und 50,0 % der Nicht-Ausfahrer positiv (siehe Bild 38).

### 5.1.3 Auswertung der Fragen exklusiv für Ausfahrer

Die Fragen in diesem Kapitel wurden exklusiv nur Lkw-Fahrern gestellt, die die Ausleitaufforderung beachtet haben. Dabei wurde im Speziellen auf die Einschätzung der Fahrzeugführer bezüglich Verständlichkeit und Effektivität des neuen Systems sowie den Vergleich zwischen neuem und altem System eingegangen.

#### 5.1.3.1 Verständlichkeit und Effektivität des neuen Ausleitverfahrens

Bild 39 zeigt die kombinierte Auswertung aus den Fragen, ob ein Fahrer schon einmal mit dem Sys-

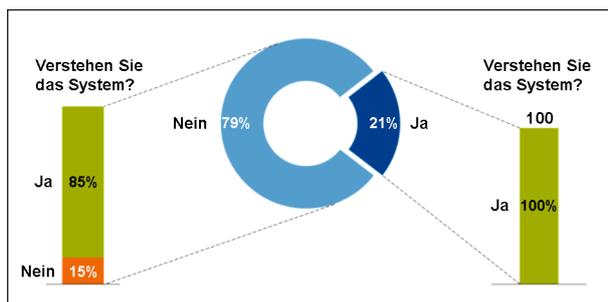


Bild 39: Kombination aus Verständnis des Systems und vorheriger Ausleitung durch das System

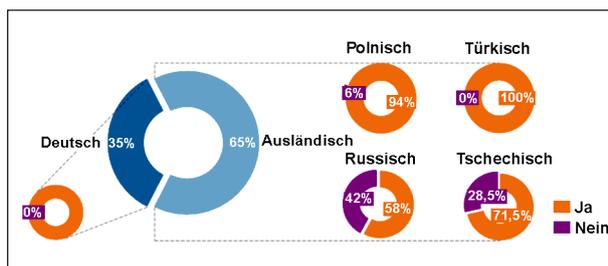


Bild 40: Verständnis des Systems nach Herkunft der Fahrzeugführer

tem ausgeleitet wurde und ob er das System vollumfänglich verstanden hat. 79 % der Probanden wurden noch nie mit dem neuen System ausgeleitet, davon verstanden 85 % das System vollumfänglich. Von den 21 % der Befragten, die das neue System bereits kennengelernt hatten, verstanden 100 % das System vollumfänglich.

Es wird also deutlich, dass das Verständnis der Ausleitaufforderung von der Bekanntheit des Systems abzuhängen scheint.

Eine weitere Betrachtung des Systemverständnisses, die aus den Fragebogen abgeleitet wurde, ist in Bild 40 zu sehen. Hier wurde betrachtet, ob die Herkunft der Fahrzeugführer mit dem Verständnis des Systems zusammenhängt.

Es wird deutlich, dass die Fahrer mit polnischer, türkischer und deutscher Herkunft keine Probleme mit dem Verständnis der Ausleitaufforderung haben, wohingegen tschechische (28,5 %) und russische (42,0 %) Fahrzeugführer eher Verständnisprobleme angaben. Diese Erkenntnis lässt darauf schließen, dass die Herkunft und ggf. Muttersprache und Schrift der Fahrzeugführer einen direkten Einfluss auf das Verständnis der Ausleitaufforderung haben. Außerdem ist es vorstellbar, dass nach Deutschland immigrierte Lkw-Fahrer oder solche, die häufig durch Deutschland fahren, weniger sprachliche Probleme haben könnten.

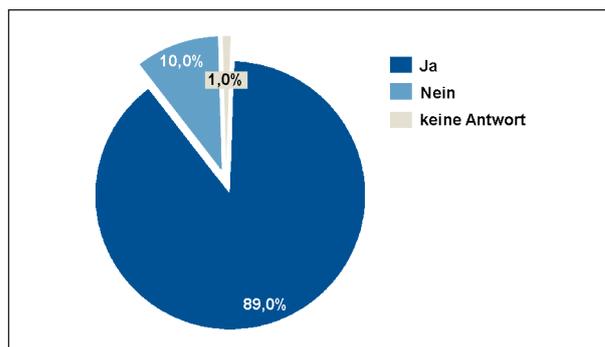


Bild 41: Auswertung zur Frage, ob sich die Fahrzeugführer durch das Ausleitsystem genauso effektiv angesprochen fühlten wie durch einen BAG-Kontrolleur

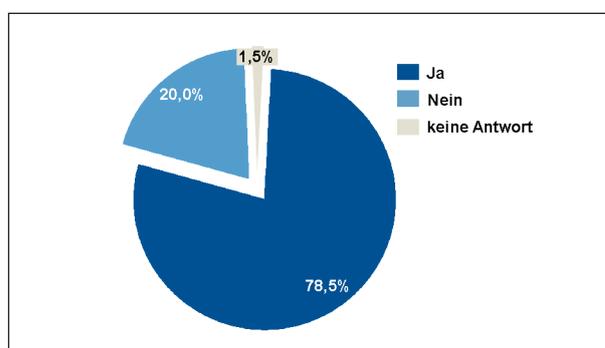


Bild 42: Auswertung, ob das neue Ausleitsystem einfacher empfunden wird als das herkömmliche Ausleiten durch BAG-Kontrolleure

Des Weiteren wurden die Ausfahrer gefragt, ob sie sich durch die Ausleittafel genauso effektiv angesprochen fühlten wie bei der Ausleitung durch das BAG-Kontrollpersonal. Die Mehrheit (89 %) beantworteten diese Frage mit „Ja“, siehe Bild 41.

### 5.1.3.2 Vergleich des neuen und alten Ausleitverfahrens

In diesem Kapitel wird das neue (sichere) Ausleitsystem direkt mit dem herkömmlichen Verfahren, der Ausleitung durch einen BAG-Kontrolleur verglichen.

Dabei wurde unter anderem gefragt, ob das neue Verfahren von den Fahrzeugführern als einfacher empfunden wird als das herkömmliche Verfahren. 78,5 % der Befragten beantworteten diese Frage positiv, siehe Bild 42.

Als Vorteile wurden vor allem folgende Punkte genannt:

- Das neue System ist klarer verständlich als das herkömmliche Verfahren.

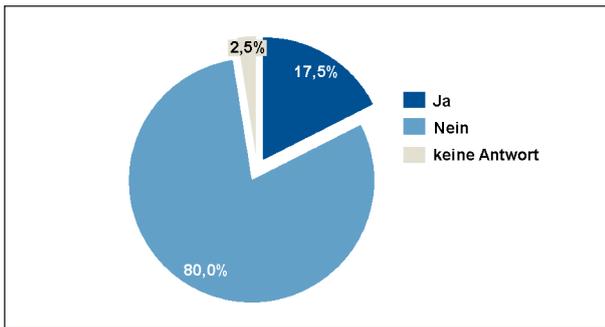


Bild 43: Auswertung zur Frage, ob das neue Ausleitsystem zum Ignorieren der Ausleitaufforderung verleiten könnte

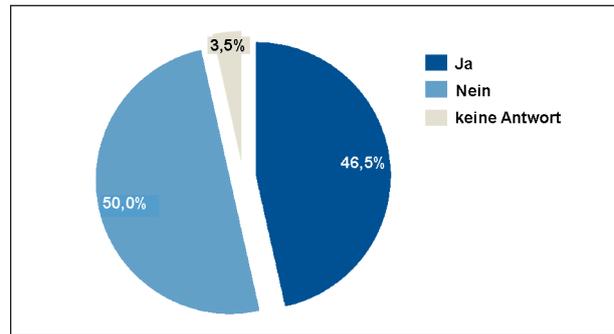


Bild 44: Auswertung zur Frage, ob die Ausleittafel rechtzeitig gesehen wurde, um den Inhalt zu erkennen

- Die Fahrzeugführer haben mehr Zeit, ihr Fahrmanöver zu planen und auf die Ausleitaufforderung zu reagieren.

Als Nachteile wurden vor allem folgende Themen angesprochen:

- Das neue Ausleitsystem wird eher als Hinweis als eine Aufforderung zum Ausfahren verstanden.
- Einige Lkw-Fahrer warteten auf den BAG-Kontrollleur, der sie ausleitet.
- Die Ausleittafel ist zu nah an der Ausfahrt positioniert und damit zu spät sichtbar, um sie zu erkennen und angemessen zu reagieren.

Im Vorfeld wurde vermutet, dass das neue System aufgrund der Abwesenheit eines BAG-Kontrollleure zum Ignorieren der Ausleitaufforderung verleiten könnte. Diese Frage wurde von der Mehrheit (80 %) der Befragten negativ beantwortet (siehe Bild 43).

#### 5.1.4 Auswertung der Fragen exklusiv für Nicht-Ausfahrer

Die folgenden Fragen wurden exklusiv den 17 befragten Nicht-Ausfahrern gestellt. Es wurden insbesondere Fragen gestellt, welche die Gründe der Nicht-Befolgung der Ausleitaufforderung ergründen sollen. Dazu wurde zu Beginn des Fragebogens eine Klassifizierungsfrage gestellt, welche die Befragten in die Gruppen „Ausleittafel übersehen“ (64 %), „Ausleittafel nicht verstanden“ (36 %) und „Ausleittafel ignoriert“ (0 %) einteilt. Gemäß der Gruppe wurden wiederum spezifische Fragen an die Fahrzeugführer gestellt, welche im Folgenden inklusive der zugehörigen Auswertung dargestellt werden.

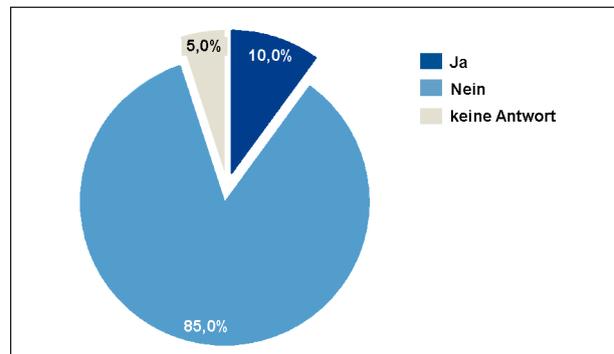


Bild 45: Auswertung zu technischen Problemen bei der Erkennbarkeit der Ausleittafel

Zuerst wurde hinterfragt, ob die Fahrzeugführer die Ausleittafel rechtzeitig gesehen haben, um den Inhalt erkennen und verstehen zu können. Diese Frage wurde von 50 % der Befragten negativ und 46,5 % der Befragten positiv beantwortet, wie in Bild 44 zu sehen ist.

Darüber hinaus erhielten alle Fahrer, welche die Ausleittafel übersahen, die Frage, ob es technische Probleme (z. B. Sonneneinstrahlung oder Aufstellwinkel der Ausleittafel) gab, weswegen die Ausleittafel übersehen wurde. Diese Frage wurde von einer Mehrheit (85 %) mit „Nein“ beantwortet (siehe Bild 45). Es ist also davon auszugehen, dass die technische Ausführung der Ausleittafel in Ordnung ist.

Des Weiteren wurden die Nicht-Ausfahrer befragt, ob die Anweisung der Ausleittafel eindeutig verständlich ist. Dabei wurde klar, dass 55 % der Befragten den Inhalt der Ausleittafel nicht eindeutig verstehen (siehe Bild 46).

Im Anschluss an diese Frage wurden die Fahrzeugführer gebeten ihre Einschätzung dazu abzugeben, warum die Ausleittafel nicht eindeutig verständlich

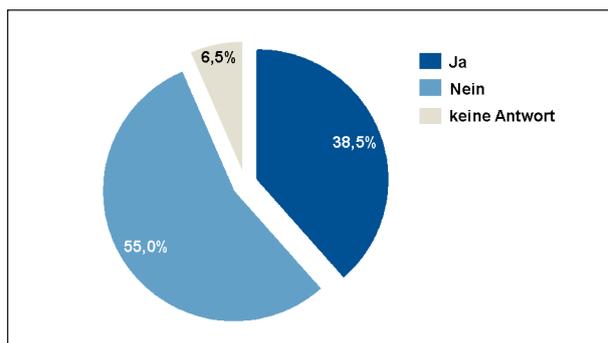


Bild 46: Auswertung zur eindeutigen Verständlichkeit der Ausleittafel

sein könnte. Dabei wurden folgende Punkte am häufigsten genannt:

- Die Ausfahraufforderung wurde nicht verstanden und deshalb wurde dem vorausfahrenden Fahrzeug gefolgt.
- Die Ausfahraufforderung wurde nicht klar kommuniziert und damit eher als Hinweis, dass eine Kontrolle stattfindet, verstanden.

### 5.1.5 Allgemeine Kommentare der Fahrzeugführer

Zusätzlich zu den Fragen mit Auswahlmöglichkeiten bot der Fragebogen die Möglichkeit in einem Freitextbereich Kritik zum System zu äußern. In diesem Kapitel werden die häufigsten Kommentare zusammengefasst dargestellt. Insgesamt haben 56 von 130 Fahrern allgemeine Kommentare zum neuen Ausleitsystem abgegeben. Hauptthemen der Kommentare waren die „Unbekanntheit des neuen Systems“, die „Schwierigkeiten für ausländische Fahrer“ und die „Verbesserung der Anzeigehalte der Ausleittafel“:

- Die Ausleittafel ist zu nah an der Ausfahrt positioniert und zu spät sichtbar, um zu reagieren.
- Viele Fahrzeugführer erwähnten, dass sie die Ausleittafel nicht verstanden haben und den voranfahrenden Fahrzeugen folgten.
- Hauptproblem vieler Fahrer (v. a. bei Pulkausleitung) ist eher die Unbekanntheit des neuen Systems als die Verständlichkeit.
- Einige Fahrer gaben an, bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen Probleme zu haben.
- Viele Lkw-Fahrer gaben an, dass sie nicht verstanden hatten, dass eine Pulkausleitung stattfindet.

Pilotstandort/Art	Anzahl
Allenstein	11
Ellerbrook	1
Schieferberg	25
Sophienberg	33
Theißtal	35
Sophienberg und Theißtal	1
Gesamtsumme	106

Tab. 11: Ausgewertete Fragebogen nach Pilotstandort/Art

- Einige Fahrzeugführer kannten das System nicht und erwarteten BAG-Kontrolleure, wie vom herkömmlichen Ausleiten bekannt.
- Das System sei zu unbekannt und die Anweisung nicht eindeutig.
- Viele Fahrer gaben an, zu sehr an BAG-Kontrolleure gewöhnt zu sein.
- Einige Nicht-Ausfahrer gaben an, dass sie die Aufforderung missachteten, da sie das System noch nicht kannten und nicht wussten, was sie tun sollten.

## 5.2 Befragung des BAG-Kontrollpersonals

Zur Befragung des BAG-Kontrollpersonals bezüglich der Handhabbarkeit des Ausleitsystems, sowie möglicher Verbesserungsvorschläge wurde ein Online-Fragebogen erstellt, welcher per E-Mail an die verschiedenen Kontrolleinheiten übermittelt wurde. Dieser war für das BAG-Kontrollpersonal zwischen dem 14.01.2020 und dem 20.03.2020 online erreichbar. Der Fragebogen lässt sich in die Abschnitte Informationen zum Befragten, Vergleich des neuen und alten Ausleitsystems, Erfahrungen mit Fahrzeugführern sowie System- und Softwareevaluierung einteilen. Insgesamt wurden 106 Fragebogen ausgewertet. Tabelle 11 zeigt die Anzahl der ausgewerteten Fragebogen nach Pilotstandorten.

Es zeigt sich, dass die meisten BAG-Kontrolleure bisher an den Pilotstandorten Schieferberg, Sophienberg und Theißtal das neue Ausleitsystem genutzt haben. Neun BAG-Kontrolleure kannten das System noch nicht, gaben aber trotzdem ihre Einschätzung zum System ab. Die Ergebnisse dieser Fragebogen fließen allerdings nicht in die folgende

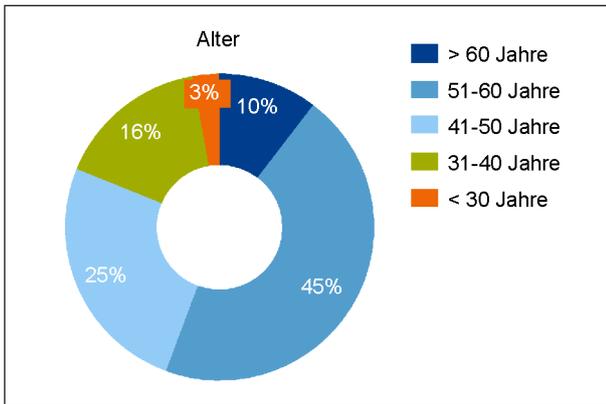


Bild 47: Altersverteilung des BAG-Kontrollpersonals

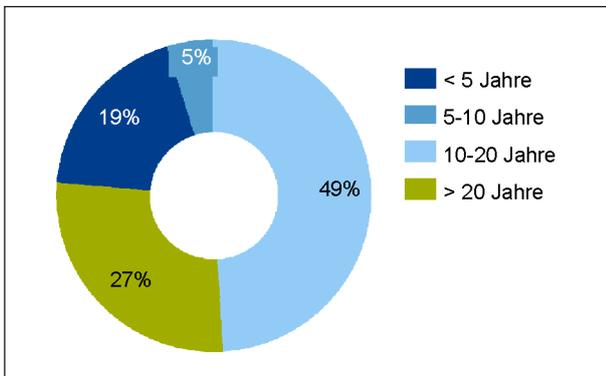


Bild 48: Berufserfahrung des BAG-Kontrollpersonals

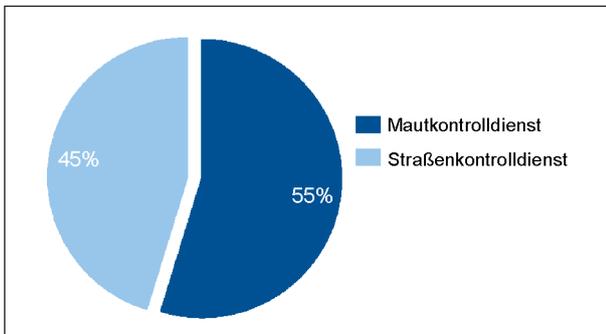


Bild 49: Anteil der Befragten am Maut- und Straßenkontrolldienst

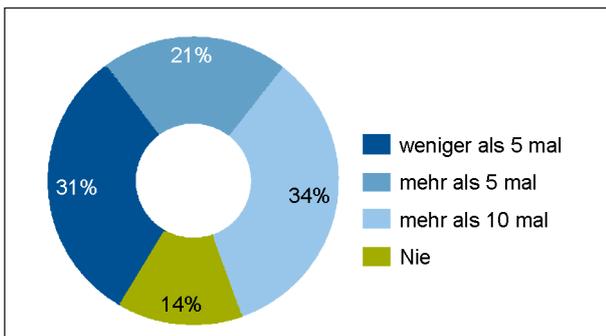


Bild 50: Auswertung zur Anzahl der durchgeführten Kontrollen mit neuem System

Bewertung mit ein und sind somit auch nicht in Tabelle 11 enthalten.

### 5.2.1 Allgemeine Informationen zu den BAG-Kontrolleuren

Der Großteil der befragten BAG-Kontrolleure ist zwischen 41 und 60 Jahre alt und verfügt über mehr als 10 Jahre Berufserfahrung (siehe Bild 47 und Bild 48).

Das BAG-Kontrollpersonal teilt sich dabei in den Maut- und den Straßenkontrolldienst auf. 55 % der Befragten zählten dabei zum Mautkontrolldienst und 45 % zum Straßenkontrolldienst (siehe Bild 49).

Die meisten der befragten BAG-Kontrolleure hatten das System schon häufiger genutzt, lediglich 15 Befragte (14 %) hatten noch nie eigenhändig Ausleitungen mit dem neuen System durchgeführt (siehe Bild 50).

### 5.2.2 Vergleich des neuen und alten Ausleitsystems

Im zweiten Abschnitt des Fragebogens wurde das neue und das herkömmliche Ausleitverfahren verglichen. Der Großteil (80 %) der befragten BAG-Kontrolleure bevorzugte die neue Ausleitmethode gegenüber dem herkömmlichen Ausleitverfahren, siehe Bild 51.

Die Kontrolleure, die das neue Ausleitsystem bevorzugten, gaben folgende Gründe an:

- Sicherheit (61 Nennungen).
- Gezieltes Ausleiten (9).
- Einfachheit (3).

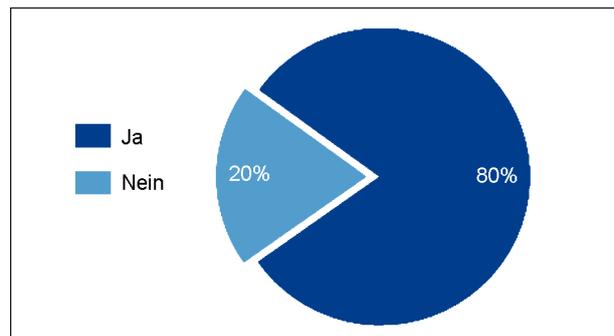


Bild 51: Auswertung zur Bevorzugung der Ausleitsysteme (automatisiert und herkömmlich)

Die Kontrolleure, die das alte System bevorzugten, nannten die folgenden Gründe:

- Ausleitquote zu niedrig (5).
- Keine Aufzeichnung bei Missachtung (2).
- System unbekannt (2).
- Keine effektive Selektion möglich (3).
- Für Mautkontrolle ungeeignet (3).
- Für dreispurige BAB nicht geeignet (3).
- Ungeeigneter Parkplatz bzw. Infrastruktur (2).
- Herkömmliches Verfahren ist besser (2).

Des Weiteren wurde nach dem subjektiven Empfinden zur Effektivität der beiden Systeme gefragt. 48 % der Befragten gaben dabei an, dass das neue Verfahren effektiver sei als das alte. 49 % empfinden es als weniger effektiv und 2 % gaben dazu keine Einschätzung ab, siehe Bild 52.

Die Kontrolleure, welche angaben, das neue System als weniger effektiv zu empfinden, nannten folgende Gründe für ihre Einschätzung:

- Ausleitafel hat keine Akzeptanz (18).
- Weniger Kontrolle über das System (11).

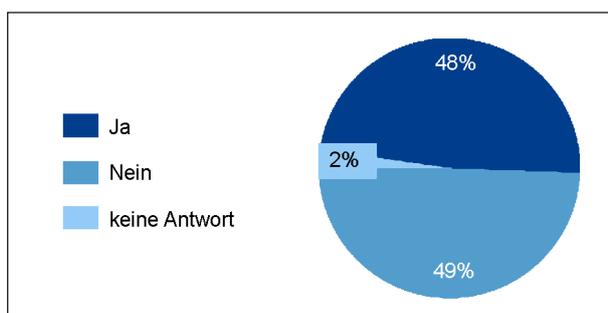


Bild 52: Subjektives Empfinden zur Effektivität des neuen Ausleitsystems

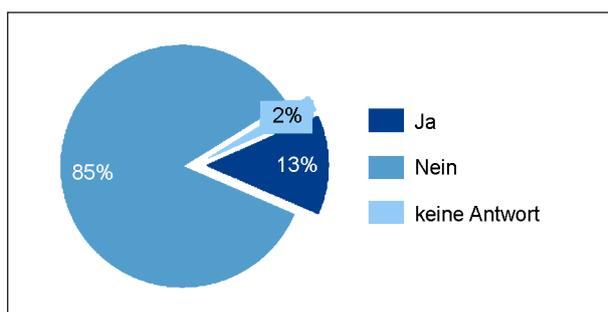


Bild 53: Auswertung zur Anpassung der Ausleitkriterien unter Verwendung des neuen Systems

- Fehlende Mautbrücke (2).
- Fehler bei Kennzeichenerkennung (2).
- Mobile Systeme besser (2).
- Neues System ist zeitintensiver (2).
- Pulkausleitung birgt Gefahren (2).
- Nach Auswahl eines Fahrzeuges zur Ausleitung sei die Funktion ca. 2 min blockiert (2).
- Es besteht kein Überholverbot an der ersten Kamera, dadurch schlupfen alle Fahrzeuge, welche nicht auf der rechten Spur fahren, durch die Erkennung.

Darüber hinaus wurde das BAG-Kontrollpersonal darüber befragt, ob sie ihre Auswahlkriterien unter Verwendung des neuen Systems angepasst hätten. Bild 53 zeigt die Ergebnisse der Befragung. Der Großteil der Befragten gab an, die Auswahlkriterien nicht verändert zu haben (85 %).

Die BAG-Kontrolleure, welche angaben, ihre Ausleitkriterien verändert zu haben, taten dies aus folgenden Gründen:

- Abschätzung der Abmessungen im Voraus möglich (2).
- Ausleitung nach Firmennamen (1).
- Ausleitung nach Transportgut (1).
- Herkunft des Fahrzeuges (1).

### 5.2.3 Erfahrungen mit Fahrzeugführern

Im Abschnitt „Erfahrungen mit den Fahrzeugführern“ wurde nach dem subjektiven Empfinden der BAG-Kontrolleure hinsichtlich der Akzeptanz und des Verständnisses des Systems bei den Fahrzeugführern gefragt. Dabei wird deutlich, dass der Großteil des BAG-Kontrollpersonals sowohl die Akzeptanz, sowie auch das Verständnis des neuen Ausleitverfahrens eher positiv bewerten. Auf einer Skala von 1 (keine Akzeptanz/kein Verständnis) bis 5 (volle Akzeptanz/volles Verständnis), bewerten die meisten Kontrolleure beide Größen mit einem Wert von 3 bis 4.

Darüber hinaus wurden die BAG-Kontrolleure dazu befragt, ob sie Unterschiede im Befolgungsgrad zwischen der Pulk- und der Individualausleitung feststellen. Bild 54 zeigt die Auswertungen zu die-

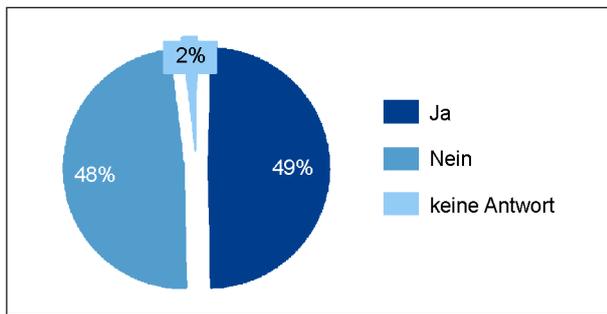


Bild 54: Auswertung zu empfundenen Unterschieden bei Pulk- und Kennzeichenausleitung

ser Fragestellung. Es wird deutlich, dass etwa die Hälfte aller befragten Kontrolleure Unterschiede zwischen Pulk- und Kennzeichenausleitung in Bezug auf die Befolgung der Ausfahraufforderung feststellt.

Diejenigen Kontrolleure, welche angaben, dass ein Unterschied bestünde, gaben folgende Gründe für ihr Empfinden an:

- Der sogenannte Herdentrieb lässt entweder alle Fahrzeuge einer Kolonne ausfahren oder vorbeifahren (21).
- Bei der Pulkausleitung fühlen sich nicht alle angesprochen (9).
- Geringe Erkennbarkeit bzw. ungenaue Anweisung (8).
- Missachtung der Ausleitaufforderung bei Pulkausleitung (5).

#### 5.2.4 System- und Softwareevaluierung

In der Kategorie „System- und Softwareevaluierung“ wurden den BAG-Kontrolleuren Fragen zur Handhabbarkeit der Ausleitsoftware gestellt. Dabei kamen nur Fragebogen zur Auswertung, bei denen die Befragtenangaben schon einmal mit dem System gearbeitet zu haben. Laut dem Kontrollpersonal steht ihnen das System meist (43 % „Meist“ und 39 % „Fast immer“) störungsfrei zu Verfügung. Lediglich 2 %, bzw. 9 % der Befragten gaben an, dass das System „Nie“ oder „Fast nie“ störungsfrei zu Verfügung steht (siehe Bild 55).

Darüber hinaus wurde das BAG-Personal zur Verständlichkeit der Ausleitsoftware befragt. 25 %, bzw. 43 % gaben an, dass die Software „Sehr gut“ oder „Gut“ verständlich sei. 1 % bzw. 7 % der Befragten empfinden die Verständlichkeit der Software als „Sehr schlecht“ oder „Schlecht“ (siehe Bild 56).

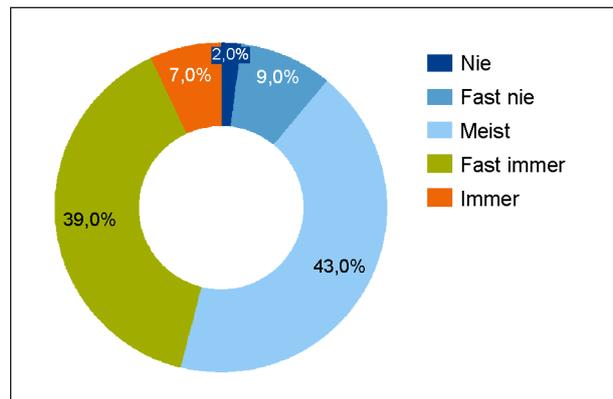


Bild 55: Störungsfreie Verfügbarkeit des Systems

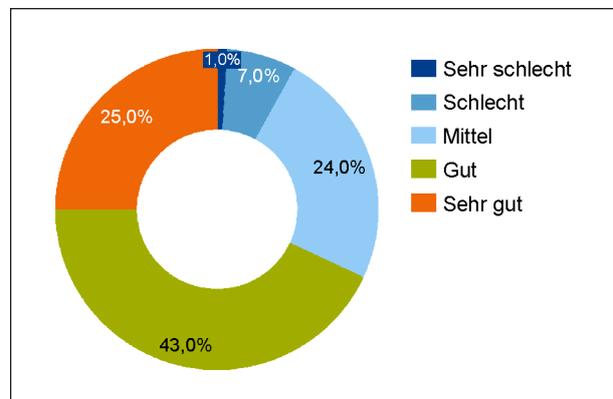


Bild 56: Verständlichkeit der BAG-Ausleitsoftware

Eine weitere interessante Frage, welche sich in den Vordiskussionen zu der Befragung ergab, war, ob die Fahrzeuge auf dem Übersichtsbild der Benutzeroberfläche gut zu erkennen seien. Die Befragung ergab, dass 15,5 %, bzw. 38,5 % das Übersichtsbild als „Sehr gut“ oder „Gut“ bewerteten. Lediglich 2 % und 13 % gaben die Wertung „Sehr schlecht“ und „Schlecht“ (Bild 57).

Die genannten Gründe für die Bewertung sind im Folgenden zusammengefasst dargestellt:

- Fahrzeuge werden zu klein dargestellt.
- Schlechte Verbindung, bzw. zu geringe Datenübertragung.
- Je größer der Bildschirm des Laptops, desto besser sind die Fahrzeuge zu erkennen.
- Höhere Auflösung wäre wünschenswert.
- Witterungsabhängig.

Die Bewertung der Kfz-Kennzeichenerfassung (Kfz-Kennzeichen inkl. Länderkennung) war ein weiterer Untersuchungsgegenstand dieser Befragung. Wie

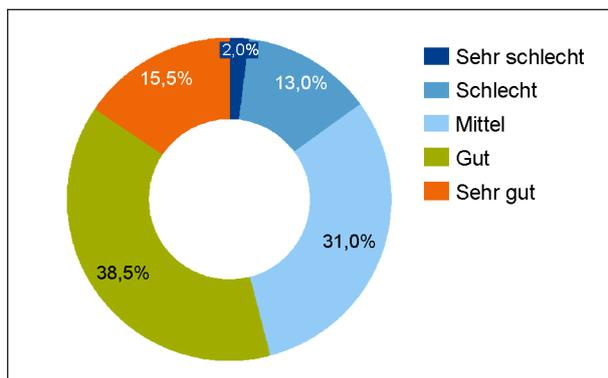


Bild 57: Qualität des Übersichtsbildes der BAG-Ausleitsoftware

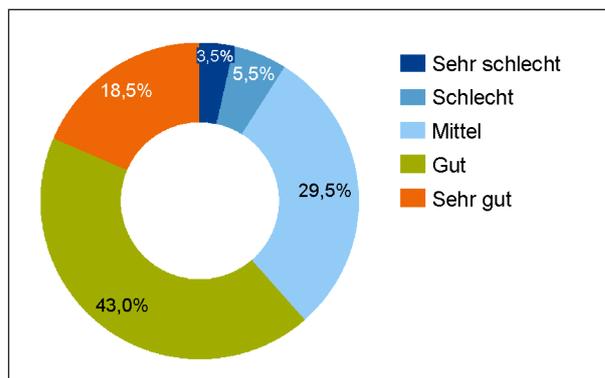


Bild 59: Erkennbarkeit der Kennzeichen zum manuellen Kennzeichenabgleich

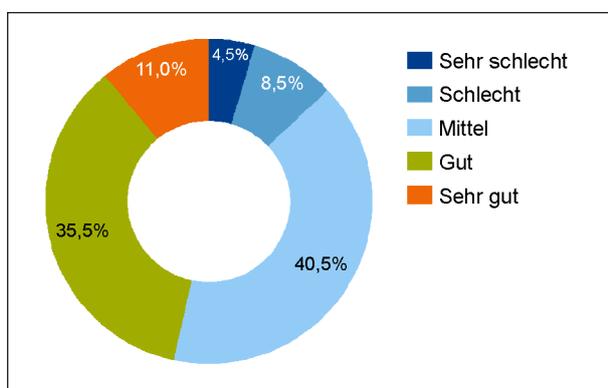


Bild 58: Erkennung der Kfz-Kennzeichenerfassung (Kfz-Kennzeichen und Länderkennung)

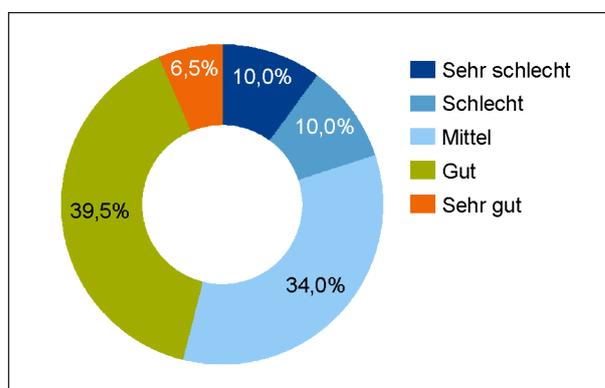


Bild 60: Möglichkeiten zur Filterung auf der Benutzeroberfläche

in Bild 58 zu sehen ist, befanden 11 % bzw. 35,5 % der BAG-Kontrollure die automatisierte Kennzeichenerkennung als „Sehr gut“ oder „Gut“. 8,5 % bzw. 4,5 % der Befragten bewerteten diese als „Schlecht“ oder „Sehr schlecht“.

Ein weiteres Kriterium war die Erkennbarkeit der Kennzeichen zum manuellen Kennzeichenabgleich. Diese wurde von den Befragten mit 18,5 % als „Sehr gut“, 43 % als „Gut“, 29,5 % als „Mittel“, 3,5 % als „Schlecht“ und 3,5 % als „Sehr schlecht“ bewertet (siehe Bild 59).

Die häufigsten Gründe für die Bewertungen werden im Folgenden genauer genannt:

- Bilder sind zu klein und müssen zum Abgleich bei jedem Ausleitvorgang gezoomt werden.
- Auflösung unzureichend bzw. verpixelte Bilder.
- Teilweise erkennt das System Kennzeichen von geladenen Pkw oder auch von ADR-Nummertafeln als Kennzeichen.
- Kennzeichenlesefehler treten manchmal auf; Fehler bei der Nationalitätserkennung viel häufiger.

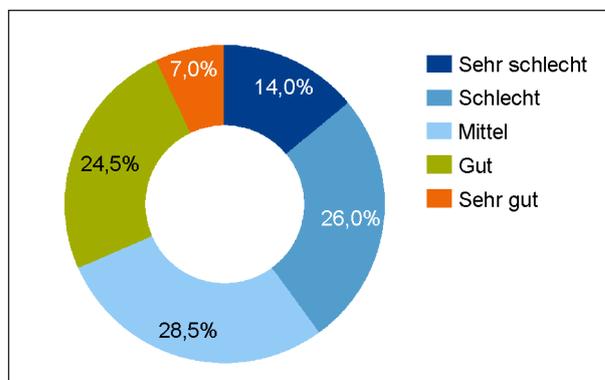


Bild 61: Überwachungsmöglichkeit der Befolgung bzw. Nicht-Befolgung der Ausleitafel

Des Weiteren wurde nach den Möglichkeiten zur Filterung (z. B. Fahrzeugkategorien) auf der Benutzeroberfläche gefragt. 6,5 % der Befragten befanden die Möglichkeiten als „Sehr gut“, 39,5 % als „Gut“, 34 % als „Mittel“, 10 % als „Schlecht“ und 10 % als „Sehr schlecht“ (siehe Bild 60).

Ein weiterer, im Vorlauf zur Befragung viel diskutierter Punkt war die Überwachungsmöglichkeit der Befolgung bzw. Nicht-Befolgung der Ausleitafel bzw. des gesamten Ausleitvorgangs. Bild 61 stellt

die Ergebnisse der Befragung dar. Demnach sehen 7 % der BAG-Kontrolleure die Überwachungsmöglichkeiten als „Sehr gut“, 24,5 % als „Gut“, 28,5 % als „Mittel“, 26 % als „Schlecht“ und 14 % als „Sehr schlecht“ an.

Diejenigen Kontrolleure, welche die Überwachungsmöglichkeiten als verbesserungswürdig ansahen, gaben folgende Probleme an bzw. schlugen folgende Möglichkeiten zur Verbesserung vor:

- Es gibt keine ausreichenden Überwachungsmöglichkeiten.
- Kameragestützte Überwachung wünschenswert, da das Nacheilen nur mit extrem großen Personalaufwand möglich ist.
- Der Mautkontrolldienst kann eine Missachtung der Ausfahraufforderung nicht ahnden.
- Es müsste eine weitere Kamera aufgestellt werden, die den Abschluss des Ausleitvorgangs festhält. Evtl. mit Dokumentation bei Missachtung (Foto).
- Leichtere und gerichtsverwertbare Dokumentation des Ausleitprotokolls.
- Kamera in Fahrtrichtung zur Ausleittafel wünschenswert, Foto/Blitz Dokumentation bei Missachtung der Ausleitung (Beweissicherung).
- Kontrolle von Nicht-Ausfahrern und Registrierung dieser (beim ersten Mal Verwarnung, dann Bußgeld bei vorh. Registration etc.).
- Über die Kamera ist nicht erkenntlich, was die Anzeigentafel tatsächlich anzeigt.
- Kontrollleuchte bei ordnungsgemäßer Funktionalität der Ausleittafel wäre wünschenswert.
- Die Ausleittafel sollte in der StVO als Zeichen aufgenommen werden und somit würde einer Fehlinterpretation entgegengewirkt.
- Kamera im Bereich des Verzögerungstreifens wäre hilfreich.
- Leichtere Dokumentation und vor allem verstehbares Ausleitprotokoll.

Darüber hinaus war die Dokumentation der Nicht-Ausfahrer ein stark diskutiertes Thema. Das BAG-Kontrollpersonal bewertete die derzeit vorhandenen Möglichkeiten zur Dokumentation von Verstößen gegen die Ausleitaufforderung zu 2,5 % mit

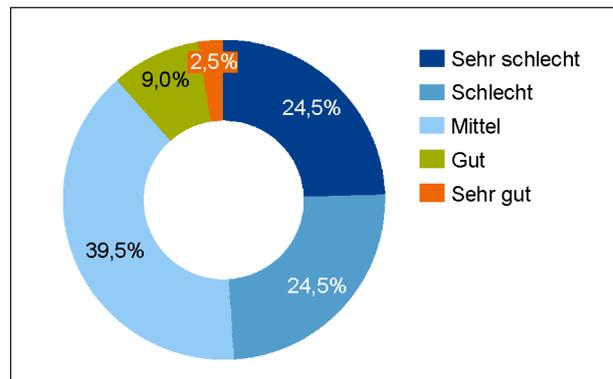


Bild 62: Möglichkeiten zur Dokumentation von Verstößen gegen die Ausleitaufforderung

„Sehr gut“, 9 % mit „Gut“, 39,5 % mit „Mittel“, 24,5 % mit „Schlecht“ und ebenfalls 24,5 % mit „Sehr schlecht“ (siehe Bild 62).

Die Befragten stellten folgendes Verbesserungspotenzial dar:

- Kameragestütztes Verfahren mit Beweisfotos wünschenswert, welche gerichtsverwertbar sind.
- Dokumentation müsste einfacher möglich sein; bei Betätigen eines Knopfs müssten alle erforderlichen Daten automatisch gespeichert werden.
- Die Dokumentation des Schaltvorgang der Ausleittafel muss eindeutiger erkennbar sein.
- Zusätzliches Personal, welches nur für diese Aufgabe eingesetzt wird.
- Bessere Handhabung der gerichtsverwendbaren Daten, die für Kontrollberichte benötigt werden. Sehr umständliche und komplizierte Anwendung.

Die BAG-Kontrolleure bewerteten außerdem die Ansteuerung der Kontrollstellenbeschilderung. Der Großteil der Befragten bewertete diese positiv (16,5 % als „Sehr gut“ und 55 % als „Gut“). Lediglich 7,5 % und 1 % bewerteten die Ansteuerung als „Schlecht“ oder „Sehr schlecht“ (siehe Bild 63).

Gründe für eine schlechte Bewertung der Ansteuerung des Systems waren:

- Eine schlechte, immer wieder abbrechende Verbindung.
- Die Funktion hängt stark von der Funkverbindung ab.

Des Weiteren wurden die Kontrolleure zur Funktion der Datenübertragung und der Verbindung über

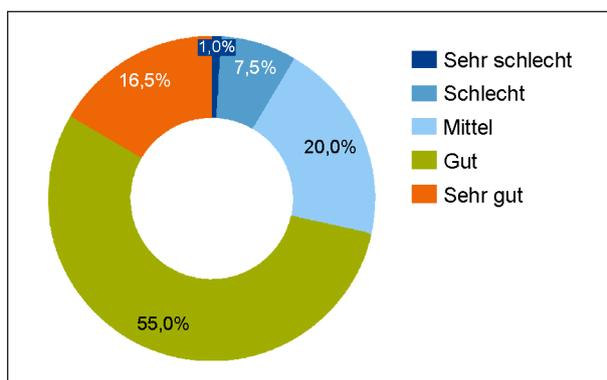


Bild 63: Ansteuerung der Kontrollstellenbeschilderung

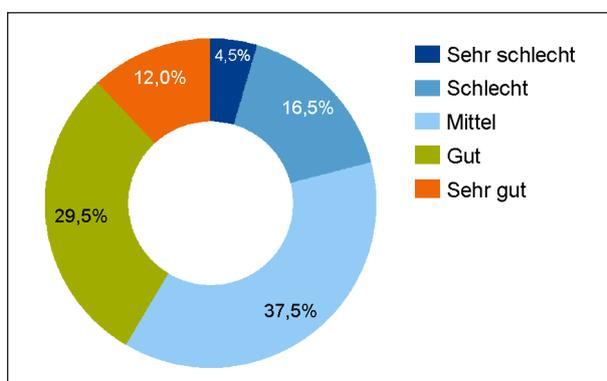


Bild 64: Funktion der Datenübertragung und der Verbindung über WLAN

WLAN befragt. Diese wurde von 12 % als „Sehr gut“, 29,5 % als „Gut“, 37,5 % als „Mittel“, 16,5 % als „Schlecht“ und 4,5 % als „Sehr schlecht“ von den Befragten bewertet (siehe Bild 64).

Gründe für eine schlechte Bewertung waren vor allem folgende:

- Falsche Positionierung der WLAN-Antenne.
- Zu geringe Reichweite des WLAN-Signals.
- Kontrollfahrzeuge müssen mit Sichtkontakt zur Ausfahrspur abgestellt werden, dadurch ist der Abstand des Kontrollfahrzeugs zum Router sehr groß.
- WLAN-Verbindung wird durch geparkte Lkw eingeschränkt (Lkw stehen zwischen Router und Ausleitrechner).
- Verbindung ist wetter- und standortabhängig.
- Schlechter Empfang, zu kurze Reichweite (Fahrzeuge stehen verbotswidrig, um guten Empfang zu haben).

### 5.2.4.2 Allgemeine Kommentare des BAG-Kontrollpersonals

Am Ende des Fragebogens konnten die BAG-Kontrollreure optional weitere Kritik, Verbesserungsvorschläge oder Wünsche äußern. Folgende Punkte wurden hierbei genannt:

- Sprachsteuerung der Ausleitsoftware wäre eine gute Möglichkeit.
- Mehrfache Anzeige von Kennzeichen auf der LED-Tafel sollte möglich sein.
- Visuelle Darstellung für die Erkennung der Fahrzeughöhe und Länge wäre optimal (zumindest zur groben Orientierung).
- Das System sollte grundsätzlich stabiler laufen.
- Zugriff auf Ausleitsystem immer nur durch einen Kontrolleur. Dadurch wird verhindert, dass ein auf der Ausleittafel angezeigtes Kennzeichen eines Lkw, der noch nicht ausgeleitet wurde, durch einen anderen Kontrolleur überschrieben wird.
- Die Möglichkeit, das Programm auf einem der festinstallierten Computer im Fahrzeug benutzen zu können.
- Bei beschlagener Kamera des Kennzeichenerfassungssystems ist ein Auslesen der Fahrzeuge nicht möglich, hier wäre eine Art Spiegelheizung für die kalten Monate hilfreich.
- Eine höhere Benutzerfreundlichkeit in Hinsicht der Beweisführung wäre schön.

## 5.3 Wesentliche Erkenntnisse zur Verbesserung des Gesamtsystems

Eines der Hauptziele der Untersuchungen war, aus den Ergebnissen Erkenntnisse zur Verbesserung des Gesamtsystems abzuleiten. Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse aus den Messungen und Befragungen zusammengefasst.

### 5.3.1 Befragung der Fahrzeugführer

Die Befragung der Fahrzeugführer lieferte bezüglich der Gestaltung der Ausleittafel vor allem die Erkenntnisse, dass eine Animation der Inhalte wünschenswert wäre. Auch die Maximierung der Darstellungsgrößen der verschiedenen Symbole wurde häufig angeregt. Außerdem gab es häufig Verwir-

rung, dass bei der Pulkausleitung nur ein Lkw-Symbol zu sehen ist. Hier bestand der Wunsch, mehrere Lkw-Symbole zu zeigen.

Ein weiteres Thema bei der Befragung der Lkw-Fahrer war die Platzierung der Ausleittafel und ob die Notwendigkeit einer zweiten Ausleittafel besteht. Die Befragungen ergaben, dass die Platzierung in Segment 4 (aktueller Standort) als sinnvoll erachtet wurde. Mehr als die Hälfte der Ausfahrer und Zweidrittel der Nichtausfahrer sprachen sich für eine zweite Ausleittafel aus. Diese sollte, falls diese Möglichkeit in Betracht gezogen wird, vor der bisherigen Ausleittafel angebracht werden (bevorzugt wurden Segment 1 und 2, siehe Bild 33). Bezüglich der Verbesserung der Verständlichkeit und Effektivität des neuen Ausleitverfahrens ergaben die Befragungen, dass vielen Fahrzeugführern nicht klar war, dass es sich um eine aktive Kontrolle (Ausfahraufforderung) handelte. Die Lkw-Fahrer hielten die Ausleittafel teilweise lediglich für einen Hinweis, dass generell eine Kontrolle stattfindet und warteten wie gewohnt auf das BAG-Personal, welches sie zur Ausfahrt auffordert. Es wird daher als sinnvoll erachtet, den Bekanntheitsgrad des Systems unter den Fahrzeugführern weiter zu steigern und die Konsequenzen der Nichtbeachtung stärker zu publizieren. Es war außerdem auffällig, dass Fahrzeugführer aus dem slawischen Sprachraum Probleme mit den Anzeigehalten hatten. Eine Verbesserung der Anzeigehalte vor diesem Hintergrund könnte vielversprechend sein.

### 5.3.2 Befragung des BAG-Kontrollpersonals

Die Befragung des BAG-Kontrollpersonals, welches bereits Erfahrungen mit dem neuen System sammeln konnte, ergab, dass die Ausleittafel derzeit eine zu geringe Akzeptanz unter den Fahrzeugführern hat. Außerdem gaben einige Kontrolleure an, dass sie im Vergleich zum herkömmlichen Ausleitverfahren weniger Kontrolle über das Geschehen hätten und das neue Verfahren zeitintensiver als das alte wäre. Dies liege vor allem daran, dass die Sicht auf die Autobahn vom Kontrollplatz aus nicht immer gegeben wäre. Einige Mitarbeitenden des Mautkontrolldienstes würden eine gesonderte Mautbrücke zur Kontrolle bevorzugen. Es wurde außerdem angemerkt, dass vor allem die Pulkausleitung Gefahren birgt wie Rückstau auf die Autobahn, Überfüllung des PWC, gefährliche Fahrmanöver, häufige Missachtung ohne eine Möglichkeit der Ahndung des Vergehens etc. Ein wichtiger

Punkt in Bezug auf die Individualausleitung war, dass die Ausleitung eines weiteren Fahrzeugs so lange nicht möglich ist, bis der bereits ausgewählte Lkw auch sicher ausgeleitet wurde, da es sonst zu einer „Überschreibung“ des angezeigten Kennzeichens kommen kann.

Darüber hinaus berichteten die BAG-Kontrolleure von ihren Erfahrungen mit den Fahrzeugführern. Sie bemerkten einen sogenannten „Herdentrieb“, welcher entweder alle Fahrzeuge einer Kolonne ausfahren oder vorbeifahren lässt. Auch das Phänomen, dass sich bei der Pulkausleitung nicht alle Fahrzeugführer angesprochen fühlen, wurde häufig beobachtet.

Bezüglich der Gestaltung der BAG Bediensoftware wünschten sich viele Kontrolleure eine Etablierung bzw. Vereinfachung der Beweisführung bei Verstößen gegen die Ausleitaufforderung und eine damit einhergehende Automatisierung der Überwachung von Verstößen. Ergänzend war ein flächendeckender Ausbau des WLAN-Signals auf den Kontrollplätzen ein viel genanntes Thema. Auch die Vergrößerung der Kamerabilder in der BAG-Bedienoberfläche, die Erhöhung der Auflösung zur Erkennung der Kennzeichen sowie die Erkennung von ADR-Tafeln als Kennzeichen wurde häufig erwähnt. Ein weiterer wichtigerer Aspekt war die Verbesserung der Zuverlässigkeit der Ansteuerung der Ausleittafel und die Möglichkeit zur Überprüfung der Anzeigehalte. Hier wurde vor allem in Zusammenhang mit der lückenlosen Beweisführung von Verstößen eine Überwachungsmöglichkeit der aktuellen Anzeigehalte auf der Ausleittafel und eine Erhöhung der Verständlichkeit des Ausleitprotokolls gefordert.

## 6 Technische Bewertung der Ausleittechnik

Nach Installation aller 5 Pilot-Kontrollplätze hat der geplante Pilotbetrieb im Sommer 2018, beziehungsweise A1 Ellerbrook im Januar 2020 (Anm.: Aufgrund von Verzögerungen zur Inbetriebnahme der Vorbeschilderung konnte der operative Betrieb erst im April 2021 beginnen), begonnen. Dessen Ziel ist es, die technische Qualität, Praktikabilität und Effizienz der eingesetzten Technik im laufenden Betrieb zu testen und zu bewerten.

Hierbei ist zu differenzieren zwischen

1. den technischen Funktionalitäten der Systeme und Ihrer Komponenten,
2. der Praktikabilität auf Seiten der Kontrolleure des BAG sowie
3. der Wirksamkeit in Bezug auf die auszuleitenden Lkw.

Die technische Evaluierung befasst sich insbesondere mit dem Bereich 1, aber teilweise auch dem Bereich 2, insbesondere wegen der BuV-Software. Der Bereich 3 soll hier nicht weiter betrachtet werden, dieser ist Gegenstand der Untersuchung vom Lehrstuhl für Verkehrstechnik und dem Lehrstuhl für Ergonomie der TU München.

Alle 5 Pilot-Kontrollplätze sind in Betrieb und werden für Standkontrollen des BAG genutzt (Tabelle 12).

Die technischen Bewertungen umfassen alle 5 Kontrollplätze, allerdings mit den oben aufgeführten fachlichen Einschränkungen.

Die hier zu bearbeitende technische Evaluierung des Systems „Sicheres Ausleiten bei Standkontrollen des BAG“ befasst sich mit verschiedenen Themenfeldern, welche sich im Laufe der Umsetzung der Systeme und des beginnenden Pilotbetriebs herauskristallisiert haben. Die Evaluierung umfasst die folgenden Themenfelder:

- Qualität der ANPR-Erfassung: spezielle Fragestellungen.
- Qualität der Datenübertragung: für Mobilfunk, WLAN und LWL, soweit möglich: Bandbreiten, Latenzzeiten, Verfügbarkeit.
- Qualität der Anzeige: Technische Bewertung, Verfügbarkeit des Systems.
- Qualität und Dauerhaftigkeit der Energieversorgung.

BAB A1	KontP Ellerbrook	Kennzeichen- und Pulkausleitung.
BAB A2	KontP Allenstein	Nur Pulkausleitung (keine Vorerfassung)
BAB A3	KontP Theisstal	Kennzeichen- und Pulkausleitung.
BAB A9	KontP Sophienberg	Kennzeichen- und Pulkausleitung.
BAB A10	KontP Schieferberg	Kennzeichen- und Pulkausleitung.

Tab. 12: Umfang der Standkontrollen im Pilotbetrieb „Sicheres Ausleiten“

Hierzu wurde eine technische Untersuchungsmethodik inklusive Erfassungsinhalte für die oben aufgeführten Themenfelder entwickelt, die im Folgenden dargestellt wird. Alle Arbeiten erfolgten in enger Abstimmung mit dem BAG.

## 6.1 Technische Bewertung und Optimierung der Kennzeichenerkennung

### 6.1.1 Methodik

Ziel dieses Teils der Evaluierung ist die technische Bewertung der Kennzeichenerkennung. Dazu gehören insbesondere Detektionsraten, Leseraten Kennzeichen, Zuordnung Kennzeichen zu Lkw im Übersichtsbild, Anteile Lkw, Pkw mit Anhänger und Busse an der Gesamtdetektion. Da die Qualität der ANPR-Detektion von der Witterung abhängig ist, wurden in Abstimmung mit dem BAG und der BASt sinnvolle Witterungsszenarien berücksichtigt.

Hierzu wurden Videosequenzen von den vier Kontrollplätzen mit ANPR-System von maximal je 30 Minuten/Standort und Witterungsszenario erhoben. Dabei wurden die folgenden Szenarien berücksichtigt:

- Szenario 0 hell-trocken,
- Szenario 1 hell-Nässe,
- Szenario 2 Dunkelheit-trocken,
- Szenario 3 Dunkelheit-Nässe.

Die Analyse erfolgte manuell aus den Mitschnitten der Videostreams. Dabei wurden Kennzeichenbild und angezeigter Textstring sowie das Landeskürzel miteinander verglichen und daraus Abweichungen ermittelt. Parallel wurde anhand des Videostreams geprüft, ob das richtige Fahrzeug, hier der Lkw auf dem rechten Fahrstreifen, erfasst wurde.

Die Erkennung der Landeskürzel und des korrekten Fahrzeugs war im Szenario Dunkelheit-Nässe nicht immer zweifelsfrei gegeben. Kleinere Fehler sind daher nicht auszuschließen, die generelle Aussagekraft der Analyse wird dadurch jedoch nicht beeinträchtigt.

Bewertungskriterien für die Qualität der ANPR-Erfassung sind:

- Detektionsrate: Anteil der erkannten an allen Kennzeichen,
- Leserate: Anteil der korrekt gelesenen an allen erkannten Kennzeichen,
- Fehlerrate: Anteil der nicht erkannten oder nicht korrekt gelesenen Kennzeichen an allen erkannten Kennzeichen.

Bei der Auswertung wurde separat der Anteil schlecht erkennbarer Länderkennzeichen, zum Beispiel RUS, IT, TR, ermittelt. Insgesamt gab es nur circa 15 Lkw (von ca. 2.900 Lkw insgesamt) an allen Kontrollplätzen mit diesen Länderkennzeichen, sodass keine Analyse durchführbar war. Sie wurden aber tendenziell sehr schlecht detektiert.

**6.1.2 Ergebnisse Bewertung ANPR**

Aus Erfahrungen in anderen Projekten wurden vorab folgende Qualitäts-Kennwerte unabhängig vom Szenario formuliert (vergleiche Anlage A1.1):

- Detektionsrate Kennzeichen/Fahrzeuge:  $\geq 90\%$
- Leserate:  $\geq 95\%$

Die Anforderungskriterien sollen sicherstellen, dass ein Großteil der Fahrzeuge detektiert wird und nur bei einer kleinen Anzahl von Fahrzeugen das Kennzeichen durch Kontrolleure vor einer Aufschaltung manuell korrigiert werden muss.

KontP	Szenario	Anzahl Fzg real	Anzahl Fzg erkannt	Detektionsrate
A1 - Ellerbrook-W	0	244	243	99,59 %
A1 - Ellerbrook-W	1	243	232	95,47 %
A1 - Ellerbrook-W	2	160	158	98,75 %
A1 - Ellerbrook-W	3	87	79	90,80 %
A3 - Theistal-W	0	159	150	94,34 %
A3 - Theistal-W	1	270	257	95,19 %
A3 - Theistal-W	2	141	141	100,00 %
A3 - Theistal-W	3	194	189	97,42 %
A9 - Sophienberg-W	0	188	183	97,34 %
A9 - Sophienberg-W	1	179	165	92,18 %
A9 - Sophienberg-W	2	122	113	92,62 %
A9 - Sophienberg-W	3	119	109	91,60 %
A10 - Schieferberg-S	0	133	128	96,24 %
A10 - Schieferberg-S	0	113	102	90,27 %
A10 - Schieferberg-S	0	193	153	79,27 %
A10 - Schieferberg-S	1	115	95	82,61 %
A10 - Schieferberg-S	2	110	102	92,73 %
A10 - Schieferberg-S	3	124	10	8,06 %
<b>Summe/Mittelwert</b>		<b>2.894</b>	<b>2.609</b>	<b>90,15 %</b>

Bild 65: Detektionsraten der ANPR an allen Kontrollplätzen mit Vorerfassung

Die Anlage B1.1 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse der ANPR-Analyse, die Anlagen B1.2 bis B1.5 die Einzelergebnisse für die 4 Kontrollplätze mit Vorerfassung. Insgesamt waren real circa 2.900 Fahrzeuge vorhanden, von denen circa 2.610 erkannt wurden. Das entspricht einer Detektionsrate circa 90,2 %. Am KontP A10 Schieferberg wurden – da die Ergebnisse uneinheitlich waren – im Szenario 0 zur Sicherheit mehrere Messreihen durchgeführt.

In Bild 65 ist zu erkennen, dass die Detektionsraten an fast allen Kontrollplätzen und bei allen Szenarien zum Teil deutlich über der Mindestanforderung von 90 % lagen. Kritisch ist das Szenario 3. Hier fällt insbesondere der Kontrollplatz A10 Schieferberg-S negativ auf. Beim Szenario 3 wurden kaum noch Kfz-Kennzeichen erkannt. Begründet ist dies durch die Extrem-Situation mit starkem Regen und Sprühhahnen in Verbindung mit der an dem Standort verbauten Betonfahrbahn. Daher wurde dies als Ausreißer gewertet.

Hinsichtlich der Leseraten der Kennzeichen (vgl. Bild 66) schwankten die Werte, ohne den oben aufgeführten Ausreißer Kontrollplatz A10 Szenario 3, zwischen 78 und 96 %. Die Mindestanforderung einer Leserate von  $\geq 95\%$  wurde nur selten erreicht. Daher wird empfohlen bei zukünftigen Systemen eine Leserate von mindestens 90 % zu fordern. Die Leserate korrespondiert mit der Leserate der Länderkennzeichen; wenn diese nicht erkannt wurden,

KontP	Szenario	Anzahl Kennzeichen erkannt	Anzahl Kennzeichen korrekt gelesen	Leserate
A1 - Ellerbrook-W	0	243	222	91,36 %
A1 - Ellerbrook-W	1	232	223	96,12 %
A1 - Ellerbrook-W	2	158	138	87,34 %
A1 - Ellerbrook-W	3	79	69	87,34 %
A3 - Theistal-W	0	149	137	91,95 %
A3 - Theistal-W	1	263	225	85,55 %
A3 - Theistal-W	2	145	134	92,41 %
A3 - Theistal-W	3	194	178	91,75 %
A9 - Sophienberg-W	0	194	180	92,78 %
A9 - Sophienberg-W	1	178	164	92,13 %
A9 - Sophienberg-W	2	121	111	91,74 %
A9 - Sophienberg-W	3	119	93	78,15 %
A10 - Schieferberg-S	0	151	140	92,72 %
A10 - Schieferberg-S	0	98	94	95,92 %
A10 - Schieferberg-S	0	148	138	93,24 %
A10 - Schieferberg-S	1	102	90	88,24 %
A10 - Schieferberg-S	2	137	126	91,97 %
A10 - Schieferberg-S	3	10	1	10,00 %
<b>Summe/Mittelwert</b>		<b>2.721</b>	<b>2.463</b>	<b>90,52 %</b>

Bild 66: Kennzeichen-Leseraten der ANPR an allen Kontrollplätzen mit Vorerfassung

interpretierte der Algorithmus auch die Kennzeichen falsch.

Insgesamt ist die Qualität des ANPR-Systems aber für die Anforderungen des "Sicheren Ausleitens" als gut bis sehr gut zu bezeichnen.

Es wurden folgende systematische Fehler visuell erfasst:

- Bei gleichzeitigem Passieren des Aufnahmepunktes durch einen Lkw und einem 2. Fahrzeug auf der Überholspur wird manchmal das Fahrzeug auf der Überholspur erfasst. Dieser Effekt trat insbesondere am Kontrollplatz A10 Schieferberg und tagsüber auf. Der Grund ist wahrscheinlich der starke Schattenwurf im Bild bei Sonnenschein (Szenario 1) durch die naheliegende Brücke über die BAB. Ein Lösungsvorschlag wäre, dass das System über angepasste Erfassungsbereiche – Trapez anstatt Rechteck – selektieren muss.
- Einzelne Fahrzeugdatensätze wurden in der Bildlaufleiste der Bedienanwendung mehrfach (bis zu 3 x) dargestellt. Dies trat an allen vier Kontrollplätzen speziell bei Dunkelheit auf.



Bild 67: Beispiel Kontrollplatz A10 Schieferberg: Erfassung Kfz auf FS 2

Zeit	ANPR	CCTV
14:25:49		
14:25:48		

Bild 68: Beispiel Kontrollplatz A10 Schieferberg: Doppel-Erfassung Lkw auf FS 1

- Lösungsvorschlag: Das System muss dasselbe Kennzeichen innerhalb eines parametrierbaren Intervalls (z. B. 5 s) verwerfen.
- Gefahrguttransporte haben an der Fahrzeugfront in vielen Fällen eine orangene ADR-Tafel. Von dem ANPR-System wird die ADR-Tafel manchmal (Fälle < 20 an allen Kontrollplätzen) als Kennzeichen detektiert und gelesen.
- Lösungsvorschlag: Die ANPR-Software muss über Form, Farbe und Lage am Fahrzeug eine ADR-Tafel von Kennzeichen unterscheiden können.

## 6.2 Technische Bewertung und Optimierung der Datenkommunikation

Im Kapitel 6.2 werden die Ergebnisse der technischen Bewertung der Datenkommunikation und falls nötig Ansätze bzw. Vorschläge zu deren Optimierung aufgezeigt.

### 6.2.1 Methodik zur Bewertung Datenkommunikation

Die technische Bewertung der Qualität der Datenkommunikation erfolgte für folgende Systeme und Technologien:

- LWL für Kontrollplatz A1 und A9,
- Mobilfunk für Kontrollplatz A2, A3 und A10,
- Mesh-Netzwerk für Kontrollplatz A1 (keine Messungen, aber verhält sich ähnlich wie WLAN)
- WLAN für alle 5 Kontrollplätze.

Ziel ist neben der Bewertung eine Empfehlung für die zukünftige Ausgestaltung der Kontrollplätze und Standorte der BAG-SSt 3 und Lkw-Kontrollbereiche.

Hinsichtlich des WLAN-Empfangs werden Möglichkeiten aufgezeigt, sodass dieser weiträumig und stabil gegeben ist. Ziel soll sein, dass das Kontrollpersonal nicht auf einen eng eingegrenzten Bereich zur Bedienung der Anlagentechnik beschränkt ist.

Die Bewertung erfolgte hinsichtlich folgender Kriterien:

- Latenzzeiten: Dauer von der Erfassung eines Lkw bis zur Anzeige in der BuV.

- Bandbreiten der Mobilfunk-Verbindungen.
- Darstellung der Kontinuität der Verbindungen als Vergleich von sechs Messungen.
- Herausarbeitung der Auswirkungen der Verbindungsqualität auf die Laufzeit der Videostreams und Daten sowie Auswirkungen auf die Reaktionszeit.
- Überprüfung der Übertragungsdauer der Video- und Dateninformationen im Vergleich mit der Fahrtdauer der Fahrzeuge zu Klärung der Frage, welche Reaktionszeit dem Kontrollpersonal zur Schaltung der Ausleitung noch verbleibt.
- Reichweite des WLAN auf dem Kontrollplatz.
- Qualität des Mesh-Netzwerks am Kontrollplatz A1 für die Vorbeschilderung.

Analysiert werden die drei Standorte Vorerfassung, BAG-ALT und BAG-SSt 3 für jeweils sechs Messungen innerhalb einer Stunde. Hierbei wurden die Kontrollplätze mit Mobilfunk (A2, A3 und A10) betrachtet, insgesamt wurden ca. 5,2 GByte Daten übertragen.

Die Messungen wurden direkt auf den für die Datenkommunikation relevanten Geräten durchgeführt. Maßgeblich für die Funktion der Datenkommunikation ist das verbaute LTE-Modem, der Switch sowie der WLAN-Accesspoint, um die tatsächliche Situation am Kontrollplatz zu erfassen. Feldstärke- und Qualitätsmessungen der Mobilfunkverbindungen mit externen Scannern waren kein Bestandteil der Untersuchungen.

Es wurden mit den auf dem Datenkommunikationsgerät verfügbaren Anwendungen folgende Daten ermittelt und protokolliert:

- Latenzzeit
- Qualität der DK: Paketverluste/Paket-Error
- WLAN Feldstärke am Access-Point

Für die Durchführung der Messungen war jeweils ein Remote-Systemzugang mit Administratorrechten erforderlich.

Die Messwerte wurden direkt auf den Datenkommunikationsgeräten über eine webbasierte Anwendung erfasst, um keine Beeinflussung durch den PC der Prüfer zu erhalten.

Zusätzlich wurden am Kontrollplatz A9 Sophienberg analoge Messungen für die dort eingesetzte LWL-DK durchgeführt.

Beispiel für Prüfung der DK der LWL – Switch (Typ: EDS-510A-1GT2SFP-T):

- Test der Datenkommunikation über Logfiles der Switche
- Ping – Test zur Ermittlung der Latenz und Qualität der Datenkommunikation

Beispiel für Prüfung der DK der LTE – Router (Typ: AWK 3131):

- Webbrowser-Konsole (Web Console Configuration)
- Ping – Test zur Ermittlung der Latenz und Qualität der Datenkommunikation
- WLAN – Status

Die Qualität des Mesh-Netzwerks am Kontrollplatz A1 für die Vorbeschilderung wurde nur qualitativ bewertet, da kein Messequipment hierfür verfügbar war.

## 6.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die technische Bewertung der Qualität der Mobilfunk-DK liefert folgende Ergebnisse:

### 6.2.2.1 Latenzzeit

Die Latenzzeiten lagen zwischen 0,6 ms, direkt innerhalb der BAG-SSt 3 zwischen dem WLAN–Router und dem LTE–Modem und 164,2 ms zwischen dem WLAN–Router und dem Standort der BAG-ALT beziehungsweise der Vorerfassung. Die Latenzzeiten innerhalb der BAG-SSt 3 sind somit marginal.

Die gemessenen Latenzzeiten (vgl. Bild 69):

- Säule links: Erfassung – BAG-SSt 3

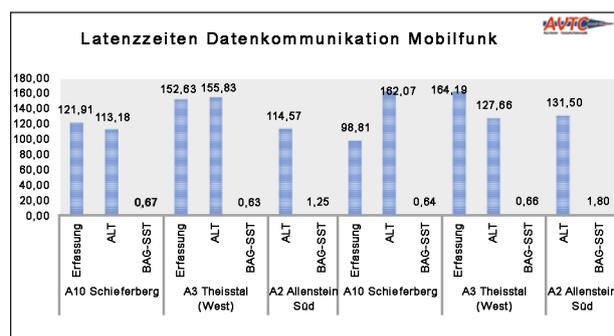


Bild 69: Latenzzeit-Messungen Mobilfunk

- Säule Mitte: BAG-ALT – BAG–SSt 3
- (zur Info Säule rechts: innerhalb der BAG-SSt 3)

entsprechen zu 75 % den für die Übertragungsverfahren LTE und HSDPA vorgegebenen Werten von 15-80 ms (LTE) und 80-140 ms (HSDPA), die längeren Latenzzeiten erfüllen noch die Kriterien für die Latenzzeit der UMTS-Datenübertragung von 200-400 ms. In Bild 69 sind Ergebnisse von jeweils zwei unabhängigen Messungen an den Kontrollpunkten dargestellt.

### 6.2.2.2 Paketverluste zwischen BAG-SSt 3 – BAG-SSt 2 und BAG-SSt 1

Bei den durchgeführten Messungen wurden bei keiner der Messungen zwischen der BAG-SSt 3 und der BAG-ALT (BAG-SSt 2) beziehungsweise der Vorerfassung (BAG-SSt 1) Paketverluste festgestellt. Gemäß der gemessenen Werte lag an den Messtagen eine stabile Datenkommunikation vor. Anlage B2.1 enthält die Tabelle der Erfassung der Latenz und Paketverluste.

### 6.2.2.3 WLAN-Reichweite

Die Reichweite des WLAN auf dem Kontrollplatz ist stark von der Abschirmung durch beispielsweise parkende Lkw abhängig. Der Bediener der Ausleittechnik ist im Kontrollfahrzeug positioniert. Daher ist die Wahl einer Aufstellfläche des Kontrollfahrzeugs mit direktem Sichtkontakt zur BAG-SSt 3 erforderlich.

Im Ergebnis sind gemäß den Erfahrungen auf den Kontrollplätzen Reichweiten von ca. 15 bis 50 m bei Einbau einer Rundstrahlantenne in den Schrank der BAG-SSt 3 zu erwarten. Der untere Wert ergibt sich bei Verdeckung der Sichtbeziehung Kontrollfahrzeug – BAG-SSt 3 durch parkende Lkw, der obere bei freier Sicht.

Lösungen zur Optimierung:

- Einsatz von Antennen mit gerichteter Abstrahlcharakteristik, Montage außerhalb des SSt-Schranks. Dies erhöht die Reichweite ohne Verdeckung, macht aber nur Sinn bei entsprechender Geometrie des Kontrollplatzes. Dies wurde beim Kontrollplatz A10 getestet; somit konnte die Reichweite deutlich erhöht werden.
- Hilfreich wäre auch eine Außenantenne an den BAG-Kontrollfahrzeugen, um die Abschirmung durch den Wagenkasten zu vermeiden.

- Vor diesem Hintergrund ist für eine großflächige WLAN-Ausleuchtung des kompletten Kontrollplatzes zukünftig der Einsatz von WLAN-Access-Points als Mesh-Netzwerk vorzusehen

### 6.2.2.4 Überprüfung der Übertragungsdauer der Video- und Dateninformationen

Die Überprüfung der Übertragungsdauer der Video- und Dateninformationen dient im Vergleich mit der Fahrdauer der Fahrzeuge von der Vorerfassung (BAG-SSt 1) bis zur BAG-ALT (BAG-SSt 2) der Ermittlung der verfügbaren Reaktionszeit des Kontrollpersonals für den Start des Ausleitvorgangs.

Die Zeit von der Aufnahme und Kennzeichenerfassung (BAG-SSt 1) bis zum Passieren der Überwachungskamera an der BAG-ALT beträgt mindestens 0:38 min und maximal 1:33 min, im Schnitt über alle 4 Kontrollplätze mit Vorerfassung 01:04 min (vgl. Tabelle 13). Sie ist im Wesentlichen abhängig vom Abstand der Vorerfassung zur BAG-ALT, da die Lkw-Geschwindigkeiten meist ähnlich sind.

Bei einer sinnvollen Reaktionszeit der Kontrolleure von mindestens 30 s und einer maximalen Lkw-Geschwindigkeit von real 90 km/h (= 25 m/s) sollte der Abstand der Vorerfassung von der BAG-ALT mindestens 800 m betragen. Hierbei ist berücksichtigt, dass die Sichtbarkeit der BAG-ALT für die Fahrzeugführer vor Erreichen des Standortes gegeben sein muss.

Bei der Konfiguration mit einer BAG-ALT auf circa 250 m vor dem Bezugspunkt ist die Vorerfassung dementsprechend mindestens 1.050 m vor dem Bezugspunkt aufzubauen, damit der Fzg-Führer

PWC	Mittelwerte		Fahrzeit (min)	Abstand (m)
	von	bis		
	(Videozeiten)			
A1 Ellerbrook	10.02.2020, 08:35	10.02.2020, 09:03	00:38	925
A3 Theiſtal	01.04.2019, 12:20	01.04.2019, 12:30	01:07	1.625
A9 Sophienberg	01.07.2019, 12:25	01.07.2019, 12:55	01:33	2.200
A10 Schieferberg	01.04.2019 11:20	01.04.2019 11:30	00:58	1.400
<b>Anzahl</b>	<b>30</b>	<b>Mittelwert vier PWC</b>	<b>01:04</b>	<b>1.540</b>

Tab. 13: Fahrzeiten Vorerfassung – BAG-ALT

das angezeigte Kennzeichen noch erkennen kann. Werden zwei BAG-ALT auf 700 und 300 m vorgesehen, ist die Vorerfassung mindestens 1.500 m vor dem Bezugspunkt aufzubauen. Der Bezugspunkt ist definiert als die Stelle, an der Verzögerungsstreifen seine volle bauliche Breite erreicht hat.

Die Latenzzeit hat keine Auswirkungen auf die Übertragung des Videostreams. Da die Anlaufzeit des Systems einen Zeitraum von 2-3 Minuten in Anspruch nimmt und erst nach Verbindungsaufbau zwischen dem WLAN des BAG-Laptops und Kamera/Web-Relay erfolgen kann, ist die Zeit des Verbindungsaufbaus mit bis zu 165 ms gegenüber dem Hochfahrzeitraum der Beobachtungs- und Kontrollkamera als unerheblich anzusehen.

Durch die DK bedingte Verbindungsabbrüche oder -ausfälle traten bei den Messungen nicht auf, sodass von stabilen Verbindungen während der Testphase ausgegangen werden kann.

#### 6.2.2.5 Feldstärke der LTE- Versorgung

Die Feldstärke der LTE-Versorgung wurde mittels der im LTE-Modem integrierten Feldstärkeanzeige ermittelt. In der Anlage B2.2 sind die gemessenen Werte im Vergleich zu den standardisierten ASU<sup>1</sup>-Klassen für die Empfangsstärken auf den Kontrollplätzen dargestellt.

Es wurden Werte zwischen -71 und -59 dBm festgestellt. Das entspricht den Anforderungen an stabile und witterungsbeständige Verbindungen.

#### 6.2.2.6 Bewertung des Mesh-Netzwerks zur Kommunikation mit der Regelbeschilderung

Am Kontrollplatz A1 Ellerbrook erfolgt die Kommunikation von den leitungsgebunden mittels LWL angeschlossenen Komponenten (BAG-SSt 1 Vorerfassung 1500 m, BAG-SSt 2 bei BAG-ALT und BAG-SSt 3 zu den nebenliegenden und im Mittelstreifen errichteten PW über ein Mesh-Funk-Netzwerk (vgl. Kapitel 2.3.3).

Die Verfügbarkeit des Mesh-Funknetzwerks wurde nach Inbetriebnahme über eine qualitative, stichprobenhafte Analyse des TLS-Archivs für das Gesamtsystem bewertet. Dabei stellte sich heraus, dass es im Mesh-Netzwerk auf unterschiedlichen Verbindungen, zu differierenden Zeiten und mit verschiedenen Dauern zu Abbrüchen der Verbindung kam. Auch durch Anpassung der Netzwerk-Konfiguration und Verbesserung der Antennen (gerichtete statt runder Abstrahlcharakteristik) konnte der Fehler zwar reduziert aber nicht behoben werden.

Das gesamte Ausleitsystem kann die über die BuV nur geschaltet werden kann, wenn alle Anzeigen erreichbar und funktionsfähig sind. Daher war die Verfügbarkeit des „Sicheren Ausleitens“ häufig nicht gegeben.

Die Technik ist offensichtlich sehr komplex, Aufbau und Inbetriebnahme sind wenig fehlertolerant und steht einem zuverlässigen Betrieb und kurzen Inbetriebnahme-Zeiten entgegen.

Vor diesem Hintergrund wird nach jetzigem Stand der Technik empfohlen, die Regelbeschilderung per Kabel (Lokal-LWL) an die BAG-SSt 1 (Vorerfassung), BAG-SSt 2 (BAG-ALT) und BAG-SSt 3 anzubinden. Wenn die PW der Regelbeschilderung wie empfohlen auch mittels Kabel an die EV angebunden werden, erfordert die Ergänzung einer LWL-Leitung nur noch wenig Mehraufwand.

### 6.3 Technische Bewertung und Optimierung der Anzeige

Ziel dieses Evaluierungs-Schrittes ist die technische Bewertung der Qualität der Anzeige und der Abgleich mit Anforderungen relevanter Richtlinien (insbesondere DIN EN 12966-2019). Das Ziel ist, Maßnahmen zur Optimierung der Anzeigen und des Energiebedarfs aufzuzeigen. Folgende Parameter werden auf Basis der Projektunterlagen (von der auftragsausführenden Unternehmung) und Auswertungen von Anlagendaten geprüft:

- Größe der Anzeigeeinhalte und der BAG-ALT → Vorschläge der TU München. Hierdurch ergeben sich zusammen mit der Schriftgröße Mindestmaße der Anzeigen (s. u.). Die Anlagen B4.3 und B4.4 zeigen die endgültige Gestaltung der BAG-ALT 1 und 2 unter Beachtung der folgenden technischen Randbedingungen.

<sup>1</sup> Arbitrary Strength Unit: Eine standardisierte, für Gerätehersteller relevante Angabe zur grafischen Darstellung in Geräteoberflächen (Balkendiagramm).

- Farben: bisher weiß, zukünftig RGB (rot, grün, blau). Blau als Hintergrund ist sehr auffällig, Aufmerksamkeit der Lkw-Fahrer wird erhöht, analog zu Tafeln für Seitenstreifenfreigabe.
- Anzeigedynamik: Bewegte Fzg-Symbole oder Pfeile waren bisher nicht vorgesehen, dynamische Elemente bis zu 5 Frames/sec sind aber technisch möglich.
- Wegen der frühzeitigen Lesbarkeit der Anzeigen sind Schriftgrößen von mindestens 240 mm visuell vorgesehen. Dies entspricht technisch einer Größe von 210 mm wegen der Überstrahlung der Pixel. Diese Schriftgröße sollte nach den Befragungen der TUM und um die Anzeigenbreite zu optimieren nicht geändert werden.
- Das Rastermaß der Pixel von 20 mm hat sich als Standard etabliert.
- Abgleich mit den Anforderungen der Straßenverkehrsbehörden bezüglich Inhalten, Pfeilen etc. und DIN EN 12966-2019:
  - Leuchtdichte: Stufe L3,
  - Horizontaler/vertikaler Abstrahlwinkel (beam): bei Seitenaufstellung: B6,
  - Farbkoordinaten (colour): Stufe C2 und
  - Kontrastverhältnis (luminance ratio): R3.
- Die heutigen BAG-ALT erfüllen diese Anforderungen bereits.
- Die Größe der BAG-ALT ergibt sich in Höhe und Breite aus den nach Prüfung durch die TUM vorgesehenen Inhalten sowie der Schriftgröße. Insbesondere die Breite ist wegen potenzieller Hindernisse am FB-Rand möglichst auf maximal circa 2,5 m zu beschränken. Für die BAG-ALT 1 und 2 ist nunmehr bei einer Schriftgröße von 210 mm eine LED-Matrix der Größe B x H = 2,4 x 3,0 m vorgesehen.

#### 6.4 Technische Bewertung und Optimierung der Energieversorgung

Ziel der technischen Bewertung der Energieversorgung ist die Untersuchung, inwiefern die derzeitige Ausgestaltung zur Art der Energieversorgung der Anlagentechnik sach- und anforderungsgerecht ist. Zudem wird eine Empfehlung für die zukünftige

Ausgestaltung der Energieversorgung ausgesprochen. Dem Charakter eines Pilotbetriebs entsprechend wurde sowohl die netzgebundene als auch die autarke Form der Energieversorgung eingesetzt und evaluiert.

Die Energieversorgung der BAG-SSt 3 auf dem Kontrollplatz erfolgt aus Gründen der Betriebssicherheit netzgebunden. Der Anschlussaufwand hierfür ist gering, da auf dem PWC/Kontrollplatz immer netzgebundene Energieversorgung verfügbar ist.

Entsprechend der Darstellung in Tabelle 1 wurde die autarke Form der Energieversorgung auf Basis von Solarstromversorgung für die Vorerfassung sowie der BAG-ALT an ausgewählten Standorten eingesetzt und in Hinblick auf die Eignung untersucht.

Am Kontrollplatz A3 Theißtal, wird die Vorerfassung autark mit Energie versorgt. Am Kontrollplatz A2 Al-lenstein, wird die BAG-ALT autark mit Energie versorgt.

Im Lastenheft für den Pilotbetrieb wurde die Annahme getroffen, dass die Verfügbarkeit der Anlagentechnik bei autarker Energieversorgung für die Kontrolltätigkeit 3-mal pro Woche für jeweils 8 Stunden gegeben sein muss. Allerdings müssen bestimmte Komponenten der Ausleittechnik wie zum Beispiel die Mobilfunk-Router fortlaufend mit Energie versorgt werden.

Bei dem Einsatz einer Solarstromversorgung ist zu berücksichtigen, dass der Standort geeignete Randbedingungen erfüllt. An den genannten Standorten an der A2 und der A3 sind die Randbedingungen aufgrund von hohen Böschungen, angrenzender Bewaldung sowie genereller Schattenlage ungünstig.

Die Möglichkeit der Rodung von Bewuchs zur Verbesserung des Sonneneinfalls ist aus Gründen des Naturschutzes regelmäßig eine Herausforderung und praktisch kaum möglich. Zudem ist dies eine Arbeit, die regelmäßig durchgeführt werden muss und Aufwand verursacht.

Vor dem Hintergrund eines dauerhaft zuverlässigen Betriebs unter Berücksichtigung der oben getroffenen Annahme zur Verfügbarkeit, auch während der dunklen Jahreszeit und länger anhaltenden Phasen ohne Sonnenlicht, war von Seiten der auftragsausführenden Unternehmung ein Konzept zur EV zu erarbeiten. Zu berücksichtigen war zudem, dass die

Systeme zur DK wie zum Beispiel Mobilfunkrouter sowie Switches für das Absetzen von Statusmeldungen und die periodische Aktivierung der Kamertechnik fortlaufend Energie benötigen und nicht nur während des aktiven Kontrollzeitraums.

Ergebnis des Konzeptes zur Energieversorgung war, dass die Versorgung allein auf Basis von Solarstromversorgung keinen stabilen Betrieb ermöglicht. Auf Basis des Ergebnisses wurde beschlossen, die autarke EV allein auf Basis von Solarstromversorgung an beiden Standorten durch zusätzliche Brennstoffzellen auf Methanolbasis aufzurüsten. Die Methanoltanks sind im Rahmen der Wartung und bei niedrigem Füllstand zu ersetzen. Bisher (Jan. 2021) erfolgte am KontP A2 Allenstein seit Inbetriebnahme des Systems im Juni 2017 1x der Tausch des Methanoltanks (an der BAG\_ALT), am KontP A3 Theißtal war seit Juli 2017 kein Tausch (an der Vorerfassung) erforderlich, allerdings werden diese 3-mal jährlich bei der Wartung nachgefüllt (Menge nicht bekannt). Die Ausrüstung mit Brennstoffzellen sowie der regelmäßige Ersatz einschließlich der hierfür notwendigen Anfahrt von Servicetechnikern verursacht zusätzliche Kosten je Standort.

Die Analyse der EV konnte nur rudimentär erfolgreich, da die Software für das sichere Ausleiten keine Daten über die aktuelle Stromerzeugung der Solarzellen, den Akku-Ladezustand oder den korrekten Füllstand der Methanoltanks protokolliert.

Daher konnten nur die Meldungen des TLS-Archivs (FG 6, Telegramm 51 Stromversorgung) analysiert werden.

Folgende Parameter wurden auf Basis der Projektunterlagen der auftragsausführenden Unternehmung sowie der Auswertungen von Anlagendaten geprüft:

- Bewertung der Qualität und Dauerhaftigkeit der Energieversorgung (Netz, autark Solar + Brennstoffzelle). Analysiert werden am Kontrollplatz A2 Allenstein:
  - Akkustatus: Dauer der Meldung „Akku entladen“ und
  - Wechsel von Akkus und Methanoltanks.

Verfügbarkeit der EV für 1 Monat im Sommer und 1 Monat im Winter für die Vorerfassung und den BAG-ALT-Standort. Ausgewertet werden Anlagendaten

der Kontrollplätze A2 Allenstein (BAG-ALT) und A3 Theißtal (Vorerfassung).

Die Analyse des TLS-Archivs erfolgte für den Zeitraum November 2019 bis Anfang August 2020. Da die Anlagen nur zeitweise in Betrieb sind, können auch nur hierfür Aussagen zu Fehlermeldungen bzgl. der EV gemacht werden.

Ein Stichprobentest bei der Vorerfassung am Kontrollplatz A3 Theißtal ergab nur einen sehr geringen Anteil von weniger als < 0,1 % Meldungen mit dem Inhalt „Tiefentladungsschutz“ (von gesamt 20.000), was auf eine unzureichende Spannung der autarken EV schließen lässt.

Für eine Aussage darüber, welche Art der Energieversorgung sach- und anforderungsgerecht ist, bedarf es der Einbeziehung weiterer Aspekte und einer differenzierten Betrachtungsweise.

- Die prognostizierte Nutzungsdauer der Anlagentechnik beträgt mindestens 10 bis 20 Jahre. Über die lange Laufzeit ist eine fortwährende Instandsetzung der Technik für die autarke Energieversorgung erforderlich. Hinzu kommt der manuelle Austausch der Methanolbehälter durch einen Servicetechniker. Die Arbeiten sind über die Laufzeit mit höheren Betriebskosten im Vergleich zu einem System mit Netz-Energieversorgung verbunden.

Im Unterschied zu einem temporären System wie zum Beispiel einer Stauwarnanlage sind die Voraussetzungen für die Wahl der Energieversorgung aufgrund der langen Laufzeit grundlegend abweichend.

- Die Auswahl der Standorte für die Komponenten der Ausleittechnik erfolgt nicht vorrangig danach, ob an dem Standort günstige Bedingungen für eine autarke Versorgung mit Solarstrom vorliegen. Priorität bei der Auswahl eines Standortes hat die Lage im Vorfeld eines geeigneten Kontrollplatzes, die Sichtbarkeit der BAG-ALT durch die Verkehrsteilnehmer beziehungsweise auch die Lage der Vorerfassung zur Detektion des Verkehrs.

Entsprechend der Bedingungen an den autark versorgten Komponenten im Rahmen des Pilotbetriebes, der BAG-ALT am Kontrollplatz A2 Allenstein sowie der Vorerfassung am Kontrollplatz A3 Theißtal, sind die Bedingungen für eine Solarstromversorgung aufgrund der durchge-

henden Schattenlage kritisch. Besonders relevant ist dies im Winter während der dunklen Jahreszeit.

Ein gegebenenfalls notwendiger Rückschnitt von Grünbewuchs beziehungsweise die Rodung von Baumbeständen zur Verbesserung der Sonneneinstrahlung auf das Panel ist durch die restriktiven Umweltauflagen praktisch gar nicht möglich beziehungsweise an hohe Auflagen geknüpft. Zudem ist dies eine Arbeit, die regelmäßig erfolgen muss und dadurch auch dauerhaft wiederkehrende Kosten verursacht.

- Eine Erweiterung der Vorerfassung um Komponenten, wie zum Beispiel einer Höhen- und Längendetektion, hätte einen erhöhten Energieversorgungsbedarf zur Folge. In der Folge wäre eine aufwendige Neuauslegung der autarken Energieversorgung erforderlich. Insofern lässt die Entscheidung für eine zukünftige netzgebundene Energieversorgung mehr Flexibilität für zukünftige Entwicklungen zu.
- Bestandteil der Ausleittechnik ist die Regelbeschilderung zur Ankündigung der bevorstehenden Kontrolle sowie der Anordnung zur Verringerung der Geschwindigkeit. In der Vergangenheit erfolgte der Aufbau der Regelbeschilderung als PW. Aufgrund der technischen Fortentwicklung wird die Regelbeschilderung bereits vermehrt in LED-Technik aufgebaut. Vorteil ist die bessere Sichtbarkeit durch die Verkehrsteilnehmer sowie die hohe Ausfallsicherheit.

Hinsichtlich des Aufbaus der Regelbeschilderung und der Energieversorgung ist die vorstehende Argumentation zum Einsatz von autarker Energieversorgung analog zu betrachten.

Hinzu kommt, dass die Regelbeschilderung auch im Mittelstreifen aufgebaut ist und das Arbeiten in dem Bereich der Autobahn wegen der Anforderungen an die Verkehrssicherung inzwischen sehr teuer geworden sind. Während Sperrzeiten z. B. für Straßenbaumaßnahmen ist die Durchführung von Instandsetzungsarbeiten an der BAG-Regelbeschilderung am Mittelstreifen häufig gar nicht möglich, sodass das System über einen langen Zeitraum ausfällt. Daher ist es umso mehr wirtschaftlich sinnvoll, Komponenten einzusetzen, die möglichst wartungsfrei beziehungsweise wartungsarm sind.

- Die Kosten der Ansätze Netz-EV bzw. autarke EV über die Laufzeit von 10 Jahren (Standard

bei Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA)) wurden gegenübergestellt (vgl. Anlage B5.1 und B5.2). Hierzu gehören neben den Investitionskosten auch eine Pauschale für die laufenden Instandhaltungs- und Energiekosten für die Variante Netz beziehungsweise die Betriebskosten für die autarke EV (Reinigung des Solarpanels, Austausch der Batterien, von Methanoltanks). Die Kosten können je nach Örtlichkeit mehr oder weniger stark von den aufgeführten Schätzkosten abweichen (Grund: andere Abstände der Standorte, Verfügbarkeit von EV-Netzanschlüssen, möglich Nutzung vorhandener Kabeltrassen etc.)

Das Ergebnis ist in Tabelle 14 zusammengefasst.

Die Berechnung berücksichtigt eine optionale autarke EV nur bei Vorerfassung, BAG-ALT und Regelbeschilderung – BAG-SST 3, neue LED-Anzeige PWC und Nacherfassung sind am PWC und sollten daher immer aus dem Netz versorgt werden.

Unter dieser Annahme bewegen sich die Mehrkosten der autarken EV im Bereich von ca. 70 – 80 T€ für den Musterkontrollplatz. Mögliche Varianten, dass z. B. nur die Regelbeschilderung im Mittelstreifen autark versorgt wird, wurden nicht betrachtet.

Auf Basis der dargestellten Aspekte und Rahmenbedingungen wird für den zukünftigen Ausbau des Systems aus Gründen der Funktionssicherheit und Wirtschaftlichkeit ein Betrieb über eine netzgebundene Energieversorgung empfohlen und dies ist der Lösung mit einer autarken Energieversorgung vorzuziehen.

Der erwartete Nutzen wurde nicht monetär bewertet, es ist aber davon auszugehen, dass er sich bei gleicher Nutzungsdauer und -häufigkeit (Betrieb 3 Tage/8 h/Woche) für beide Varianten (Netz-/Autark-EV) nicht unterscheidet.

Variante	Gesamtkosten netto (Invest+Betrieb)
Jahre Betrieb	10
1 ALT, EV Netz	1.012.000 €
1 ALT, EV autark	1.081.000 €
2 ALT, EV Netz	1.166.000 €
2 ALT, EV autark	1.245.000 €

Tab. 14: Kostenvergleich BAG-Ausleitsystem (vier Varianten, 10 Jahre Betrieb)

## 6.5 Technische Bewertung der Sicherheit der IT-Infrastruktur zur Datenkommunikation

Die Aspekte der IT-Sicherheit für die Mobilfunk- und WLAN-Verbindungen gemäß Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) sollen in diesem Kapitel beschrieben und bewertet werden.

Die Bewertung der Kritikalität erfolgte auf Basis des BSI Dokumentes „Drahtlose Kommunikationssysteme und ihre Sicherheitsaspekte“/BSI 2009/. Ziel dieses Evaluierungsteils ist die Hinterfragung der derzeitigen IT-Infrastruktur des BAG-Systems zum Sicheren Ausleiten hinsichtlich der derzeit geltenden Anforderungen an die Datensicherheit.

- Prüfung des Systemkonzepts hinsichtlich der derzeit geltenden Anforderungen nach BSI-Grundschutz:
  - Sicherheit des WLANs,
  - Sicherheit des Mesh-Netzwerks (RAID-System, nur Kontrollplatz A1 Ellerbrook) und
  - Sicherheit der LTE-Mobilfunk-Kommunikation.

### 6.5.1 Aufbau und Bewertung der Sicherheit des Mobilfunk-Netzes

Die LTE-Mobilfunk-Verbindungen im BAG-System „Sicheres Ausleiten“ werden gemäß BSI Dokument „Drahtlose Kommunikationssysteme und ihre Sicherheitsaspekte“ (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2006) aufgebaut und betrieben.

Hierbei wurde eine Lösung gewählt, die nur einer abgeschlossenen Nutzergruppe den Zugriff auf die Mobilfunk-Verbindung ermöglicht. Vorliegend sind dies die auftragsausführende Unternehmung zur Durchführung notwendiger Wartungs- und Supporttätigkeit sowie BAG-Personal mit administrativen Aufgaben.

Eingesetzt wird ein sogenannter Remote Authentication Dial-In User Service (RADIUS-Server) des Anbieters T-Mobile. Dort werden gesichert alle zulässigen Mobilfunk-Geräte angemeldet und hinterlegt. Ein Mobilfunk-Modem außerhalb der zulässigen Nutzer wird abgelehnt und erhält keinen Zugang. Vergleichbare Lösungen werden auch von anderen Mobilfunk-Betreibern angeboten.

Die Einwahl für einen Fernzugang (BAG, Herstellerfirma) erfolgt über einen VPN-Tunnel, welcher eine geschützte Verbindung zur BAG-SSt 3 und den Komponenten des Ausleitsystems (Vorerfassung, BAG-ALT) aufbaut. Am Kontrollplatz A9 Sophienberg erfolgt die Einwahl mittels VPN auf der LWL-Verbindung zwischen BAG-SSt 3 und den Komponenten des Ausleitsystems.

Diese Lösung ist Stand der IT-Sicherheitstechnik und erfüllt die Anforderungen des BSI-Dokuments „Drahtlose Kommunikationssysteme und ihre Sicherheitsaspekte“/BSI 2009/

### 6.5.2 Aufbau und Bewertung der Sicherheit des WLAN-Netzes

Die Anwendungen für die Verbindung von den BAG-Kontrollfahrzeugen zu den BAG Streckenstationen auf den Kontrollplätzen wurden gemäß BSI Dokument „Drahtlose Kommunikationssysteme und ihre Sicherheitsaspekte“/BSI 2009/aufgebaut und betrieben. Die Anforderungen des BSI hinsichtlich des Teiles A. Funk-LAN (WLAN, IEEE 802.11) werden in folgender Form (siehe Tabelle 15) berücksichtigt.

Die in/BSI 2009/hinsichtlich drahtloser Kommunikation geforderten Kriterien werden entsprechend der Risikobewertung eingehalten.

### 6.5.3 Aufbau und Bewertung der Sicherheit des Mesh-Netzes

Zur Ansteuerung und Fehlermeldung der BAG-WVZ (Vorbeschilderung/BAG Regelplan) am Kontrollplatz A1 Ellerbrook wird ein Mesh-Funk-Netzwerk verwendet. Die Absicherung von Mesh-Netzen gemäß Punkt A.2.8 der Anforderungen des BSI zum Teil A – Funk-LAN – ist umgesetzt. Die Sicherheit zwischen dem WLAN zur Bedienung der Software und dem Mesh-Netz der WVZ am Kontrollplatz A1 Ellerbrook ist dadurch gegeben, dass keine Zugriffsmöglichkeit zwischen dem Bedien-WLAN und dem Mesh-Netz besteht. Die Kommunikation innerhalb des Mesh-Netzwerkes zu den WVZ erfolgt auf Basis des Trusted Wireless 2.0 Protokolls wie bei WPA2 mittels 128 Bit AES Verschlüsselung.

Die vom BSI hinsichtlich drahtloser Kommunikation geforderten Kriterien werden entsprechend der Risikobewertung eingehalten.

Anforderung/ Gefahr	Beschreibung	BAG-System
A.2.5	Wi-Fi Protected Access: Authentifizierung gemäß IEEE 802.1X sowie eine WPA2 Verschlüsselung. Rechtevergabe an einzelne User anstatt gemeinsame Rechte an alle User	erfüllt
A.2.7	Absicherung der Kommunikation mit der LAN-Infrastruktur auf der Luftschnittstelle: Authentifizierung und die CCMP Verschlüsselung via WPA2.	erfüllt
A.2.9	Managementframes werden bei der Konfiguration und im Einsatz nicht per WLAN übertragen.	erfüllt
A.2.10	Überwachung des WLAN: Findet nicht statt und ist auch nicht notwendig. Grund: Durch die temporären Einsätze der Kontrollgruppen und den jeweils neu durchgeführten Aufbau und Betrieb der WLAN-Verbindungen nur in deren Anwesenheit ist keine besondere Gefährdung gegeben. Der WLAN-Access-Point (AP) in der BAG-SSt 3 ist immer aktiv, damit sich die Kontrolleure direkt mit der BAG-SSt 3 verbinden können.	erfüllt
A.3.1	Eine Gefährdung gemäß A.3.1 (Ausfall durch höhere Gewalt, z. B. Blitzschlag), ist in geringerem Maße als bei anderen Anlagen auf BAB (z. B. Schilderbrücken von VBA) gegeben. Diese wurden nicht gesondert untersucht. Die von den DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410) 2018-10EN/ DIN geforderten Schutzmaßnahmen wurden berücksichtigt	erfüllt
A.3.7	Die im Punkt A3.7 Sicherheitskritische Grundeinstellung genannten Forderungen wurden beachtet.	erfüllt
A.3.8	Fehlkonfigurationen (Punkt 3.8) sind im Rahmen der Montage nicht grundsätzlich auszuschließen. Hier ist die Sicherheit durch die Beauftragung von Fachfirmen für die Konfiguration und deren Kontrolle durch den Auftraggeber gegeben.	erfüllt
A.3.21	Zugriffe zur Administration über WLAN-AP's finden nicht statt. Damit ist die Sicherheit gemäß Punkt A.3.21 Schwachstellen beim administrativen Zugriff auf Access Points gegeben.	erfüllt
A.3.23	Ein ungeschützter LAN-Zugang am AP ist aufgrund des Verschlusses der BAG-SSt 3 nicht möglich.	erfüllt
A.4	Zur Verhinderung unberechtigter Zugriffe und zur Gewährleistung der Sicherheit wurden die im Punkt 4 A.4 aufgeführten Schutzmaßnahmen im Planung-, Errichtungs- und Inbetriebnahme-Prozess berücksichtigt	erfüllt

Tab. 15: Erfüllung Anforderungen BSI-Grundschutz für WLAN-Netze

## 6.6 Technische Bewertung und Optimierung der Funktionalitäten der BuV-Software

### 6.6.1 Zielsetzung

Ziel dieses Evaluierungsteils ist die Bewertung der technischen Funktionalitäten der BuV-Software. Dabei werden erforderliche Maßnahmen zur sicheren Zuordnung der Kennzeichen und Fahrzeuge sowie zur Generierung von fließenden Videodarstellungen im Hinblick auf die Mobotix Übersichtskameras und die Mobilfunk-Kommunikation erarbeitet.

### 6.6.2 Bewertung BuV-Software (Qualität, Verfügbarkeit)

Im Einzelnen wurden folgende Punkte evaluiert:

- Bewertung der Qualität der Bild- und Datensatzübertragung. Dabei traten zwei wesentliche Probleme auf:

- Erstens:

Die Übersichtskamera (WebCam) lieferte in der Regel gute, aber nicht zu detaillierte Videostreams von den Strecken. Es kam aber häufiger zu Wacklern und Verzögerungen im Video beim Schreiben der Daten der mit ANPR erfassten Fahrzeuge.

- Maßnahmen:

Der auf Empfehlung des Kamera-Herstellers durchgeführte Tausch des Industrie-PC (IPC) in der BAG-SSt 3 hat sich aus subjektivem Empfinden nicht amortisiert. Messungen konnten nicht durchgeführt werden.

- Ergebnis:

Die bereits mit dem Vorgängertyp erkennbaren Stopps/Wackler/Verzögerungen von max. 1 bis 2 s bei der Erfassung der Kennzeichen wurden nicht beseitigt. Es traten nach wie vor kurzzeitige Aussetzer des Videostreams auf. Die Handhabung des

Systems wird hierdurch weniger ergonomisch, die Funktion ist jedoch für die Kontrolltätigkeit nicht grundsätzlich eingeschränkt und somit für das BAG akzeptiert.

– Zweitens:

Bewertung der Synchronisation Kennzeichenbild, Übersichtsbild und Videostream anhand der Analyse des Videomaterials für die ANPR-Evaluierung. Die Zuordnung der erfassten Kennzeichen zu den Fahrzeugen auf dem rechten FS war nicht immer eindeutig. Diese ist aber wichtig zur Wiedererkennung bei der Ausleitung.

- Maßnahmen:

Zu Beginn des Pilotversuchs erfolgte die Triggerung der ANPR-Kamera für die Kennzeichen über die Übersichtskamera. Damit erwies sich die Zeitsynchronisation zwischen beiden Kameras als schwierig. Daher wurde eine neue Doppelkamera (ANPR und Frontfoto) installiert, welche durch einen Seitenradar-Detektor getriggert wurden. Die WebCam dient nun nur noch zur Übersicht über die Verkehrssituation im Zulauf.

- Ergebnis:

Deutlich verbesserte Zuordnung; zudem ist jetzt eine Pkw-/Lkw- Unterscheidung möglich. Bei kritischen Lichtsituationen (Sonne mit Schlagschatten, Dunkelheit mit Regen) stößt auch dieses System an seine Grenzen (Fahrzeuge werden nicht erkannt, überholende Personen auf dem mittleren FS detektiert). Bei der Montage muss daher auf eine saubere Ausrichtung der Kameras und des Radardetektors geachtet werden.

- Bewertung der Systemverfügbarkeit über die Analyse der Fehlermeldungen aus dem TLS-Meldungsarchiv im Zeitraum November 2019 bis März 2020 (unterschiedlich je Kontrollplatz). Hierbei konnten mehrere Fehlerarten identifiziert werden:

- Kommunikationsstörungen zwischen BAG-SSt 3 und den Außengeräten (z. B. Subbus im Mesh-Netzwerk ausgefallen)
- Sonstige Störungen (z. B. DE-Fehler)

- Teilstörungen (gestörte Textposition)
- defekte Lampen.

Die Anlagen B3.1 bis B3.5 dokumentieren für alle Kontrollplätze die – wenn auch nur rudimentären – Analyseergebnisse. Die Störungsdauern wurden im Verhältnis zur Betriebsdauer gemäß Archiv gesetzt (welche sich durch die Häufigkeit und Dauer der Kontrollen ergibt).

In Bild 70 sind Anteile der Systemverfügbarkeit (störungsfreie/gestörte Zeiten) mit Bezug auf die gesamte Betriebsdauer am Beispiel des KontP A3 Theiſtal dargestellt.

Die Untersuchung der Systemverfügbarkeit aus den TLS-Archiven erfolgte von Januar bis März 2020.

Insgesamt kann damit – mit Abstrichen beim KontP A3 Theiſtal – eine hohe Systemverfügbarkeit festgestellt werden. Am KontP A9 Sophienberg gab es, auch bedingt durch die LWL-basierte Kommunikation, praktisch keine Ausfälle.

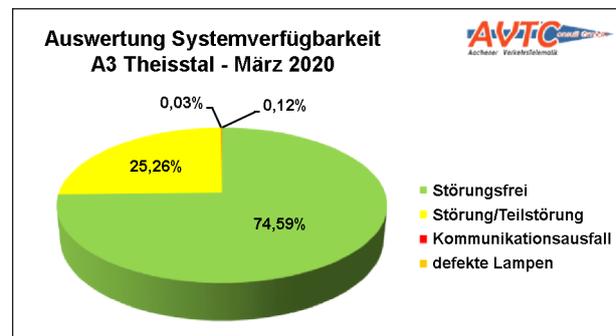


Bild 70: Analyse Systemverfügbarkeit am Beispiel A3 Theiſtal

KontP	Verfügbar	gestört	Haupt-Grund
A1 Ellerbrook	85,0 %	15,0 %	Subbus ausgefallen (Kommunikation Mesh-Netz)
A2 Allenstein	94,5 %	5,5 %	Kommunikations-Ausfall
A3 Theiſtal	74,6 %	25,4 %	Störung/ Teilstörung
A9 Sophienberg	99,9 %	0,1 %	-
A10 Schieferberg	99,7 %	0,3 %	-

Tab. 16: Übersicht Analyse Systemverfügbarkeit BAG-System „Sicheres Ausleiten“

### 6.6.3 Bewertung Servicefreundlichkeit des Systems

Im bisherigen Ist-Zustand gibt es für das BAG einen internen Fernzugang auf die Systemkomponenten jedes Kontrollplatzes via Mobilfunk/IP-Verbindung über einen gesicherten VPN-Tunnel. Dieser Zugang ist – auch bedingt durch die hohen Sicherheitsanforderungen – relativ kompliziert.

Einen analogen Zugang hat, zur Erfüllung des Wartungs- und Instandhaltungsvertrags (IHV), auch die Lieferfirma.

Beim KontP A9 Sophienberg läuft dieser Zugang über eine IP-VPN-Verbindung via Verkehrstechnik-Netzwerk Nordbayern über die Verkehrszentrale Nürnberg.

Störungsmeldungen benötigen wegen der komplexen Meldewege (komplizierte Zuständigkeiten BAG – Länder – Autobahn) z. T. relativ lange, bevor sie bei der Wartungs-Hotline eingegangen sind.

Damit ergeben sich nicht optimale Reaktionszeiten und z. T. Probleme bei geplanten Kontrollen, weil Fehler erst vor Ort auffallen.

Die Servicefreundlichkeit wird auch durch z. T. unklare Zuordnungen von Anzeigen in der BuV (Energielevel unten links, aber nur für autarke EV) und kryptische Bezeichnungen im TLS-Archiv erschwert.

Insgesamt ist hier sicherlich noch Verbesserungspotenzial vorhanden. Mögliche Empfehlungen für verbesserte Servicefreundlichkeit des Systems unter Beachtung der Datensicherheit enthält das folgende Kapitel.

## 6.7 Weiterentwicklung der Komponenten und des Gesamtsystems

Aus den Ergebnissen der technischen Bewertung und Evaluierung werden im Folgenden Empfehlungen zur Weiterentwicklung einzelner Komponenten sowie des Gesamtsystems abgeleitet.

### 6.7.1 Weiterentwicklung der Vorerfassung

Hier hat die Diskussion im Rahmen der Gespräche mit dem Betreuungskreis auf Basis der Ergebnisse

der TUM ergeben, dass eine Erweiterung der Vorerfassung auf den 2. FS gerade bei hohem Lkw-Verkehrsaufkommen sinnvoll erscheint. Somit können auch auf Spur 1 und 2 parallel fahrende Lkw erfasst und ausgeleitet werden. Nach Analyse der Videoaufnahmen der TUM ist im Mittel davon auszugehen, dass ca. 10 % des Schwerverkehrs (Fahrzeuge ab 3,5 t) auf den FS 2 entfällt. Mit der Erfassung der Lkw auf dem FS 2 können auch solche Fahrzeuge ausgeleitet werden, die bewusst versuchen, der Kontrolle durch paralleles Fahren auf dem FS 2 zu entgehen.

Zur sicheren Erfassung des FS 2 müssen vom Seitenradar zwei separate Trigger gesetzt werden. Die ANPR-Erfassung erfordert ebenfalls mehrere Detektionsflächen für die beiden FS. Die vorhandenen Systeme sollten so umkonfiguriert werden können, dass die Erfassung auf dem FS 2 in der Regel ohne Erweiterung der Hardware möglich ist.

Eine höhere Aufstellung der Kameras ist ggf. hilfreich, um Verdeckungen zu reduzieren. Dennoch wird man bei sehr ungünstigen Verhältnissen ggf. nicht alle Lkw auf dem FS 2 erfassen können.

Eine weitere Verbesserung der Vorerfassung ist durch die Erweiterung der Fahrzeugklassifikation von 2+0 (Pkw-ähnliche, Lkw-ähnliche) auf 8+1 Klassen nach/TLS 2012/zu erwarten.

Dies betrifft speziell die Differenzierung zwischen Lieferwagen und kleinen Lkw, zwischen Bussen und Wohnmobilen sowie bei Pkw mit Anhängern.

Die Erweiterung der Klassifikation auf 8+1 Klassen ist technisch möglich, allerdings mit gegenüber der/TLS 2012/verringerten Anforderungen an die Detektionsraten.

Technisch bedeutet dies aber andere Sensoren zur Fahrzeugdetektion (Laser-Scanner, Kombidetektoren etc.) und ggf. eine Montage der Sensorik über den FS 1 und 2 (an VZB, Ausleger). Hier ist mit erhöhtem Aufwand für Montage und Wartung zu rechnen.

Genauere Aussagen zum Nutzen sind derzeit nicht möglich, sodass letztlich insbesondere aus Sicht einer verbesserten Individualausleitung bei den KontP mit erhöhtem Aufkommen von Bussen und Pkw mit Anhängern eine Erweiterung auf die 8+1-Klassifikation Sinn machen könnte.

### 6.7.2 Dokumentation nicht ausgefahrener Fahrzeuge (Nacherfassung)

Zur Aufrechterhaltung der Wirksamkeit des Systems ist es von besonderer Bedeutung, dass Durchfahrer beziehungsweise Fahrzeuge, die die Ausfahraufforderung nicht befolgt haben, zur Aufnahme des Tatbestandes verfolgt werden.

Ausgangslage: Das Nacheilen der Durchfahrer ist aber insoweit erschwert beziehungsweise nicht möglich, da vom Standort der BAG-Fahrzeuge auf dem Kontrollplatz der Einfahrtsbereich oft nur eingeschränkt einsehbar ist und somit Durchfahrer gar nicht oder nur schwer identifiziert werden können.

Es ist daher notwendig, dass zukünftig nicht ausgefahrene Fahrzeuge bei Pulkausleitung und Individualausleitung automatisiert in der BuV-Anwendung dokumentiert werden. Hierzu ist ein weiterer ANPR-/WebCam-Kamerastandort nach der Einfahrt und vor der Ausfahrt des Kontrollplatzes notwendig, welcher nur die Durchfahrer erfasst und sicher dokumentiert. Ausrüstung und Technik entsprechen der Vorerfassung zum „sicheren Ausleiten“ (Kennzeichenerfassung, Frontfoto, Videostream). Bei Pulkausleitung ist hierfür neben der Identifikation des Kennzeichens die zusätzliche Berücksichtigung der ausgeleiteten Fahrzeugkategorie (TLS 2+0 oder 8+1) erforderlich, da ansonsten die durchfahrenden Busse und Pkw mit Anhänger (wenn diese Kategorie ausgeleitet wird) nicht erfasst werden können.

Technisch ist dies durch dieselben Systeme wie bei der Vorerfassung realisierbar, die EV erfolgt vom Kontrollplatz aus. Die DK erfolgt wie bei den anderen Komponenten je nach Kontrollplatz per LWL oder Mobilfunk zur BAG-SSt 3.

Für das Kontrollpersonal ist hiermit nicht zwingend die Einsicht auf die Einfahrt des Kontrollplatzes erforderlich und die Standortauswahl für die Kontrollen dadurch flexibler.

Für die Nachweisführung wird durch die neue BuV auf Anforderung des Anwenders automatisiert ein Protokoll generiert, in dem alle relevanten Informationen zusammengestellt sind. Das sind die Übersichts- und Kennzeichenabbildung des Fahrzeugs, der Anzeigeninhalt der Ausleitetafel, der Betriebszustand der Anlagentechnik, die Standortinformation und Uhrzeit und der Auszug der TLS-Meldungen.

### 6.7.3 Zentrales Monitoring aller Kontrollplätze durch das BAG

#### Motivation, Problemstellung

Derzeit kann die Einsatzbereitschaft des Systems erst nach Anfahrt des Kontrollplatzes festgestellt werden. Es gibt keine keep-alive-Telegramme oder automatische Anschaltung der Kameras, um vor Beginn einer Kontrolle den Betriebszustand des Systems verifizieren zu können.

Falls eine Anbindung an eine Zentrale mit Übertragung der Störungsmeldungen nach TLS 2012 vorhanden ist, kann die Funktionskontrolle durch einen Anruf bei den Operatoren der Zentrale erfolgen. Dies ist derzeit nur beim Kontrollplatz A9 Sophienberg der Fall. Im Falle eines Systemdefektes erfolgt die Meldung der Störung durch den Kontrolldienst vor Ort. Im Falle einer nicht kurzfristig behebbaren Störung entsteht aufgrund der Anfahrtszeit zum Kontrollplatz ein erheblicher Kontrollzeitverlust.

#### Maßnahmen

Als erster Schritt wird die Programmierung von keep-alive-Telegrammen in der Steuerungs-SW zum „Sicheren Ausleiten“ vorgeschlagen. Dabei melden sich die wesentlichen Kommunikationsverbindungen in regelmäßigen Intervallen und es wird geprüft, ob das keep-alive-Telegramm korrekt empfangen wurde. Falls dies nicht der Fall ist und eine Störung auftreten sollte, kann diese per Mail an die Wartungs-Hotline der Lieferfirma gemeldet werden.

Als zweiter Schritt kommt eine kurzzeitige (< 1 min) automatische Anschaltung der Kameras in Frage, um deren Funktion zu testen. Falls bei diesem Test eine Störung auftreten sollte, kann diese per Mail an die Wartungs-Hotline der Lieferfirma gemeldet werden.

Mit zunehmender Anzahl von BAG-Kontrollplätzen ist daher ein zentrales Monitoring-System (ZMS) zur Darstellung des Betriebszustands und der Einsatzbereitschaft der Anlagentechnik notwendig. Auf diesem System soll für die Anwender vor Beginn einer geplanten Kontrolle die Möglichkeit bestehen, sich über den Betriebszustand aller für die einwandfreie Funktion erforderlichen Komponenten der Anlagentechnik zu informieren. Bei einem erkannten Defekt kann somit frühzeitig eine Instandsetzung eingeleitet werden, um unnötige Anfahrten und Ausfallzeiten des Kontrolldienstes zu vermeiden.

Zur Einrichtung der Funktionalität ist ein Server erforderlich, der über eine zu erschaffende, zentrale, Web-basierte Oberfläche Zugriff auf die angeschlossenen Kontrollplätze ermöglicht. Alle relevanten, nicht personenbezogenen Daten der Kontrollplätze, insbesondere FG6 TLS-Daten, werden dort gesammelt. Bei Aufruf können die Systeme aktiviert werden, sodass die aktuellen Betriebszustände der Vorerfassung, der BAG-ALT, der BAG-Regelbeschilderung und der BAG-SSSt 3 inklusive der zugehörigen Kommunikationsverbindungen zum Server übertragen werden. Es ist eine firmenneutrale Lösung vorzusehen.

Die BuV sollte kartenbasiert mit Filtermöglichkeit für die Kontrollbereiche so gestaltet sein, dass eine schnelle Auswahl der Kontrollplätze möglich ist. Die Darstellung des Systems sollte komponentenselektiv sein, sodass schnell erkennbar ist, welche Komponente ausgefallen (roter Rahmen) beziehungsweise fehlerhaft (oranjer Rahmen) ist. Komponenten ohne Störung werden grün umrandet. Die Anzeige für die Kontrolleinheiten kann grob, differenziert nach Vorerfassung, BAG-ALT, Regelbeschilderung und BAG-SSSt 3, erfolgen. Für die BAG-IT sollte die Anzeige selektiver bis auf Ebene der IP-Nummern gestaltet werden.

Auf diesem Server-System werden entsprechende Zugriffsrechte für regionale Kontrolleinheiten sowie die Administration vergeben. Eine besetzte Leitzentrale mit Personal und 365d/24h Bereitschaft ist aber nicht vorgesehen und auch nicht notwendig.

#### **6.7.4 Anbindung der Achslastmesseinrichtungen**

Achslastmesseinrichtungen (AME) sind auf zahlreichen BAB-Strecken stationär verbaut, um mit sog. Weigh-In-Motion-(WIM-)Technologie die Achs- und Gesamtlasten von fahrenden Lkw zu erfassen. Üblicherweise werden heute Piezo-Sensoren in die Fahrbahn verbaut, welche auf Druck reagieren und daraus die Lastdaten mit einer hohen Genauigkeit ermitteln. Eine Zulassungserteilung der Technik für die gerichtsverwertbare Verwendung der Messergebnisse liegt nicht vor.

Die AME dienen daher nur der Vorerfassung potenziell überladener Fahrzeuge, welche dann auf einem Kontrollplatz gerichtsfest nachverwogen werden. Neben den Lastdaten und der Fahrzeugkategorie wird das Kennzeichen und eine Übersichts-

abbildung eines Fahrzeugs von einer AME bereitgestellt.

Die Ausleitung von Fahrzeugen, die von der Vorselektion an einer Achslastmesseinrichtung (AME) als überladen detektiert werden, erfolgt derzeit mehrheitlich im Wege einer wenig effektiven Schleppkontrolle. Bei einer Schleppkontrolle wird einem Zielfahrzeug aus dem Stand nachgefahren, um dieses dann durch Anwendung des Anhaltesignalgebers auf den Kontrollplatz auszuleiten.

Die Möglichkeit für eine Schleppkontrolle ist aber auch nur dann gegeben, wenn die Distanz zwischen der Achslastmessstelle und dem Kontrollplatz ausreichend groß ist, da das als auffällig detektierte Fahrzeuge aus dem Stand verfolgt und überholt werden muss.

Die AME erfassen somit analoge Daten wie die Vorerfassung des „Sicheren Ausleitens“ und liefern zudem die Daten für die Gewichtskontrolle. Eine Kombination der beiden Systeme erscheint daher sehr sinnvoll, wenn die örtlichen Gegebenheiten (Insb. Abstand AME – KontP) entsprechend gegeben sind. Zukünftig wird die Ausleitetechnik auch vor dem Hintergrund montiert, eine Kopplung mit einer AME zu ermöglichen.

#### **Maßnahmen**

Für die Durchführung zukünftiger Kontrollen unter Anwendung der AME wird empfohlen eine datentechnische Verknüpfung der Systeme AME und Ausleitetechnik zu berücksichtigen. Als auffällig detektierte Fahrzeuge können dann durch die Aufschaltung des Kennzeichens auf die BAG-ALT direkt automatisch ausgelieitet werden.

Die Möglichkeit zur Integration der durch das System der AME erfassten Gewichtsdaten in die BuV des Ausleitsystems ist durch eine Erweiterung der Softwareanwendung möglich.

Für die Darstellung von Gewichtsdaten bietet es sich an, die bestehende Bildlaufleiste der BuV für die Ausleitetechnik um Gewichtsangaben des erfassten Fahrzeugs zu erweitern. Die Darstellung kann zum Beispiel in Form eines für die Anwender einfach zu erfassenden Ampelsystems erfolgen. Ggfs. wäre dies im Neudesign der Software-Oberfläche bei Lehrstuhl für Ergonomie zu berücksichtigen.

Dabei ist zu differenzieren zwischen der Darstellung der Achslasten und des Gesamtgewichts. Beide

können unabhängig voneinander eine weniger kritische Warnschwelle (orange) oder eine Alarmschwelle (rot) mit entsprechenden Grenzwerten der Überschreitung erreichen. Wenn sowohl Achsen als auch das gesamte Fahrzeug überladen sind, wird der kritischere Wert angezeigt (im Beispiel die Gesamt-Überladung). Die Achsen werden von vorne nach hinten gezählt.

xx. Achse +X%	weniger kritisch (Beispiel)
Gesamt +X%	kritisch (Beispiel)

Nicht überladene Fahrzeuge werden in der Bildlaufleiste der BuV nicht visuell hervorgehoben. Zudem soll in einer tieferen Ebene ein graphisch abstrahiertes Achsfolgepiktogramm verfügbar sein, in dem der gesamte Beladungsstatus des Fahrzeuges dargestellt ist.

Die derzeitigen Video- und Bilddaten der AME können in verwertbare Kennzeichen und Bilddaten für das Ausleitsystem umgewandelt werden. Das Datenformat der zu übertragenden Achslastdaten sollte dabei einem Standard entsprechen (zum Beispiel TLS 2012).

Im Normal-Anwendungsfall ist die AME in größerer Entfernung zum Kontrollplatz positioniert. Durch die AME erfasste Fahrzeugdaten werden insoweit an das System der Ausleittechnik übertragen und bei Durchfahrt der Vorerfassung zugeordnet.

Somit müssen die Kennzeichen, Bilder und Achslastmessdaten so lange vorgehalten werden, bis der überladene Lkw an der Vorerfassung wiedererkannt wurde und somit dem Ausleitsystem bekannt ist.

Entsprechend eines konfigurierbaren Zeitfensters werden die Fahrzeugdatensätze unabhängig von einer erfolgten Zuordnung verworfen. Hierbei ist das Zeitfenster an der Fahrzeit zwischen der AME und dem KontP orientiert.

## 7 Bewertung und Evaluation der aktuellen Anzeigehalte der Ausleitafel

### 7.1 Status quo und Ergebnisse aus Befragungen und Vorgehen

Aufgrund der Ergebnisse der Befragung von Lkw-Fahrern, die in Kapitel 5 dargestellt sind, wird eine Neugestaltung der Ausleitbeschilderung angestrebt. Da sich insbesondere die Pulkausleitung als problematisch darstellt, wird dieses Szenario im Fokus dieses Kapitels stehen. Angelehnt an den Erkenntnisgewinn durch die Nutzerbefragung (Kapitel 5), dem nutzerorientierten Gestaltungsprozess nach der DIN EN ISO 9241-210:2010 (DIN e. V., 2010) und unter Berücksichtigung ergonomischer Kriterien werden mehrere Beschilderungsvarianten erstellt. Im Rahmen einer Befragung von Experten werden diese evaluiert und entsprechend verbessert. Es resultieren zwei Beschilderungsvarianten, die sich hinsichtlich der Verwendung von Elementen aus der Straßenverkehrsordnung unterscheiden. Diese werden in einer Studie evaluiert und anschließend Verbesserungsvorschläge eingearbeitet. Die daraus resultierenden Beschilderungsvarianten werden in einer Online-Umfrage bewertet.

Abschließend wird eine zweite ALT gestaltet und überprüft, inwiefern diese die im vorherigen Schritt ausgewählte, erste Ausleitafel ergänzen kann.

### 7.2 Berücksichtigte Gestaltungsmerkmale und ergonomische Kriterien

Für die Gestaltung der Prototypen der ALT wurden Überlegungen getroffen und Vorgaben berücksichtigt (KIRN, 2020).

#### 7.2.1 Verwendung von Schilderelementen nach Verkehrszeichenkatalog

Bei der Neugestaltung der Ausleitbeschilderung wird unterschieden zwischen einer Variante, die Gestaltungselemente verwendet, die in der StVO definiert sind (StVO-konforme Variante), sowie einer Variante, die Zeichen nach dem Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) verwendet (GüKG-Variante bzw. nicht StVO-konforme Variante). Die Anzeigen-

inhalte der ALT bei den fünf errichteten Pilotstandorten entsprechen Zeichen und Weisungen gemäß dem GüKG. Das Fahrpersonal hat die Zeichen und Weisungen der Beauftragten des BAG zu befolgen. Die Beauftragten des BAG sind dementsprechend berechtigt, entsprechende Anordnungen mittels Zeichen und Weisungen zu treffen (GüKG-Variante bzw. nicht StVO-konforme Variante).

Hingegen zuständig für die Anordnung von Anzeigehalten gemäß der StVO sind die Straßenverkehrsbehörden (StVO-konforme Variante).

Um beide Szenarien bedienen zu können, werden in diesem Forschungsvorhaben zwei verschiedene ALT gestaltet, eine StVO-konforme Variante und eine GüKG-Variante bzw. nicht StVO-konforme Variante. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die derzeit verwendete Ausleittafel ebenfalls nicht StVO-konform ist.

### 7.2.2 Farbgebung

Die ALT wird als Wechselverkehrszeichen auf LED-Basis gestaltet. Demnach kann die ALT manuell über die Bediensoftware durch das BAG-Personal aktiviert und der spezifische Anzeigehalt bestimmt werden. Aufgrund der technischen Gegebenheiten der LED-Tafel und um das Kontrastverhältnis und die Lesbarkeit bei lichtemittierenden Anzeigehalten zu verbessern, wird für den Hintergrund der Tafel und der einzelnen Verkehrszeichen, die auf der ALT abgebildet werden, ein schwarzer Hintergrund angenommen. Die auf Verkehrszeichen sonst in schwarz angezeigten Bildbereiche werden demnach invers in weißer Farbe dargestellt (§39 (4) StVO; LEITNER, 2008; DIN e. V., 2019).

### 7.2.3 Anordnung der Gewichtsklassen

Für die StVO-konforme Variante wurden weiterhin folgende Vorgaben identifiziert: Es ist zulässig auf der ALT eine Kombination verschiedener Verkehrszeichen anzuzeigen. Zusatzzeichen wie beispielsweise die Beschränkung auf bestimmte Fahrzeugtypen oder Gewichtsklassen sind unter dem Schild anzubringen, auf das sie Bezug nehmen. Zusätzlich sind ausschließlich Schilderelemente zu verwenden, die im Verkehrszeichenkatalog aufgeführt sind (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2020; Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2013).

### 7.2.4 Textanzeige

Für jegliche Textanzeigen wurde die in der allgemeinen Verwaltungsvorschrift der StVO nach der DIN 1451 festgelegte Mittelschrift verwendet (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017; DIN e. V., 2018). Weiterhin werden Vorgaben zur technischen Umsetzung von Wechselverkehrszeichen nach DIN EN 12966:2019-02 (DIN e. V., 2019) berücksichtigt. Wie ebenfalls in Kapitel 2.3.2 dargelegt, beträgt die aktuelle Schriftgröße der BAG-ALT 240 mm bei einem Rastermaß von 20 mm. In diesem Fall wird für die Neugestaltung der ALT eine Schriftgröße von etwa 300 mm mit einer Mittellänge von 165 mm gewählt, um eine noch bessere Lesbarkeit zu gewährleisten. Um auch nicht deutschsprachige Verkehrsteilnehmer adressieren zu können, werden alle Textbausteine zusätzlich auf Englisch angezeigt. Ein Wechselzyklus von 1,4 Sekunden zwischen Textbausteinen ermöglicht es allen Fahrern jeweils den deutschen und den englischen Text wahrzunehmen. Nach MUSCH & RÖSLER (2011) sind 1,4 Sekunden bei einer Wortzahl von 3 auch bei langsamen Lesern ausreichend.

### 7.2.5 Erhöhung der Auffälligkeit

Neben der Verständlichkeit ist die Auffälligkeit von Verkehrszeichen als essentielles Gestaltungselement zu identifizieren. Die Verwendung von dynamischen Elementen ist ein anerkanntes Mittel, um die Aufmerksamkeit zu steuern (COHEN, 1986 zitiert nach REINISCH, 2010, S. 67; BOLTE, 1987) und war in der Befragung der Lkw-Fahrer (siehe Kapitel 5.3.1) ein gewünschtes Element für die Gestaltung der ALT. Entsprechend werden an der Oberseite aller ALT, die in diesem Bericht vorgestellt werden, blinkende Signalleuchten angebracht, die in der grafischen Visualisierung in diesem Rahmen nicht angezeigt werden. In der praktischen Umsetzung sollten diese dennoch verwendet werden, da sie ein zusätzliches Element zur Aufmerksamkeitslenkung auf die ALT darstellen und bereits aus größerer Distanz zur ALT sichtbar sind. Zudem werden einige Varianten der ALT neben den wechselnden Textinhalten weitere dynamische Elemente enthalten. Um den Charakter der Pulkausleitung weiter hervorzuheben, werden auf jeder Variante der ALT mehrere Lkw-Symbole dargestellt (Vgl. Kapitel 5.3.1).

### 7.3 Weiterentwicklung der Anzeigehalte der Ausleittafel – Iteration I

Auf Grundlage der in Kapitel 7.2 gestellten Anforderungen und nach Durchführung eines Workshops, in dem mögliche Darstellungsmöglichkeiten des gewünschten Inhalts (Abfahrt zur Fahrzeugkontrolle auf nächst gelegenen Parkplatz) gesammelt wurden, wurden erste Prototypen der ALT gestaltet.

Bild 71 stellt die StVO-konforme Variante (Variante A) dar. Durch drei durchgehende Pfeile werden die Fahrstreifen der Autobahn symbolisiert. Durch die Verwendung des Verkehrszeichens 253 der StVO wird ein Durchfahrtsverbot für Kfz über 3,5 t zGG kommuniziert. Mithilfe eines orangefarbenen codierten Pfeils wird die gewünschte Fahrtrichtung als Aufforderung zum Ausfahren auf den Parkplatz verbildlicht. Zusätzlich wird durch weiße Linien der Verzögerungsstreifen zur Abfahrt auf den Parkplatz dargestellt. Der Parkplatz wird mithilfe des Verkehrszeichens 314 der StVO symbolisiert, um das Fahrtziel weiter zu verdeutlichen. Die Darstellung und Anordnung der grafischen Elemente verdeutlicht die reale geografische Lage der eigenen Position und der Lage des Parkplatzes und erleichtert damit, das eigene Handeln entsprechend abzuleiten. Das angepasste Zusatzzeichen 1010-51 der StVO gibt den Adressaten der ALT, Lkw über 3,5 t zGG, an. Aufgrund der Vorgabe durch die StVO konnte die Fahrtrichtung des Lkw, dargestellt in einem Piktogramm, nicht der Kompatibilitätsbedingung entsprechend in Fahrtrichtung nach links dargestellt werden.

Bild 72 zeigt zwei Frames der Variante B, die sich gezielt Gestaltungselementen bedient, die nicht in der StVO beschrieben werden. Wie auch in Variante A wird eine räumliche Präsentation der Lage von Autobahn und Parkplatz dargestellt und sich zusätzlich der Animation der gezeigten Fahrzeuge bedient. Ähnlich der bekannten Darstellung einer Einfädel-Aufforderung bewegen sich die Lkw auf den Verzögerungsstreifen zum Parkplatz, während die Pkw weiterhin den Fahrspuren der Autobahn folgen. Zum Erhöhen der räumlichen Kompatibilität sind die Lkw nach rechts und somit in die gewünschte Fahrtrichtung ausgerichtet. Das Symbol für den Parkplatz weist auf das Ziel der Lkw hin und minimiert die Verwechslungsgefahr mit dem Seitenstreifen oder einer Autobahnausfahrt. Die ALT ist rot umrahmt, um verstärkt die Aufmerksamkeit auf die Anzeige zu lenken.

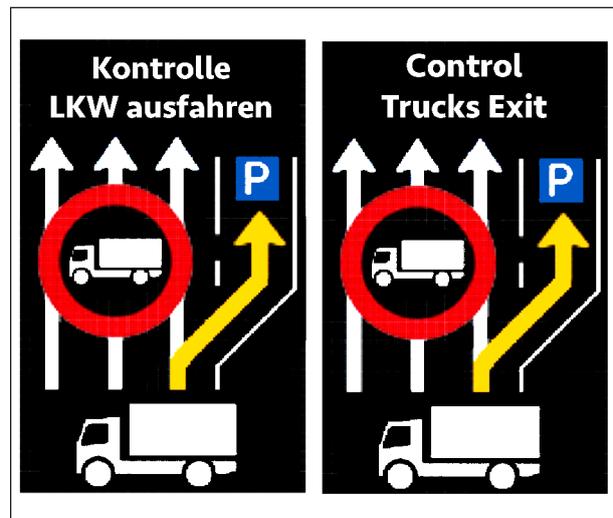


Bild 71: StVO-konforme Variante mit dynamischem Wechsel der Textanzeige (Variante A)

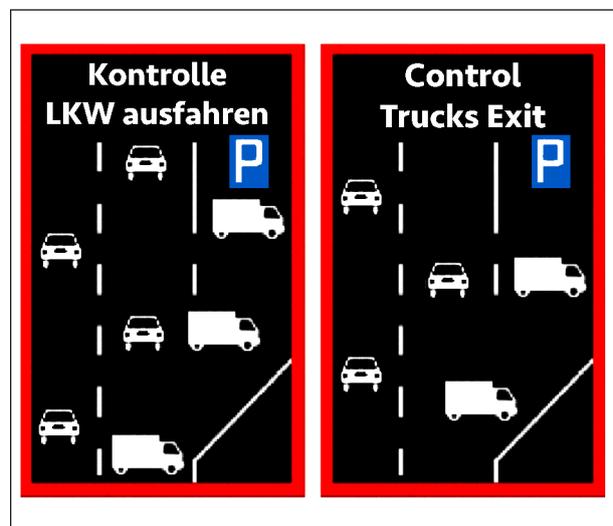


Bild 72: Nicht StVO-konforme Variante mit dynamischem Wechsel der Textanzeige sowie animierter Fahrtrichtungsanzeige der Pkw und Lkw (Variante B)

Bild 73 zeigt eine weitere Variante einer StVO-konformen ALT, die abwechselnd die Anzeige links und rechts anzeigt. Diese Variante wurde verworfen, da sie missverständlich sein könnte. Sollte ein Lkw-Fahrer lediglich den ersten Frame sehen (da die Person bspw. nur kurz auf die ALT blickt), würde sie ausschließlich Information zu dem Fahrverbot von Lkw auf allen drei Spuren der Autobahn bekommen und keinerlei Information zu der gebotenen Fahrtrichtung (auf den Parkplatz). Bild 74 zeigt eine nicht StVO-konforme Variante einer Ausleitbeschilderung, die nach Expertengesprächen verworfen wurde. Das Verwenden von roten Kreuzen ist zwar intuitiv verständlich, adressiert im Gegensatz zum

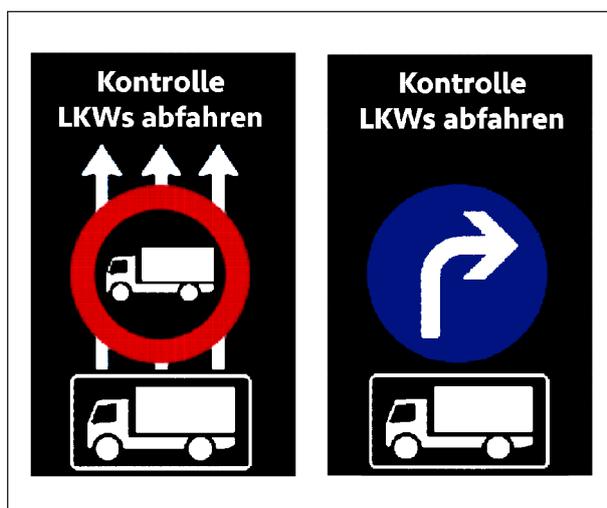


Bild 73: Verwerfene Alternative einer StVO-konformen Variante



Bild 74: Verwerfene Alternative einer nicht StVO-konformen Variante

Verkehrszeichen 253 allerdings nicht nur Lkw-Fahrer, sondern signalisiert eine generelle Sperrung der Fahrstreifen für alle Verkehrsteilnehmer (§37 (3) StVO). Demnach könnten sich fälschlicherweise auch andere Verkehrsteilnehmer angesprochen fühlen und annehmen, dass sie die drei Fahrspuren nicht befahren dürften. Zudem wäre eine reine GüKG-Variante der ALT somit nicht gegeben.

### 7.3.1 Okklusionsversuch

Um die Verständlichkeit der Neudesigns, Variante A (Bild 71) und Variante B (Bild 72) bewerten zu können, wurde eine Probandenstudie durchgeführt (KIRN, 2020). Es werden die Methode und die Er-

gebnisse der Studie beschrieben und anschließend die Ergebnisse diskutiert.

#### 7.3.1.1 Methode

Im Folgenden wird auf die Stichprobe, das Versuchsdesign und die verwendeten Materialien sowie den Versuchsablauf eingegangen.

#### Stichprobe

An dem Versuch haben  $N = 15$  Probanden teilgenommen, die ein mittleres Alter von 49,73 Jahre hatten ( $SD = 14,76$ ). 93 % ( $n = 14$ ) Teilnehmer waren männlich. Alle Probanden waren im Besitz eines Lkw-Führerscheins der Klassen C1, C, C1E und/oder CE und haben diesen seit 2 – 50 Jahren ( $M = 28,20$ ;  $SD = 14,68$ ). Die jährliche Fahrleistung wird im Durchschnitt mit 54.600 km ( $SD = 39.603$  km) angegeben und liegt zwischen 3.000 – 120.000 km. Die Probanden wurden durch direkte Ansprache auf der Autobahnraststätte „Pippinger Flur“ in München an der A8 oder beim Fernfahrerstammtisch der Polizei Augsburg in der Rastanlage „Augsburg Ost“ akquiriert und der Versuch vor Ort mit den Lkw-Fahrern durchgeführt. Aufgrund der Covid-19-Pandemie konnte die Stichprobe nicht vergrößert werden.

#### Studiendesign

Es wurde ein between-subjects-Design gewählt. Demnach wurde den Probanden jeweils nur eine Beschilderungsvariante gezeigt und diesbezüglich befragt. So konnte die Versuchsdauer geringgehalten und damit die Teilnahmebereitschaft erhöht werden. Zudem wird ein Lerneffekt der Probanden vermieden. Als Schildervarianten werden die oben beschriebenen Varianten A und B sowie die bestehende ALT (Bild 75) herangezogen.

#### Versuchsaufbau und -material

Über einen Laptop, der auf einer geraden Oberfläche in der Versuchsumgebung (z. B. auf der Motorhaube eines Pkw) steht, wurde eine Okklusionsbrille vom Typ Plato Spectacles der Firma Translucent Technologies benutzt, die durch das Programm Shutter USB in Version 1.0.0 angesteuert wurde (FEISTER, 2006). Die Okklusionsbrille wird dazu genutzt, um visuelle Anstrengung im Fahrzeugkontext zu simulieren (ISO 16673-2007 (ISO, 2007)). Es handelt sich hierbei um eine Brille, deren Gläser



Bild 75: Bestehende ALT, aus Konsistenzgründen dargestellt ohne Warnleuchten am oberen Schilderrand

gezielt angesteuert und ein- oder beidseitig für einen definierten Zeitraum verdunkelt werden können. In dem vorliegenden Versuch war die jeweilige Beschilderungsvariante für insgesamt 3 Sekunden sichtbar, unterbrochen von einer Verdunkelungszeit von 1,5 Sekunden.

Eine Übersicht des verwendeten Fragenkatalogs kann Tabelle 17 entnommen werden. Alle Versuchsunterlagen können in Anhang C eingesehen werden.

Weiterhin wurde ein exploratives Vorgehen gewählt, um den Probanden die Möglichkeit zu geben, eigene Anzeigeinhalte zu gestalten. Hierfür wurde das I-CODE-Verfahren (Interactive-Consumer Design & Evaluation) nach (BENGLER, COUGHLIN, REIMER, & NIEDERMAIER, 2010) verwendet. Auf einer maßstabsgetreuen Verkleinerung der LED-Tafel auf Filz-Basis konnten die Probanden eigene Beschilderungselemente generieren oder bereits vorgefertigte Elemente mithilfe eines Klettverschlusses an der gewünschten Position auf der Tafel befestigen.

Um einen Ausblick darüber zu erhalten, inwiefern eine weitere ALT einen positiven Einfluss auf die Verständlichkeit des Ausleitprozesses bei Lkw-Fahrern haben könnte, wurden die Probanden zunächst gebeten aus einem Beschilderkatalog bestehend aus neun Varianten (siehe Anhang C; Variante A, B und die bestehende Variante sind inkludiert) zwei ALT auszuwählen, die sie gerne in Kombination angezeigt bekommen würden. Zusätzlich wurden sie gebeten, auf einer Skizze zu kennzeichnen, in welcher Reihenfolge und in welchem Abstand zueinander sie die beiden Schilder anordnen würden (Bild 76).

Frage/Aufgabe	Antwortformat
Würden Sie das Schild beachten?	Ja/Nein
Ist das Schild für Sie relevant?	Ja/Nein
Bitte beschreiben Sie die Intention des Schilds.	Offen
Wie würden Sie als Fahrer auf dieses Schild reagieren?	Offen
Wie verständlich ist das Schild?	6-Punkte-Skala
Was war Ihrer Meinung nach unverständlich dargestellt?	Offen
Wie könnte die Verständlichkeit verbessert werden?	Offen

Tab. 17: Aufbau des Fragenkatalogs

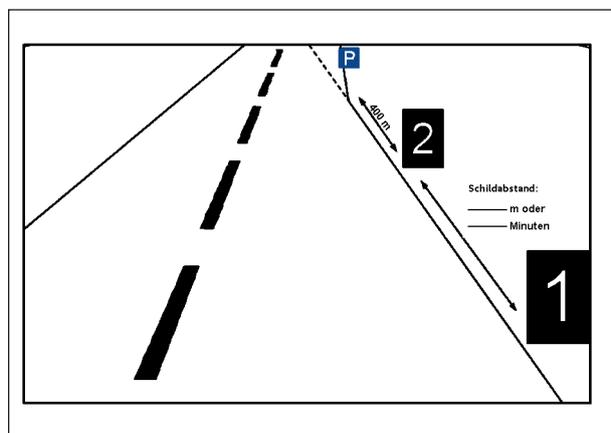


Bild 76: Skizze zur Anordnung der ausgewählten Beschilderungsvariante und zur Angabe des Abstands zueinander

### Versuchsablauf

Nachdem die Probanden begrüßt und ihr Einverständnis zur Teilnahme an dem Versuch eingeholt wurde, wurden sie über den Ablauf der Studie aufgeklärt und darüber informiert, dass sie ihre Teilnahme jederzeit und ohne Konsequenzen abbrechen können. Zunächst wurden die demografischen Daten und die Fahrerfahrung der Teilnehmer erfasst. Anschließend wurden sie über den Ablauf des Okklusionsversuchs aufgeklärt. Nachdem sie die Okklusionsbrille aufgesetzt hatten, wurde in einem Testdurchlauf überprüft, ob diese korrekt funktioniert. Anschließend wurde der Okklusionsversuch durchgeführt, wobei den Probanden eine der drei Beschilderungsvarianten (Variante A, Variante B oder die bestehende Variante) mit Blickunterbrechung präsentiert wurde. Die Versuchsleitung durchlief danach mit den Probanden zusammen den Fragenkatalog, um eine Bewertung der gezeig-

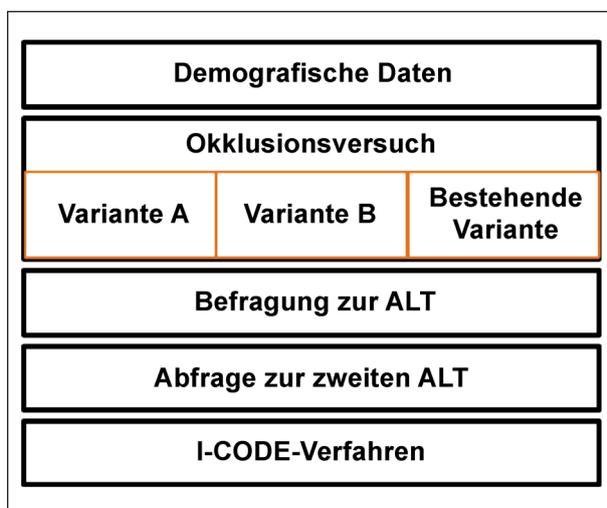


Bild 77: Versuchsablauf

ten ALT zu erhalten. Anschließend erfolgte die Abfrage, in welcher Distanz sich die Probanden zwei Beschilderungsvarianten ihrer Wahl wünschen würden. Zum Generieren neuer Beschilderungsvarianten wurde der Versuch mit dem I-CODE-Verfahren abgeschlossen. Die Versuchsdauer betrug etwa 15 Minuten (Bild 77).

### 7.3.1.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Okklusionsversuchs und der anschließenden Befragung zu der jeweils gezeigten ALT vorgestellt. Zudem werden die Ergebnisse zur zweiten ALT sowie dem I-CODE-Versuch präsentiert.

#### Befragung zum Okklusionsversuch

Nachdem die Probanden im Rahmen des Okklusionsversuchs jeweils eine Beschilderungsvariante gezeigt bekommen haben, bewerteten sie die ALT. Während 100 % der Befragten (jeweils  $n = 5$ ) Variante A und Variante B beachten würden, gibt eine Person, die die bestehende Variante der ALT gezeigt bekommen hat, an, dass sie diese nicht beachten würde (Bild 78).

Im Gegensatz dazu steht die Einschätzung der Relevanz, mit der die Lkw-Fahrer die ALT für sich beurteilen würden (Bild 79). Alle Teilnehmer aller Gruppen denken, dass die gezeigte ALT für sie relevant ist.

Nachdem die Teilnehmer beschrieben haben, welche Bedeutung die jeweilige ALT für sie als Lkw-Fahrer hat, konnte identifiziert werden, dass alle

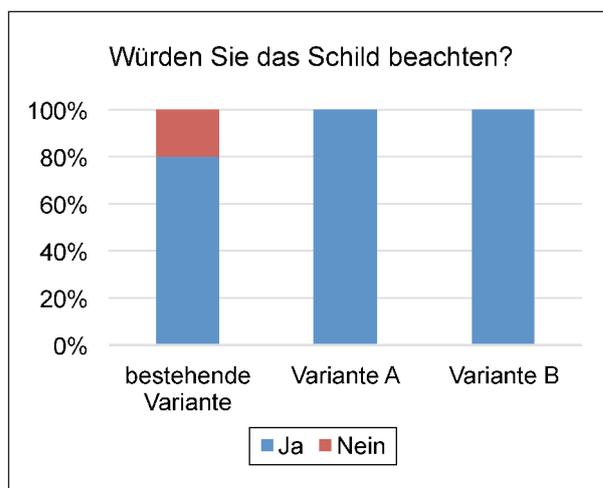


Bild 78: Ergebnisse des Okklusionsversuchs – Beachtung der ALT durch Lkw-Fahrer

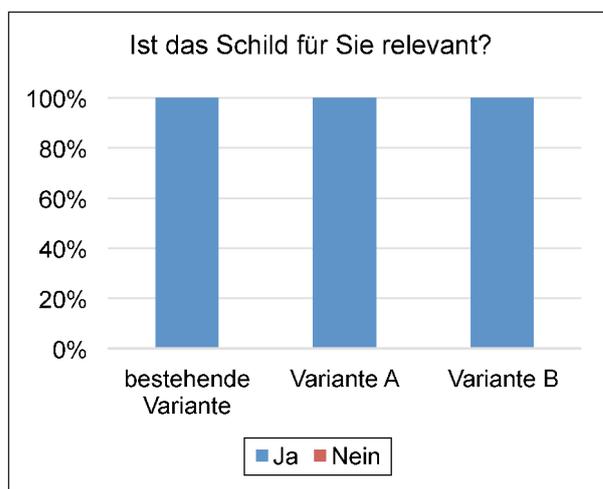


Bild 79: Ergebnisse des Okklusionsversuchs – Empfundene Relevanz für Lkw-Fahrer

Teilnehmer, die die bestehende Variante gezeigt bekommen haben, diese korrekt verstehen. Variante A hingegen wird von  $n = 2$  falsch verstanden. Eine Person hat in diesem Fall fälschlicherweise angenommen, dass die Auffahraufforderung für Lkw ab 7,5 t gilt. Eine weitere Person hat die Kontrollsituation nicht erkannt. Variante B wird lediglich von  $n = 1$  korrekt verstanden (Bild 80). Ein beispielhafter Überblick über die Antworten, die auf ein inkorrektes Verständnis schließen lassen, sind Tabelle 18 zu entnehmen.

Die Abfrage nach der Reaktion, die die Probanden nach Sichtung der ALT zeigen würden (Bild 81), ergibt, dass lediglich  $n = 1$  Proband der Gruppe, die die bestehende Variante der ALT gesehen haben, der Auffahraufforderung nicht nachgehen würden. Die Person gab in diesem Fall an, dass nicht alle

„Straße verengt sich von drei auf zwei Spuren, Lkw müssen auf Spur rechts neben sich im Reißverschluss einfädeln“
„Ankündigung eines Parkplatzes“
„Rechts ist ein Parkplatz, geradeaus ist eine Kontrolle“
„Lkw müssen auf rechte Spur fahren“

Tab. 18: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Antworten, die auf ein inkorrektes Verständnis der Bedeutung der ALT (Variante B) hindeuten.

„Auf umgebende Autos achten“
„Bei geplanter Pause an dem Parkplatz abfahren, sonst nicht (Nur wenn das zur Lenkzeit passt)“
„Bremsbereit sein, aber geradeaus weiterfahren“
„Rechts halten, habe aber Ausfahraufforderung nicht erkannt“

Tab. 19: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Begründung, warum die Probanden der Ausleitaufforderung nach der ALT (Variante B) nicht folgen würden.

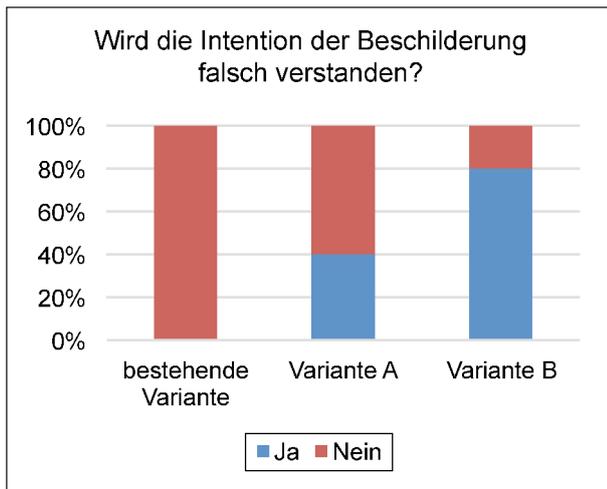


Bild 80: Ergebnisse des Okklusionsversuchs – Verständnis der Bedeutung der ALT

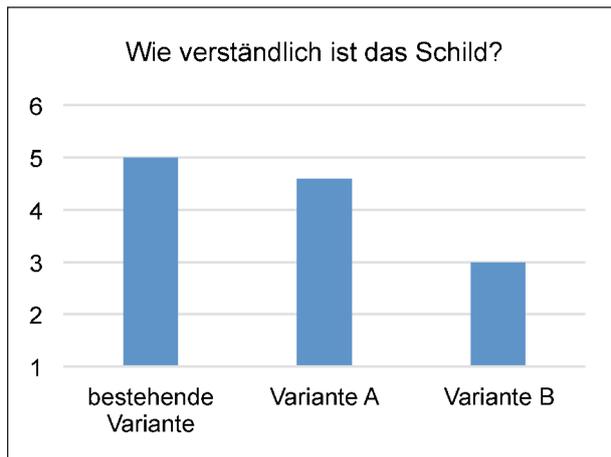


Bild 82: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Bewertung der Verständlichkeit nach Aufklärung über Bedeutung der ALT.

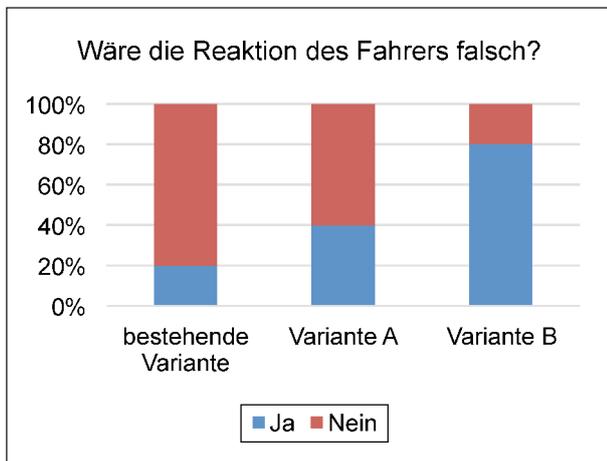


Bild 81: Ergebnisse des Okklusionsversuchs – Reaktion der Fahrer nach ALT.

Lkw adressiert seien und er/sie nur abfahren würde, wenn der vorausfahrende Lkw auch abfährt. Zwei Probanden der Variante A würden der Ausleitaufforderung nicht folgen, da sie sich unsicher sind, ob es sich um eine verpflichtende Kontrolle handelt. Lediglich n = 1 der Gruppe, die Variante B gezeigt bekommen hat, würde korrekt auf die ALT reagieren. Tabelle 19 verdeutlicht, warum die Probanden der

Auffahraufforderung, die in Variante B kommuniziert wird, nicht nachkommen würden.

Abschließend und nachdem die Probanden über die korrekte Bedeutung der jeweiligen ALT aufgeklärt worden sind, wurden sie um die Bewertung der Verständlichkeit der ALT, die sie präsentiert bekommen haben, gebeten. Die bestehende Variante wurde auf einer Skala von 1 (unverständlich) bis 6 (verständlich) mit  $M = 5$  bewertet; Variante A erhielt eine Bewertung der Verständlichkeit von  $M = 4,6$  und Variante B von  $M = 3$  (Bild 82).

Als abschließende Frage zu der ALT wurden die Probanden darum gebeten zu berichten, was sie als missverständlich empfunden haben. Unabhängig von der Variante der ALT wurde angemerkt, dass der Adressat der Beschilderung nicht eindeutig identifizierbar gewesen sei. Eine Person der Gruppe Variante B konnte die Textbausteine aufgrund der sprachlichen Barriere nicht verstehen. Außerdem wurde zu Variante A und B angemerkt, dass die Kontrollsituation nicht ausreichend kommuniziert wurde. Zu Variante B wurde angemerkt, dass das Verstehen der Beschilderung eine hohe Konzentration erfordere.

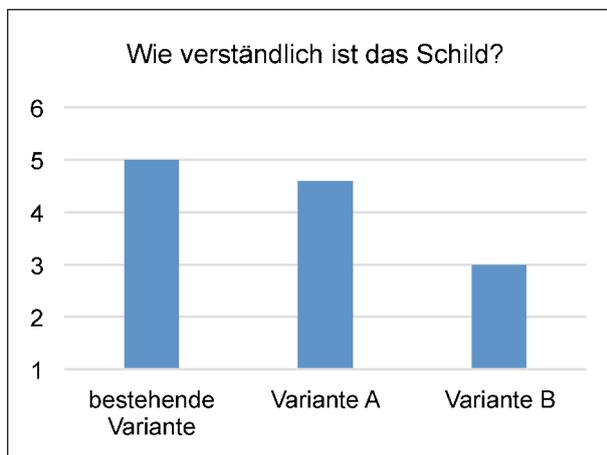


Bild 83: Ergebnisse zur Befragung nach gewünschtem Abstand zwischen der ersten und zweiten ALT.

### Befragung zur zweiten, zusätzlichen ALT

In Anhang C kann eingesehen werden, welche spezifischen Beschilderungsvarianten die Probanden sich an erster und zweiter Position gewünscht hätten. Auf der in Bild 76 dargestellten Skizze haben sich  $n = 4$  Probanden die Variante A an Position 1 gewünscht,  $n = 7$  Probanden an Position 2. Der Abstand zwischen der ersten und der zweiten ALT sollte im Mittel  $654 \text{ m}$  ( $SD = 250 \text{ m}$ ) betragen (Bild 83). Zwei Probanden haben ihre Teilnahme aufgrund von Zeitgründen nach dem Okklusionsteil und der anschließenden Befragung des Versuchs abgebrochen und sind demnach nicht in diesem Teil der Befragung berücksichtigt.

### Ergebnisse des I-CODE-Verfahrens

Die von den Probanden generierten Beschilderungsvarianten der ALT können Anhang C entnommen werden. Aus Zeitgründen zeigten viele Probanden wenig Geduld für diesen Teil des Versuchs. Zusätzlich schienen die Probanden vermehrt die Beschilderungsvariante zu replizieren, die sie in dem Okklusionsteil des Versuchs präsentiert bekamen. Für zukünftige Untersuchungen mit dem I-CODE-Verfahren sollte dieser Teil des Versuchs am Anfang, bevor die Probanden durch gezeigte Beschilderungsvarianten beeinflusst sind, durchgeführt werden. Für den vorliegenden Versuch war es allerdings essentiell, dass die Probanden die gezeigten Beschilderungsvarianten unvoreingenommen und ohne ihre Bedeutung zu kennen, im Okklusionsversuch betrachten konnten.

### 7.3.1.3 Implikationen für weitere Iterationen

Aus den oben beschriebenen Ergebnissen des Okklusionsversuchs lassen sich Hinweise für weitere Iterationen der Prototypgestaltung der ALT ableiten. Für alle Beschilderungsvarianten sollte explizit die Gewichtsklasse der adressierten Fahrzeuggruppe aufgenommen werden. Um die räumliche Kompatibilität zu erhöhen, sollte Variante B eine dreispurige Autobahn darstellen, um zu vermeiden, dass die Verkehrsteilnehmer die Parkplatzauffahrt mit der dritten Fahrspur der Autobahn oder dem Seitenstreifen verwechseln.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die bekannte Variante der ALT von den Probanden als am verständlichsten bewertet wird. Unter Berücksichtigung der Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen ist dies ein zu erwartendes Phänomen. Während die neuen Varianten der ALT einer bottom-up Informationsverarbeitung unterliegen, wird die bestehende Variante wiedererkannt (top-down Informationsverarbeitung). Aus ihren vorherigen Erfahrungen können die Probanden demnach auf bestehendes Wissen bezüglich der Bedeutung der ALT und der implizierten Handlung zurückgreifen. Um diesen Effekt abzuschwächen, sollte für weitere Versuche zur Bewertung der ALT der Kontext gegeben werden, in dem ein Verkehrsteilnehmer der ALT begegnen würde.

Die bessere Bewertung von Variante A im Vergleich zu Variante B kann in der unterschiedlichen Dynamik der Beschilderungsinhalte begründet sein. Variante B beinhaltet wesentlich mehr Animationen, sodass eine höhere visuelle Anstrengung verursacht wird. In weiteren Iterationen der Prototypgestaltung sollte dieser Umstand berücksichtigt und reduziert werden.

Da der Versuch aufgrund der Covid-19-Pandemie frühzeitig abgebrochen werden musste, konnten lediglich fünf Probanden pro Gruppe befragt werden. Da dieser Umstand mit einer verringerten Aussagekraft der Daten einhergeht, kann keine Allgemeingültigkeit der Ergebnisse angenommen werden.

## 7.4 Weiterentwicklung der Anzeigeinhalte der Ausleitertafel – Iteration II

Die in Kapitel 7.3.1.3 beschriebenen Verbesserungsvorschläge wurden in den im folgenden dargestellten Varianten A und B der ALT eingearbeitet. Somit weisen beide Varianten der ALT in der verbesserten Version eine Gewichtsangabe für eine präzisere Ansprache der Zielgruppe auf.

Um die Aufmerksamkeit für Variante B der ALT weiter zu steuern und somit die visuelle Anstrengung bei der Informationsverarbeitung zu reduzieren, wurden die Fahrtrichtungsanzeige der Lkw durch eine blaue Hinterlegung der gewünschten Fahrspur hinterlegt (Bild 84). Variante B stellt in der verbesserten Form eine dreispurige Autobahn dar, um die räumliche Kompatibilität zu erhöhen. Die Fahrtrichtung von Pkw und Lkw wird dynamisch verfeinert und anhand von 20 Frames dargestellt, die jeweils für 0,2 Sekunden angezeigt werden. Eine vollständige Darstellung aller verwendeten Frames ist Anhang C zu entnehmen.

Zusätzlich dazu wurde die Farbcodierung des Fahrtrichtungspfeils der Variante A zugunsten der Vereinheitlichung der Farbcodierung mit bestehenden Verkehrszeichen von Orange zu Blau geändert (Bild 85). Da dies jedoch mit einem niedrigeren Kontrastverhältnis und damit einer geringeren Sichtbarkeit einhergeht, wird vor diesem Hintergrund die Verwendung des orangefarbenen Fahrtrichtungspfeils für die Realisierung im Straßenverkehr empfohlen.

Für beide Beschilderungsvarianten wurde das Parkplatz-Symbol weiter nach oben versetzt, um den Zusammenhang zwischen dem Textbaustein „Kontrolle“/„Control“ weiter hervorzuheben und den Verkehrsteilnehmern so mehr Kontext für die Ausfahrtaufforderung zu geben.

### 7.4.1 Online-Umfrage

Vor dem Hintergrund der staatlich veranlassten Kontaktbeschränkung aufgrund der Covid-19-Pandemie, wurde für die Evaluation der verbesserten Prototypen der Beschilderungsvarianten eine Online-Umfrage durchgeführt.

#### 7.4.1.1 Methode

Im Folgenden wird auf die Stichprobe, das Versuchsdesign und den Inhalt der Online-Umfrage

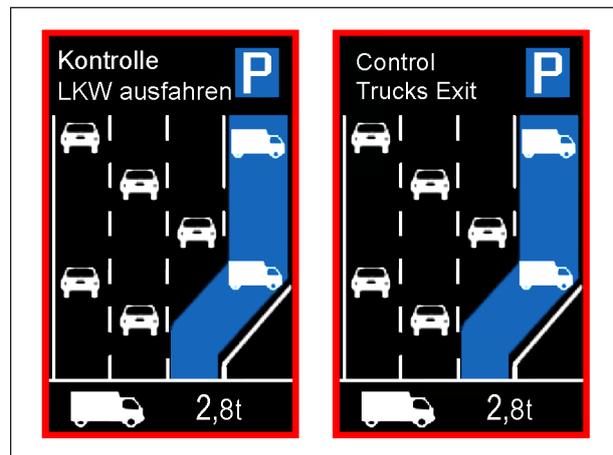


Bild 84: Finale Version der nicht StVO-konformen ALT (Variante B). Dynamischer Wechsel der Textanzeige sowie animierte Fahrtrichtungsanzeige der Pkw und Lkw.

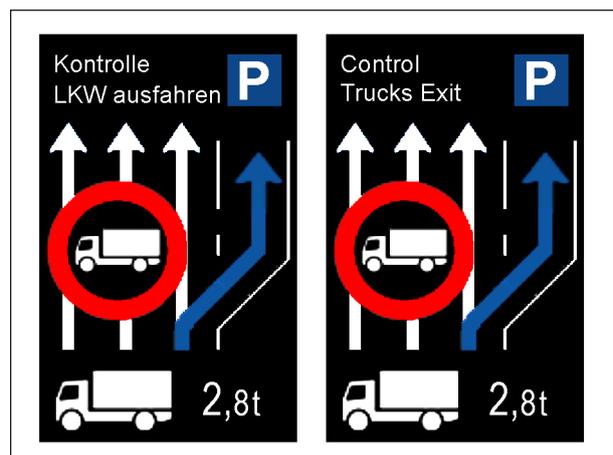


Bild 85: Finale Version der StVO-konformen ALT (Variante A). Dynamischer Wechsel der Textanzeige.

eingegangen. Die Teilnehmer wurden über Posts in Lkw-spezifischen Facebook-Gruppen und über das Anschreiben von Speditionen akquiriert.

### Stichprobe

Die Umfrage wurde von N = 173 Teilnehmern ausgefüllt. Von diesen haben n = 42 die Umfrage bereits vor dem Video abgebrochen, sodass ihre Datensätze in der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt werden können. n = 56 Teilnehmer haben die Umfrage nach dem Video abgebrochen, wobei hierbei kein Effekt der Gruppe festgestellt werden konnte. Je Videovariante (A oder B) haben n = 28 die Umfrage abgebrochen. Demnach lassen sich die Abbrüche nicht darauf zurückführen, dass eine Videovariante signifikant schlechter verständlich

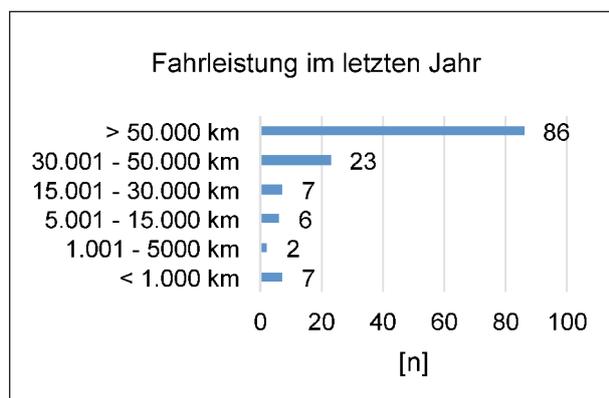


Bild 86: Stichprobenbeschreibung. Fahrleistung mit dem Lkw im letzten Jahr

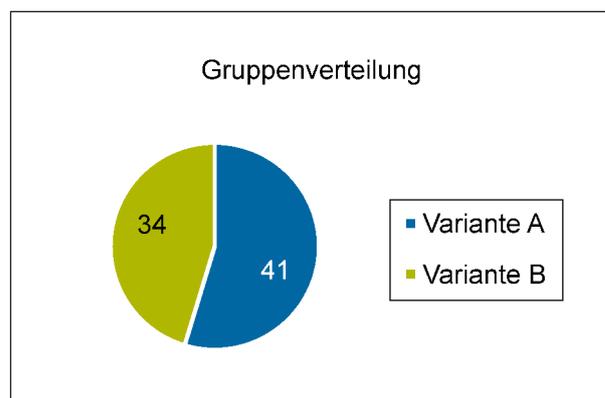


Bild 87: Verteilung der Teilnehmer auf Videovariante A und B

war und die Teilnehmer somit entmutigt wurden, ihre Teilnahme weiter fortzuführen. Die 56 Datensätze werden somit in die Datenauswertung mit aufgenommen und bei den Teilanalysen, für die Daten vorliegen, entsprechend berücksichtigt.  $n = 75$  Teilnehmer habe die Umfrage vollständig ausgefüllt. Das mittlere Alter der Probanden ( $n = 131$ ) lag bei 48,02 Jahren ( $SD = 11,18$ ). 93 % ( $n = 122$ ) Teilnehmer waren männlich. Alle Probanden waren im Besitz eines Lkw-Führerscheins der Klassen C1, C, C1E und/oder CE und haben diesen seit 0,6 – 55 Jahren ( $M = 22,09$ ;  $SD = 13,13$ ). Die Mehrheit der Teilnehmer gab an, im letzten Jahr mehr als 50.000 km mit dem Lkw gefahren zu sein;  $n = 23$  Probanden haben eine Strecke zwischen 30.001 km und 50.000 km mit dem Lkw zurückgelegt. Die restlichen ( $n = 22$ ) Teilnehmer hatten eine Fahrleistung von unter 1.000 km bis 30.000 km im letzten Jahr (Bild 86).

Die Umfrage wurde 124 Mal auf Deutsch, 5 Mal auf Polnisch und 2 Mal auf Russisch ausgefüllt.

### Studiendesign

Es wurde ein between-subjects-Design gewählt. Demnach wurde allen Teilnehmern jeweils nur eine Beschilderungsvariante, die in ein Video eingebettet wurde, gezeigt und diesbezüglich befragt. So konnte die Versuchsdauer geringgehalten und damit die Teilnahmebereitschaft erhöht werden. Zudem wird ein Lerneffekt der Teilnehmer vermieden. Als Schildervarianten werden die oben beschriebenen Varianten A und B herangezogen. Über einen Algorithmus, der im Umfragetool hinterlegt wurde, wurden den Teilnehmern zufällig Variante A ( $n = 69$ ) oder Variante B ( $n = 62$ ) der ALT zugewiesen (Bild 87).

### Versuchsaufbau und -material

Um die ALT in den Gesamtkontext der Verkehrssituation zu setzen, wurde in einem Video eine Fahrt aus der Sicht der Fahrerkabine eines Lkw dargestellt. Die Fahrt beginnt kurz vor dem ersten Schild der Regelbeschilderung für das Ausleiten bei BAG-Standkontrollen und endet kurz nach der Anzeige der neugestalteten ALT. Um die möglicherweise unscharfe Darstellung des Videos auf einem kleinen Bildschirm (z. B. dem Smartphone) zu kompensieren, wurde das Video bei jeder Vorbeifahrt an einem Schild des Regelbeschilderungsplans pausiert und das jeweilige Schild vergrößert angezeigt. Um unnötige Wartezeiten und somit hohe Abbruchquoten der Teilnehmer zwischen dem Passieren von zwei Verkehrsschilderungen zu vermeiden, wurden diese in Zeitraffer angezeigt. Die Länge der Videos beträgt jeweils 1 Minute und 39 Sekunden. Die Videos können unter den folgenden Links eingesehen werden:

- Variante A: <https://youtu.be/2mr6vXCCrhc>
- Variante B: <https://youtu.be/9z05iMtw85c>

Die Umfrage wurde im Online-Tool LimeSurvey hochgeladen. Den Probanden stand die Möglichkeit zur Auswahl, die Umfrage auf Deutsch, Englisch, Polnisch und Russisch auszufüllen, um die Nationalitäten und präferierten Sprachen der Lkw-Fahrer auf deutschen Autobahnen zu berücksichtigen. Die Videos waren jeweils in die Umfrage in LimeSurvey eingebettet.

Tabelle 20 gibt eine Übersicht über die Fragen und Aufgaben, die von den Teilnehmern in der Umfrage beantwortet wurden. Nachdem in Anlehnung an die Okklusionsstudie offene Fragen zum Verständnis der Teilnehmer von der jeweiligen ALT gestellt wur-

Frage/Aufgabe	Antwortformat
Bitte beschreiben Sie kurz die Bedeutung des letzten Verkehrsschildes (LED-Tafel)	Offen
Ist das Schild für Sie relevant?	Ja/Nein
Wie würden Sie sich verhalten, nachdem Sie das letzte Verkehrsschild (LED-Tafel) gesehen haben?	Offen
Wie verständlich ist das Schild?	5-Punkte Skala
Wissenstest	Multiple Choice
Haben Sie verstanden, dass Sie auf den nächsten Parkplatz ausfahren müssen, da dort eine Lkw-Kontrolle durchgeführt wird?	Ja/Nein
Wie verständlich ist das Schild? (bewusste Doppelung)	5-Punkte Skala
Wie schnell dürfen Sie nach der letzten Geschwindigkeitsbegrenzung, die Sie gesehen haben, fahren (in km/h)?	Numerischer Wert

Tab. 20: Fragenkatalog der Online-Umfrage

den und auf dieser Grundlage die Verständlichkeit auf einer 5-Punkte Skala bewertet wurde, wurde ein Wissenstest gestellt. Hier wurde in einem Multiple-Choice-Verfahren getestet, ob die Teilnehmer korrekt erkannten, wer der Adressat der ALT ist, welche Handlung von ihnen gefordert ist und warum sie zu dieser Handlung aufgefordert wurden. Anschließend an das Quiz wurden die Teilnehmer über die intendierte Bedeutung der ALT aufgeklärt und gebeten, auf der gleichen Skala wie zuvor die Verständlichkeit der gezeigten ALT zu bewerten. Abschließend wurden sie gebeten, die im Video als Letztes gezeigte Geschwindigkeitsbegrenzung zu benennen. Der genaue Inhalt der Umfrage kann in Anhang C eingesehen werden.

### Versuchsablauf

Die Umfrageteilnehmer wurden zunächst darüber aufgeklärt, dass ihre Teilnahme freiwillig ist und sie diese jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen können. Als Ziel der Umfrage wurde angegeben, dass neu gestaltete Verkehrsschilder bewertet werden sollen. Es wurde nicht kommuniziert, dass es sich um Verkehrszeichen handelt, die eine Ausleittaufforderung beinhalten. Nach dem die demografischen Daten und die Fahrerfahrung in Bezug auf Lkw abgefragt wurde, wurde den Teilnehmern eines der Videos präsentiert. Anschließend erfolgte die Befragung zu der eben gezeigten ALT (Bild 88). Die Teilnahme an der Umfrage insgesamt dauerte ca. 10 Minuten.

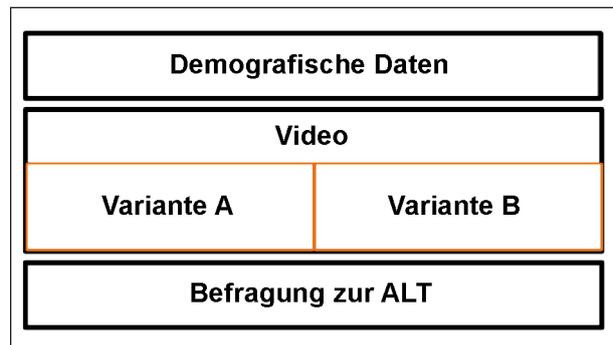


Bild 88: Versuchsablauf der Online-Umfrage

### 7.4.1.2 Ergebnisse

Die Antworten der Teilnehmer bezüglich der Bedeutung der jeweiligen ALT wurden kategorisiert und dahingehend gegliedert. Für Variante A und B lagen jeweils 41 bzw. 34 Datensätze vor. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen zu erhöhen, werden die Ergebnisse in Prozent angegeben. Es waren Mehrfachnennungen möglich. Wie in Bild 89 dargestellt, werden überwiegend Aussagen genannt, die als korrekt eingestuft werden können. Die Teilnehmer haben die ALT überwiegend als Aufforderung verstanden, auf den Parkplatz zu fahren (Variante A: 51 %, Variante B: 59 %) und konnten die Beschilderung als Hinweis auf eine Lkw-Kontrolle identifizieren, wobei Teilnehmer der Gruppe der Variante A diesen Punkt häufiger (51 %) genannt haben als Teilnehmer der Gruppe Variante B (44 %).

37 % der Teilnehmer der Gruppe, die die ALT-Variante A gezeigt bekamen, haben Lkw ab 2,8 t als Adressat der ALT verstanden. Für die Gruppe der ALT-Variante B haben dies 38 % der Teilnehmer genannt. Variante A scheint eindeutiger zu vermitteln, dass die Hauptfahrbahn nicht mehr zu befahren (10 %) und die Autobahn zu verlassen ist (27 %). Das Verlassen der Autobahn wurde von 9 % der Befragten der Variante B benannt; dass die Hauptfahrbahn nicht zu nutzen ist, wurde von niemandem (0 %) der Gruppe B geäußert. Bild 90 zeigt die Antworten, die ein kritisch zu bewertendes Verständnis der ALT zeigen. Insgesamt ist der Anteil derjenigen, die ein falsches Verständnis der ALT entwickelt haben, sehr gering. Die meisten Fehlinterpretationen betreffen die Gewichtsklasse der adressierten Lkw. 5 % (n = 2) der Gruppe ALT A und 3 % (n = 1) der Gruppe ALT B beziehen die Beschilderung nur auf Lkw ab 3,5 t. Jeweils eine Person der Gruppe ALT B (3 %) würde den Seitenstreifen befahren bzw. er-

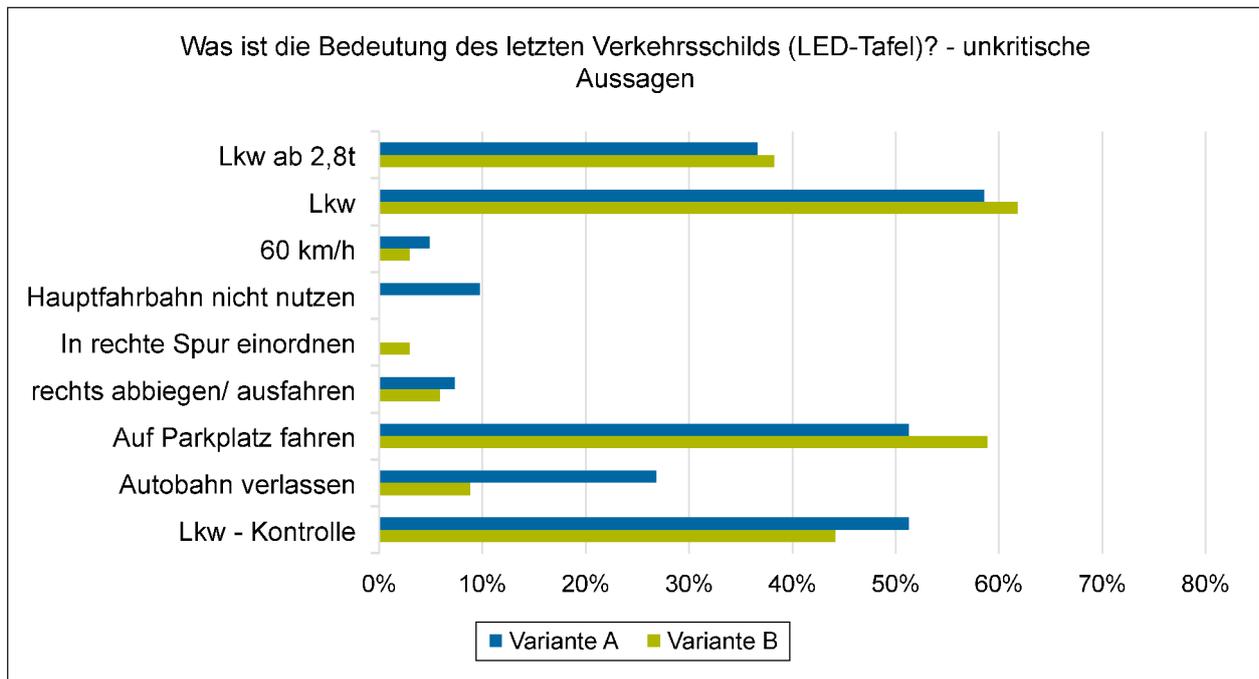


Bild 89: Umfrage-Ergebnisse – Vermutete Bedeutung der ALT (unkritische Aussagen)

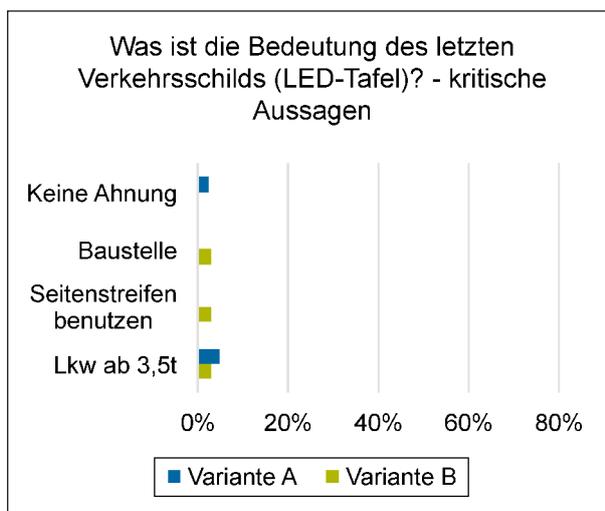


Bild 90: Umfrage-Ergebnisse – Vermutete Bedeutung der ALT (kritische Ergebnisse)

wartet eine vorausliegende Baustelle (3 %). Eine Person (2 %) der Gruppe ALT A gibt an, dass sie die ALT nicht verstanden hat.

Auf die Frage, wie sich die Befragten verhalten würden, nachdem sie die ALT gesehen haben, wurden fast ausschließlich korrekte Antworten gegeben (Bild 91). 64 % der Befragten der Gruppe Variante B würden auf den nächsten Parkplatz fahren. Diese Antwort wurde im Vergleich von nur 45 % der Gruppe Variante A gegeben. Die Gruppe Variante A hingegen hat häufiger als die Gruppe Variante B (33 %

vs. 18 %) angegeben, dass sie generell „ausfahren“ ohne Spezifizierung des Ziels. 28 % der Befragten, die die Variante A der ALT gesehen haben, haben erwähnt, dass sie ihre Geschwindigkeit kontrollieren würden (Variante B: 15 %). 15 % (Variante A) bzw. 6 % (Variante B) haben lediglich geschrieben, dass sie der Weisung folgen würden – wie genau sie diese verstehen, wurde nicht weiter spezifiziert. 3 % (Variante A) bzw. 6 % (Variante B) würden, nachdem sie auf den Parkplatz gefahren sind, dort auf weitere Anweisungen warten.

Lediglich drei Probanden (9 %) haben Äußerungen getätigt, die als kritisch einzustufen sind, die alle der Gruppe Variante B zuzuordnen sind (Bild 92). Jeweils eine Person (3 %) ist sich unsicher, wie zu handeln ist, denkt, dass ein BAG-Kontrolleur an der gewohnten Position mit der Kelle manuell ausleitet oder würde über den Seitenstreifen fahren. In einer weiteren Frage wurde erfasst, dass 100 % der Teilnehmer (unabhängig von der Variante) denken, dass die LED-Tafel Lkw-Fahrer adressiert. Die Abfrage der Verständlichkeit der ALT auf einer 5-stufigen Likert-Skala (1 = unverständlich; 5 = verständlich) ergab für Variante A ein  $M = 4,24$  ( $SD = 0,86$ ) und für Variante B ein  $M = 4,30$  ( $SD = 0,95$ ). Die Verteilung über die einzelnen Antwortkategorien zeigt, dass die beiden Varianten hinsichtlich der Verständlichkeit ähnlich positiv zu bewerten sind (Bild 93).

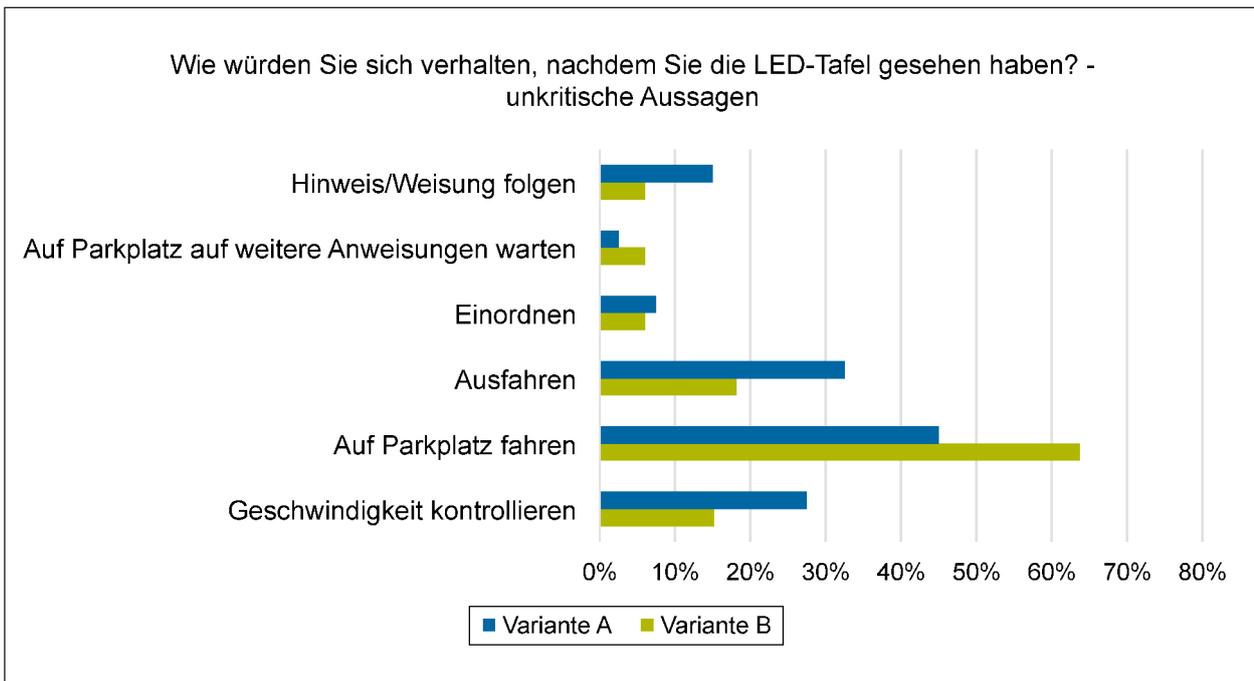


Bild 91: Umfrage-Ergebnisse – Verhaltensweise nach ALT (unkritische Aussagen)

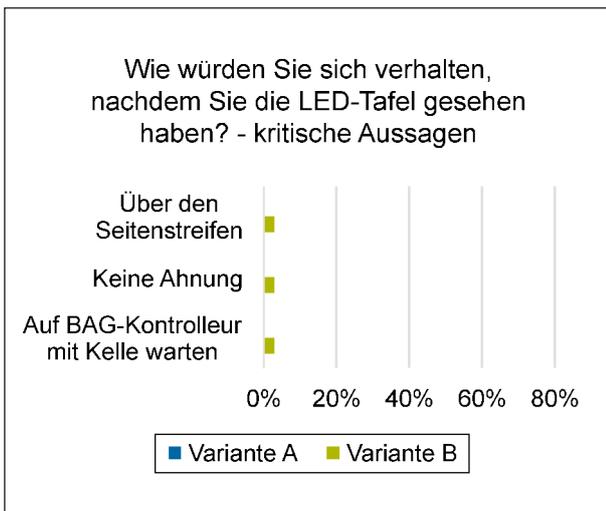


Bild 92: Umfrage-Ergebnisse – Verhaltensweise nach ALT (kritische Aussagen)

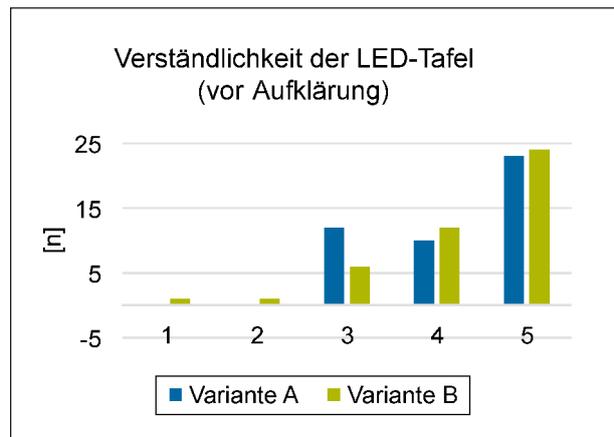


Bild 93: Umfrage-Ergebnisse. Bewertung der ALT von unverständlich (1) bis verständlich (5) bevor die Aufklärung über die eigentliche Bedeutung der ALT erfolgt ist.

In dem anschließenden Wissensquiz wurden die Teilnehmer gebeten, die einzelnen Aussagen hinsichtlich ihrer Korrektheit zu bewerten. Wie in Bild 94 ersichtlich, wurden die Items für beide Gruppen (ALT-Variante A und ALT-Variante B) überwiegend korrekt bewertet. Allerdings konnten 15 % (n = 5) der Befragten derjenigen, die Variante B gezeigt bekamen, nicht korrekt identifizieren, dass Fahrzeuge ab 2,8 t durch die ALT adressiert werden; Für Teilnehmer der Gruppe Variante A belief sich die Fehlerquote auf 7 % (n = 3).

Auch für die Items hinsichtlich der Ursache für die ALT (Bild 95) und der gewünschten Handlung, die durch die ALT kommuniziert wird (Bild 96) lassen sich kaum Unterschiede zwischen den Beschilderungsvarianten A und B feststellen.

Unabhängig von der Gruppe, gaben jeweils 12 % der Befragten fälschlicherweise an, dass sie nicht auf den nächsten Parkplatz abfahren müssten. Mit ALT-Variante A konnten 5 % der Befragten nicht korrekt identifizieren, dass der Grund für die ALT eine Lkw-Kontrolle ist. Dieses Item wurde hingegen

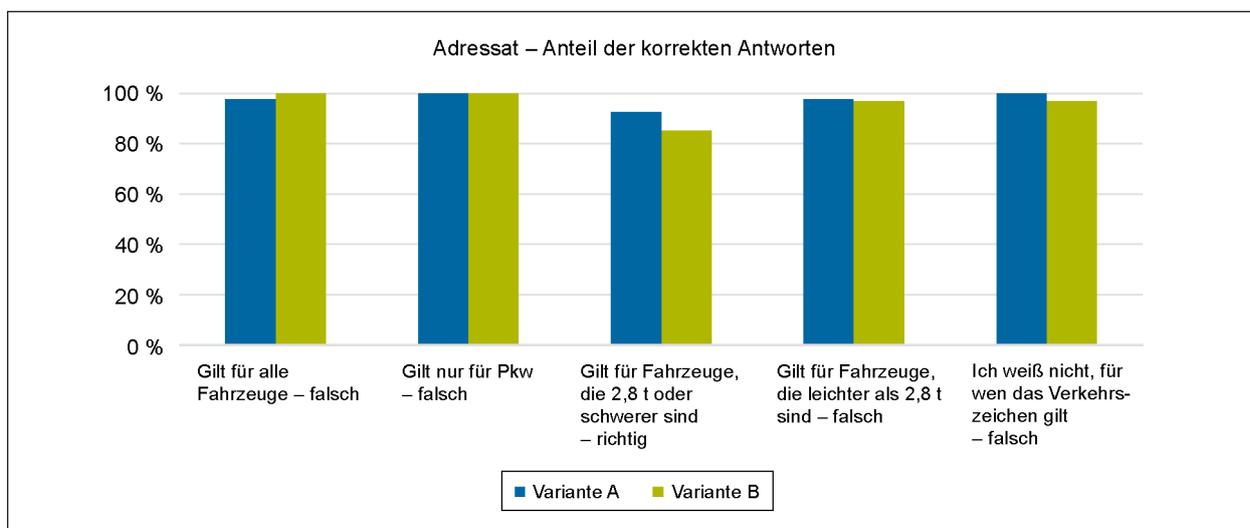


Bild 94: Umfrage-Ergebnisse – Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. des Adressaten

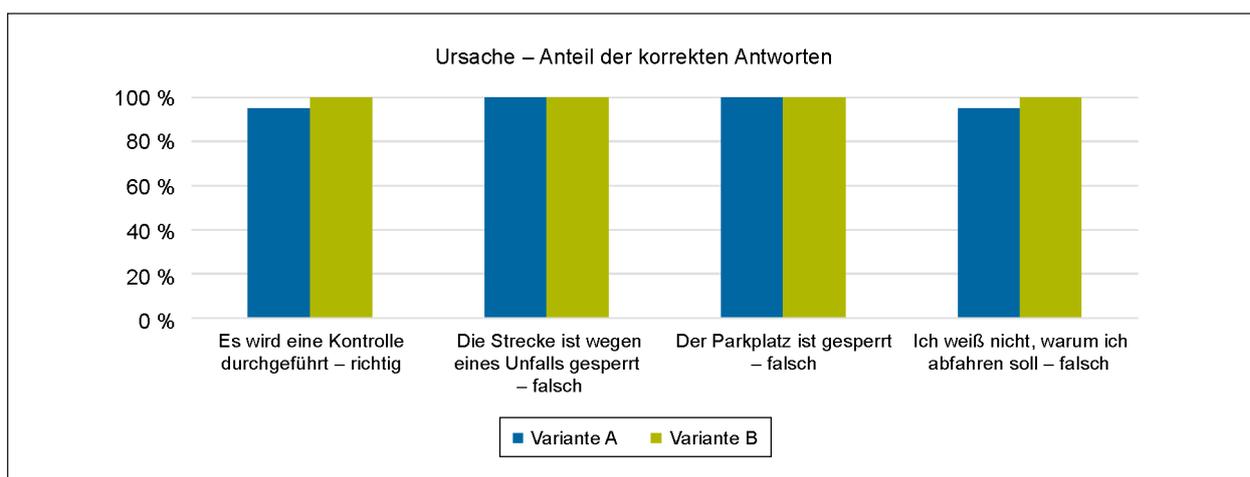


Bild 95: Umfrage-Ergebnisse – Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. der Ursache der ALT

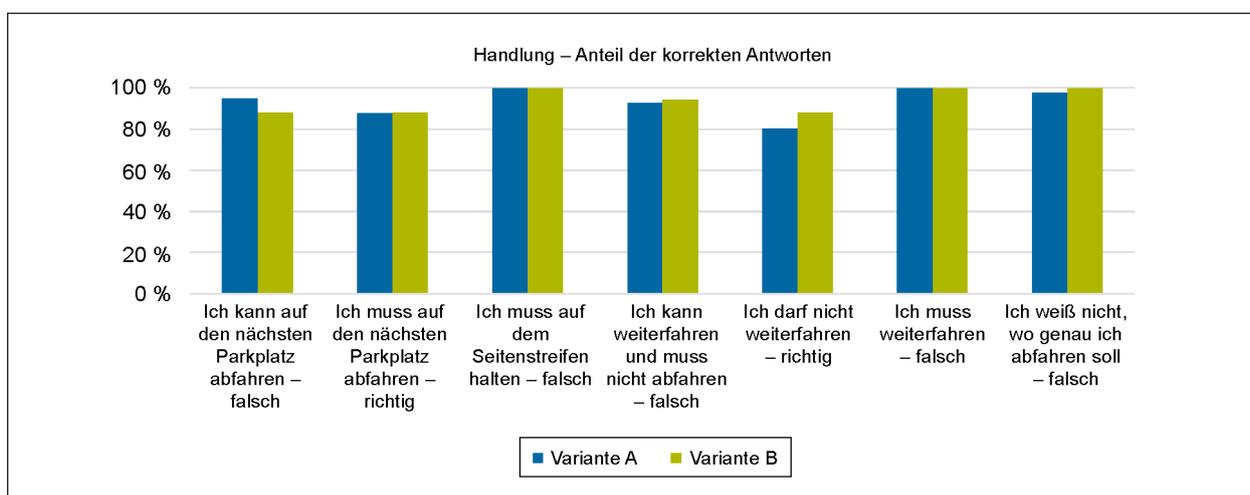


Bild 96: Umfrage-Ergebnisse – Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. der Handlungsimplikation



Bild 97: Umfrage-Ergebnisse – Abfrage der Übereinstimmung von Verständnis der ALT und Bedeutung der ALT



Bild 99: Geschwindigkeitsbegrenzung bei ALT

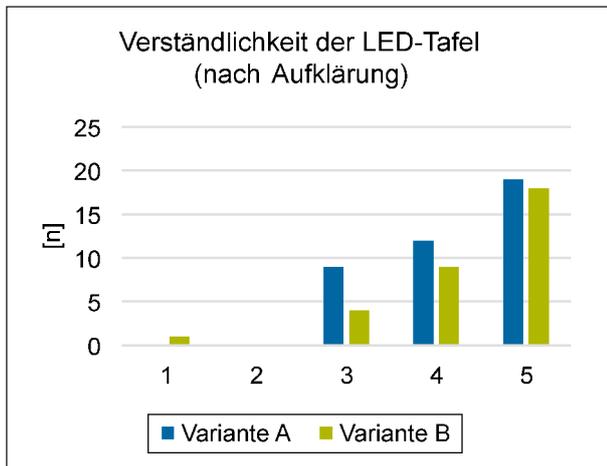


Bild 98: Ergebnisse der Online-Umfrage – Abfrage der Verständlichkeit nach Aufklärung

von 100 % derjenigen, die ALT-Variante B gezeigt bekamen, korrekt beantwortet.

Die Abfrage, ob die Teilnehmer verstanden haben, dass sie auf den nächstliegenden Parkplatz ausfahren müssen, da dort eine Lkw-Kontrolle durchgeführt wird, wurde von der Mehrheit verstanden (Bild 97). Jeweils 2 (5 %) und 3 (9 %) Teilnehmer der ALT-Variante A bzw. ALT-Variante B gaben an, diese Bedeutung nicht in der Beschilderungsvariante verstanden zu haben. Die erneute Abfrage der Verständlichkeit der ALT auf einer 5-stufigen Likert-Skala (1 = unverständlich; 5 = verständlich) nachdem die Teilnehmer über die Bedeutung der ALT aufgeklärt worden sind (Bild 98), ergab für Variante A ein  $M = 4,25$  ( $SD = 0,81$ ) und für Variante B ein  $M = 4,21$  ( $SD = 1,07$ ). Beide Variante sind demnach weiterhin als vergleichbar positiv zu bewerten.

Die Abfrage nach der letzten Geschwindigkeitsbegrenzung (60 km/h), die kurz vor Ende des Videos gezeigt wurde, verdeutlicht, dass diese von der Mehrheit der Teilnehmer korrekt erkannt wurde ( $n = 70$ ). Bild 99 zeigt die Aufschlüsselung der Antworten.

#### 7.4.1.3 Diskussion

Die Online-Umfrage zur Evaluierung der Beschilderungsvarianten zeigt, dass beide Varianten positiv bewertet werden und hinsichtlich ihrer Verständlichkeit vergleichbare Ergebnisse erzielen. Um vereinzelt auftretende Unklarheiten bei den Adressaten zu vermeiden, empfiehlt es sich, eine weitere ALT aufzustellen, die zusätzlich zu der hier evaluierten ALT (A oder B) eine weitere konkrete Handlungsaufforderung an die betroffenen Verkehrsteilnehmer stellt.

### 7.5 Evaluation der Verwendung einer zweiten Ausleittafel

Resultierend aus den Ergebnissen, die in Kapitel 7.4 vorgestellt wurden, soll im weiteren Verlauf das Hinzuziehen einer weiteren, zweiten ALT untersucht werden. Auf Grundlage von Überlegungen zur möglichen Implementation der Beschilderungsvarianten und der vergleichbaren Güte der Variante A und B, wurde die Entscheidung getroffen, Variante B als erste ALT festzulegen.

Weiterhin ergab die Nutzerbefragung (Kapitel 5), dass ein Großteil unter den Lkw-Fahrern eine zweite Ausleittafel positiv bewerten würde.

Beim Hinzuziehen einer zweiten ALT, würde die erste ALT in einem Abstand von 400 m zu der zweiten ALT stehen. Diese wiederum befindet sich 300 m von dem Beginn der Parkplatzausfahrt (Bezugspunkt) entfernt.

### 7.5.1 Gestaltung einer zweiten Ausleittafel

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 7.2 vorgestellten Gestaltungsmerkmale und ergonomischen Kriterien wurde ein Designvorschlag für eine zweite ALT erstellt. In einem iterativen Prozess und durch Expertenfeedback wurde der Prototyp der ALT präzisiert und entsprechend angepasst. Bild 100 stellt die finale Version der ALT dar, die ebenfalls für die Umfrage verwendet wurde.

Die zweite ALT wurde so gestaltet, dass sie informative Redundanzen zur ersten ALT darstellt, sie allerdings eine konkretisierte Handlungsaufforderung formuliert. Dieses wurde erreicht, in dem einerseits die verbleibende Distanz (300 m) bis zum Beginn der Parkplatzausfahrt hinzugefügt wurde. Der gekrümmte Pfeil gibt andererseits die Fahrtrichtung (rechts ausfahren) an, während das Parkplatzsymbol das Ziel definiert. Auch auf der zweiten ALT werden die Textbausteine abwechselnd auf Deutsch und auf Englisch angezeigt, um eine größere Zielgruppe erreichen zu können. Diese entstehende Dynamik des Wechsels der Textbausteine in Kombination mit den oben auf der ALT angebrachten Leuchten zieht die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer auf sich. Durch die statische Anzeige aller weiteren Elemente auf dieser ALT wird eine visuelle Überforderung vermieden. Um einen Top-Down-Prozess der Informationsverarbeitung zu er-

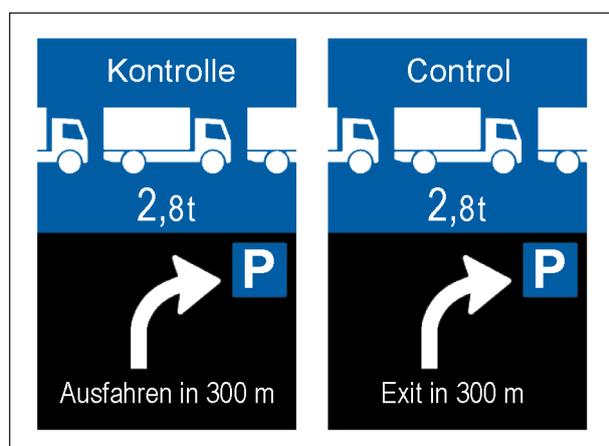


Bild 100: Prototyp der zweiten ALT, die nach der ersten ALT und 300 m vor Beginn des Verzögerungsstreifens für die Ausfahrt auf dem Parkplatz angezeigt wird.

reichen, greift die zweite ALT zusätzlich Charakteristiken der bestehenden ALT auf (Bild 75). Auch strukturiert die Zweiteilung mit einem blauen Hintergrund im oberen Teil und einem schwarzen Hintergrund im unteren Teil der ALT die Informationsverarbeitung. Im oberen Teil werden Hintergrundinformationen zu dem Ausleitprozess kommuniziert. Es werden mehrere hintereinander gereihete Lkw dargestellt. Dies verbildlicht, dass nicht nur ein einzelner Lkw adressiert wird, sondern eine Pulkausleitung durchgeführt wird. Auch wird betont, dass im Gegensatz zur Individualausleitung nicht nur einzelne Lkw von dem Ausleitprozess betroffen sind, sondern alle Lkw. Es wird erneut das Gesamtgewicht angegeben, da dieses Kriterium einigen Teilnehmern nach der ersten ALT laut der ersten Online-Umfrage (Kapitel 7.4.1.2) unklar war.

Auf den gesamten Ausleitprozess betrachtet, gibt somit die erste ALT den Verkehrsteilnehmern einen Überblick über das Handlungsgeschehen und den Kontext, in dem dieses stattfindet. Die zweite ALT hingegen präzisiert die Informationen verstärkt, die in der ersten ALT dargestellt wurden und gibt eine konkrete Handlungsanweisung.

### 7.5.2 Online-Umfrage

Zur abschließenden Validierung des Design-Konzepts der neuen ALT wurde eine weitere Online-Umfrage durchgeführt. Dies ermöglicht zum einen, dass sehr hohe Teilnehmerzahlen erreicht werden können; zum anderen konnte zum Zeitpunkt der Durchführung aufgrund der Covid-19-Pandemie keine Befragung in Person durchgeführt werden.

#### 7.5.2.1 Methode

Im Folgenden werden die Stichprobe, das Studiendesign sowie der Versuchsaufbau und -ablauf beschrieben.

#### Stichprobe

Die Umfrage wurde von  $N = 750$  Teilnehmern aufgerufen, von denen  $n = 657$  die Umfrage ausgefüllt haben. Die Teilnehmer waren überwiegend polnischer Nationalität (Bild 101).

Unter den Befragten waren neun Personen weiblich (1 %). Die Teilnehmer waren zwischen 20 und 74 Jahren alt ( $M = 38.32$ ,  $SD = 8.63$ ) und besaßen einen Lkw-Führerschein der Klassen C1, C, C1E und/

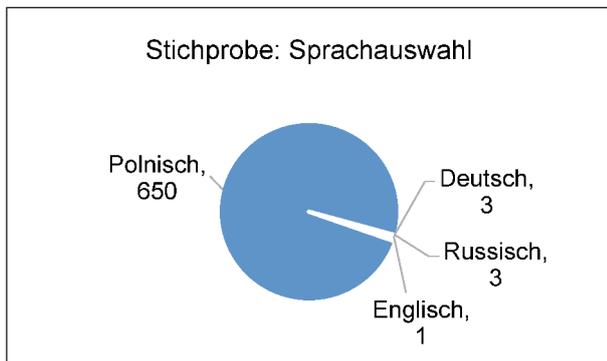


Bild 101: Stichprobe der Online-Umfrage II. Sprachauswahl

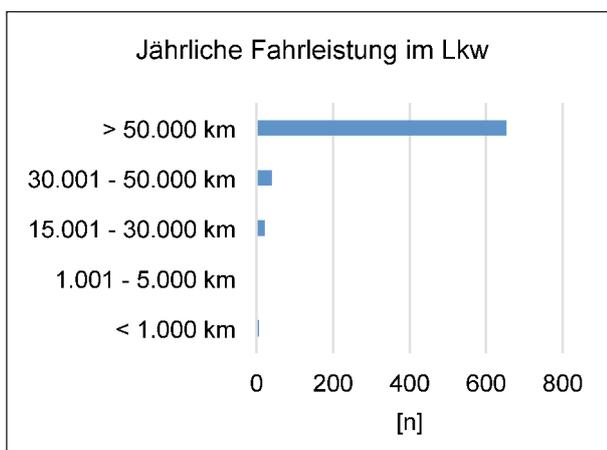


Bild 102: Stichprobe der Online-Umfrage II – Sprachauswahl

oder CE seit 0,5 bis 46 Jahren ( $M = 13.72$ ;  $SD = 8.74$ ).

Die Mehrheit der Teilnehmer ( $n = 653$ ) gab an, im letzten Jahr mehr als 50.000 km mit dem Lkw gefahren zu sein;  $n = 40$  Probanden haben eine Strecke zwischen 30.001 km und 50.000 km mit dem Lkw zurückgelegt. Die restlichen  $n = 33$  Teilnehmer hatten eine Fahrleistung von unter 1.000 km bis 30.000 km im letzten Jahr (Bild 102).

Die Teilnehmer wurden über Posts in Lkw-spezifischen Facebook-Gruppen und über das Anschreiben von Speditionen akquiriert.

### Studiendesign

Im Gegensatz zu der vorherigen Umfrage (Kapitel 7.4.1.1) wird lediglich eine Beschilderungskombination (Bild 103) getestet. Allen Teilnehmern dieser zweiten Online-Umfrage wird demnach das gleiche Video gezeigt.

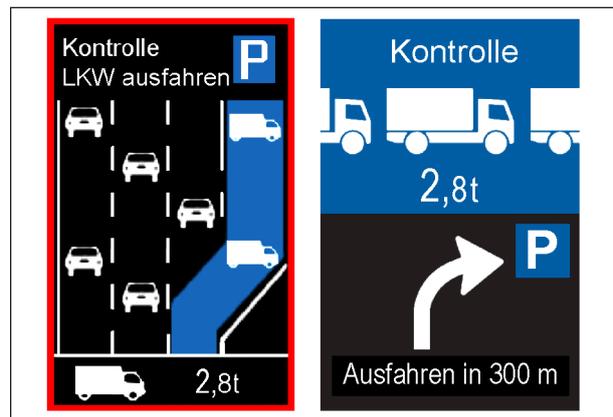


Bild 103: Beschilderungskombination aus erster (Variante B) und zweiter ALT

### Versuchsaufbau und -material

Ebenso wie bei der vorherigen Online-Umfrage soll die Beschilderungskombination in dem Gesamtkontext der Verkehrssituation gesetzt werden. In einem Video, das aus der Sicht der Fahrerkabine eines Lkw gedreht wurde, wurde eine Fahrt auf der Autobahn simuliert. Der Aufbau des Videos ist derselbe wie in Kapitel 7.4.1.1 beschrieben. Lediglich der Aufbau der neugestalteten ALT wurde verändert: Etwa 700 m vor dem Beginn der Parkplatzauffahrt wurde die erste ALT dargestellt. Nach weiteren ca. 400 m wurde anschließend die zweite ALT gezeigt, die sich demnach in einem Abstand von 300 m zu der Parkplatzausfahrt befunden hat. Alle restlichen Schilder des Regelbeschilderungsplans hatten die gleiche Positionierung wie in den vorherigen Darstellungen.

Die Länge der Videos beträgt 1 Minute und 44 Sekunden und kann unter folgendem Link eingesehen werden: [https://youtu.be/3glw\\_-xsmwE](https://youtu.be/3glw_-xsmwE)

Die Umfrage wurde in dem Online-Tool LimeSurvey erstellt. Den Probanden stand die Möglichkeit zur Auswahl die Umfrage auf Deutsch, Englisch, Polnisch und Russisch auszufüllen, um die Nationalitäten und präferierten Sprachen der Lkw-Fahrer auf deutschen Autobahnen zu berücksichtigen. Das Video war in die Umfrage in LimeSurvey eingebettet.

Tabelle 21 stellt eine Übersicht über die Fragen und Aufgaben dar, die von den Teilnehmern in der Umfrage beantwortet wurden. Der Fragekatalog ist nach dem gleichen Schema aufgebaut wie in der ersten Online-Studie, jedoch beziehen sich die Fragen nicht alleinig auf die letzte gezeigte LED-Tafel, sondern auf die Beschilderungskombination von erster und zweiter ALT (Bild 103). Als zusätzliche

Frage/Aufgabe	Antwortformat
Bitte beschreiben Sie kurz die Bedeutung der letzten beiden Verkehrsschilder (LED-Tafeln)	Offen
Sind die Schilder für Sie relevant?	Ja/Nein
Wie würden Sie sich verhalten, nachdem Sie die letzten beiden Schilder (LED-Tafeln) gesehen haben?	Offen
Wie verständlich sind die Schilder?	5-Punkte Skala
Wissenstest	Multiple Choice
Haben Sie verstanden, dass Sie auf den nächsten Parkplatz ausfahren müssen, da dort eine Lkw-Kontrolle durchgeführt wird?	Ja/Nein
Wie verständlich sind die Schilder? (bewusste Doppelung)	5-Punkte Skala
Finden Sie den Abstand der neuen Verkehrsschilder zur Parkplatzausfahrt angemessen? (Wenn Nein: Welchen Abstand würden Sie präferieren?)	Ja/Nein (Numerischer Wert)
Wie schnell dürfen Sie nach der letzten Geschwindigkeitsbegrenzung, die Sie gesehen haben, fahren (in km/h)?	Numerischer Wert

Tab. 21: Fragenkatalog der Online-Umfrage II

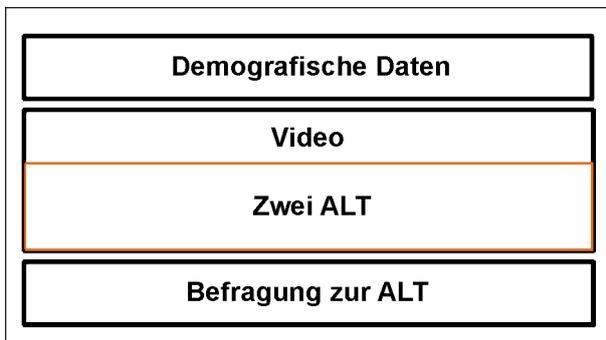


Bild 104: Versuchsablauf der Online-Umfrage II

Frage wurde erhoben, ob die Teilnehmer den Abstand der ersten und zweiten ALT zum Beginn der Parkplatzausfahrt als angemessen empfunden haben und wenn nicht, welchen Abstand sie präferieren würden. Der genaue Inhalt der Umfrage kann in Anhang C eingesehen werden.

**Versuchsablauf**

Der Versuchsablauf ist nach dem Vorbild der ersten Online-Umfrage gestaltet (Kapitel 7.4.1.1), beinhaltet jedoch keine automatisierte Aufteilung der Teilnehmer in Gruppen, sodass alle Teilnehmer das Video der Beschilderungskombination gezeigt bekamen (Bild 104). Die Teilnahme an der Umfrage insgesamt dauerte ca. 10 Minuten.

**7.5.2.2 Ergebnisse**

Die Antworten der Teilnehmer bezüglich der Bedeutung der Beschilderungskombination wurden ins Deutsche übersetzt und inhaltlich kategorisiert. Mehrfachnennungen waren möglich. Die Teilnehmer haben die Bedeutung der Beschilderung in großer Mehrheit korrekt interpretiert (Bild 105). N = 240 Teilnehmer haben angegeben, dass eine Kontrolle durchgeführt wird, n = 217 erkennen, dass sie auf den nächstgelegenen Parkplatz fahren sollen. Auch haben n = 120 Teilnehmer korrekt identifiziert, dass Fahrzeuge ab 2,8 t Gesamtgewicht adressiert sind. n = 70 Teilnehmer haben angegeben, dass die Ausleitung obligatorisch ist.

Kritische Bemerkungen hinsichtlich der Bedeutung der Beschilderungskombination wurden von insgesamt 21 Teilnehmern geäußert. n = 16 haben ange-

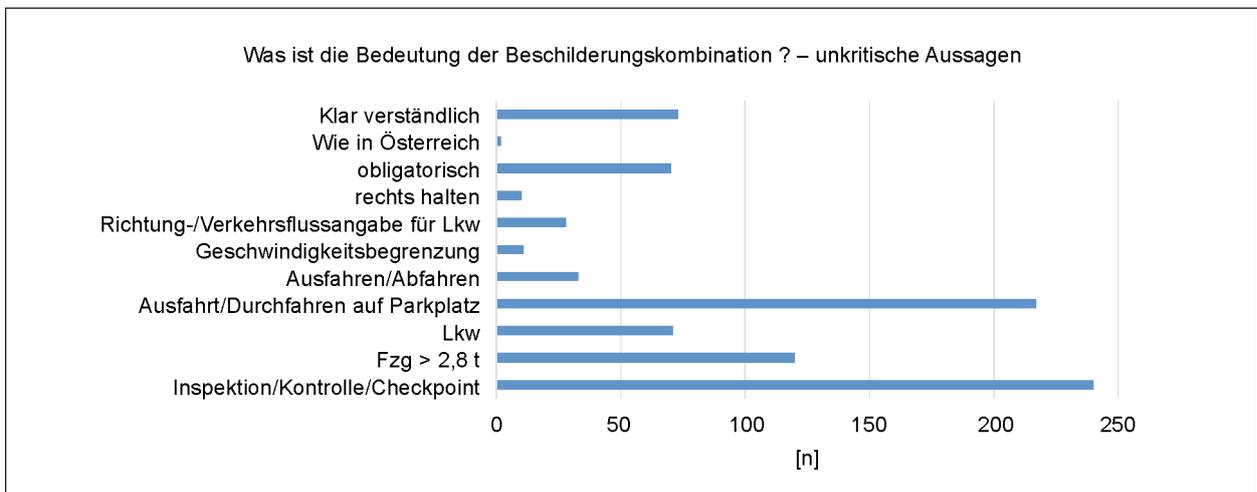


Bild 105: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Unkritische, vermutete Bedeutung der Beschilderungskombination

merkt, dass sie die ALT nicht verständlich fanden; n = 5 waren sich unklar, ob die Ausleitaufforderung als verpflichtend zu verstehen ist (Bild 106).

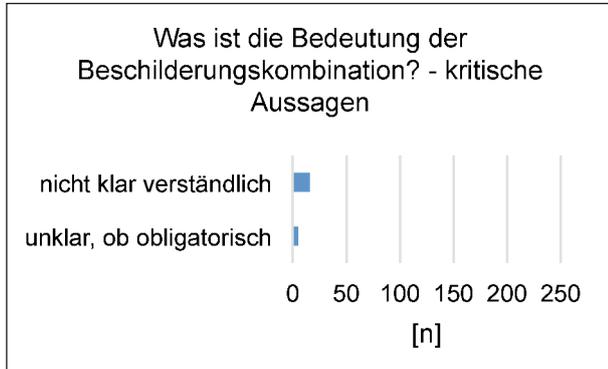


Bild 106: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Kritische, vermutete Bedeutung der Beschilderungskombinationen

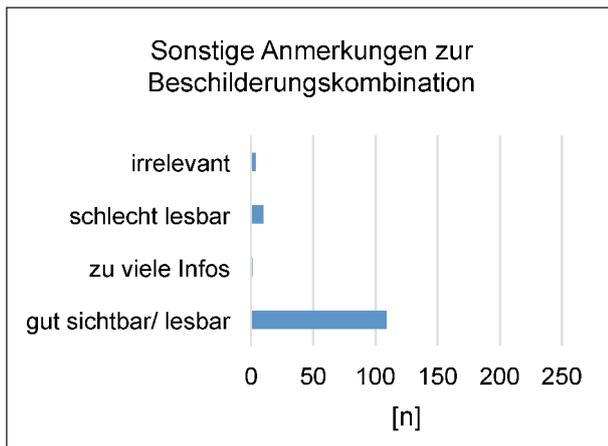


Bild 107: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Sonstige Anmerkungen zur Beschilderungskombination

In den Antworten zur Bedeutung der ALT waren zudem generelle Bewertungen enthalten, die in Bild 107 eingesehen werden können. 109 Teilnehmer kommentierten, dass die Beschilderungskombination gut sichtbar bzw. lesbar sei. n = 10 Teilnehmer merkten hingegen an, dass sie die Beschilderungskombination schlecht lesbar finden. Vier Befragte halten die ALT für irrelevant, n = 1 merkte an, dass die Beschilderungskombination zu viele Informationen enthalte.

Hinsichtlich der Verhaltensweise, die die Befragten zeigen würden (Mehrfachnennungen möglich), nachdem sie die Beschilderungskombination gesehen haben, gaben n = 250 an, dass sie auf bzw. über den nächsten Parkplatz fahren würden. n = 160 Teilnehmer würden den Angaben auf der Beschilderungskombination folgen, wobei sie nicht weiter spezifizierten, wie diese Handlung aussehen würde. 107 Teilnehmer würden ihre Geschwindigkeit verringern bzw. dem Tempolimit anpassen. n = 78 der Befragten gaben an, dass sie durch die Kontrolle fahren würden. Eine Übersicht über alle Antwortkategorien kann Bild 108 entnommen werden. Bild 109 zeigt die Aussagen, die als kritisch einzuordnen sind. 19 Teilnehmer geben an, dass sie die Beschilderungskombination missachteten und normal weiterfahren würden. Weitere Kommentare dieser Probanden lassen allerdings darauf schließen, dass es sich hierbei um einen bewussten Verstoß gegen die Handlungsaufforderung handelt und nicht um ein Missverständnis. n = 14 Befragte äußern ihre Überraschung über die neuen Verkehrstafeln und n = 7 Teilnehmer würden auf BAG-Kon-

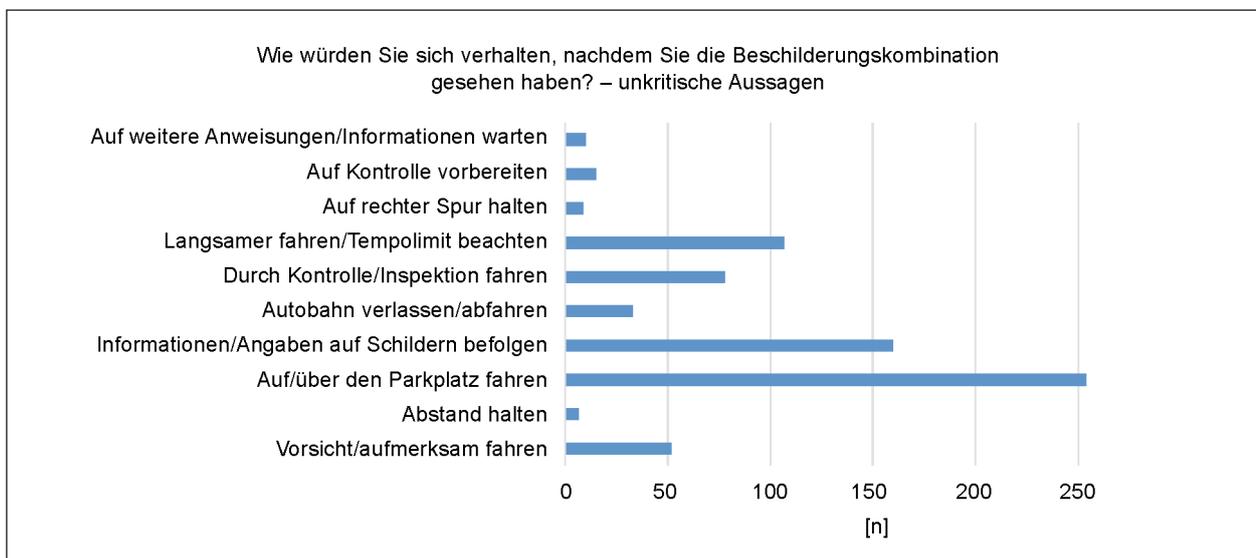


Bild 108: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Vermutete Bedeutung der Beschilderungskombination (unkritische Aussagen)

trolleure warten, die sie an der Parkplatzzufahrt erneut zum Ausfahren auffordert.

Die Teilnehmer bewerteten die Verständlichkeit der Beschilderungskombination aus zwei ALT auf einer fünfstufigen Likert-Skala (1 = unverständlich; 5 = verständlich) mit  $M = 4,22$  ( $SD = 0,93$ ). Die Verteilung der Bewertung kann Bild 110 entnommen werden.

Das Wissensquiz zeigt, dass die überwiegende Mehrheit der Befragten ein korrektes Verständnis davon bilden konnte, welche Verkehrsteilnehmer von der Beschilderungskombination betroffen sind. 92 % der Teilnehmer geben richtig an, dass Fahrzeuge ab 2,8 t mit der Ausleitungsaufforderung adressiert werden (Bild 111). Ebenso hoch ist die Korrektheit der Antworten bezüglich der Ursache der Beschilderungskombination (Bild 112) sowie der

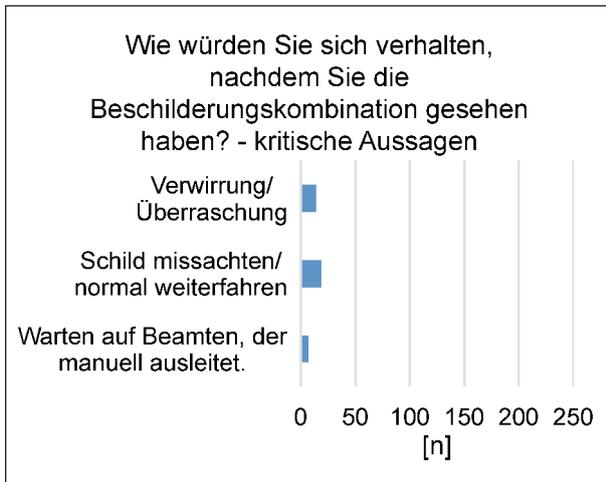


Bild 109: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Sonstige Anmerkungen zur Beschilderungskombination

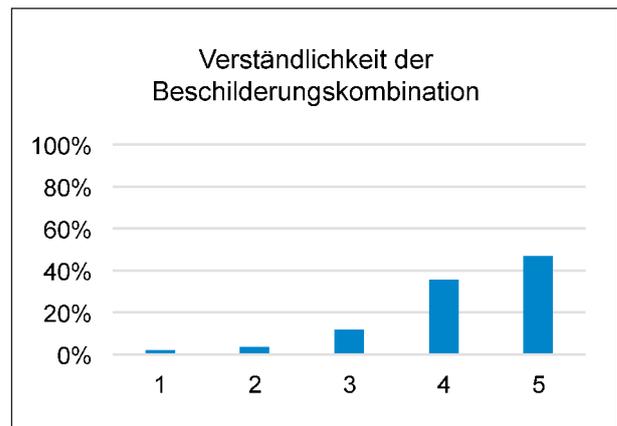


Bild 110: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Abfrage der Verständlichkeit vor der Aufklärung

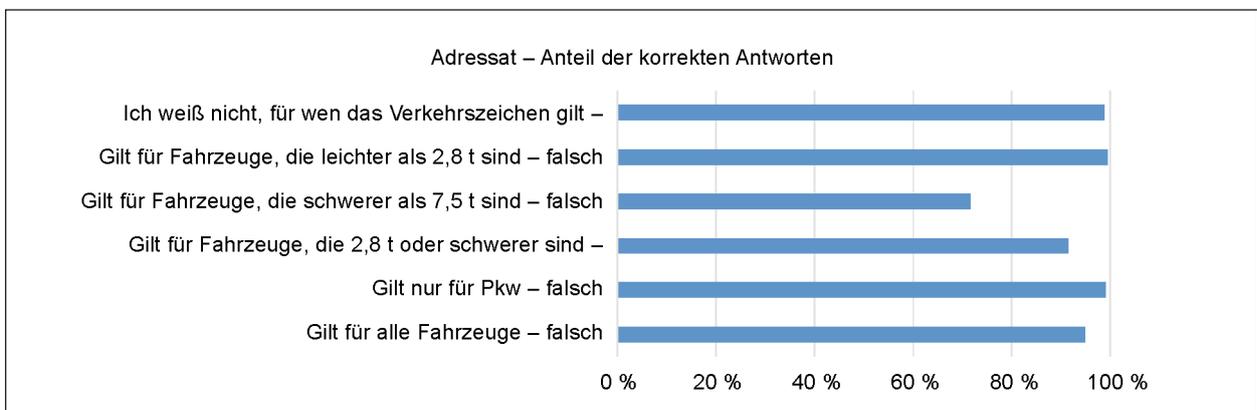


Bild 111: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. des Adressaten

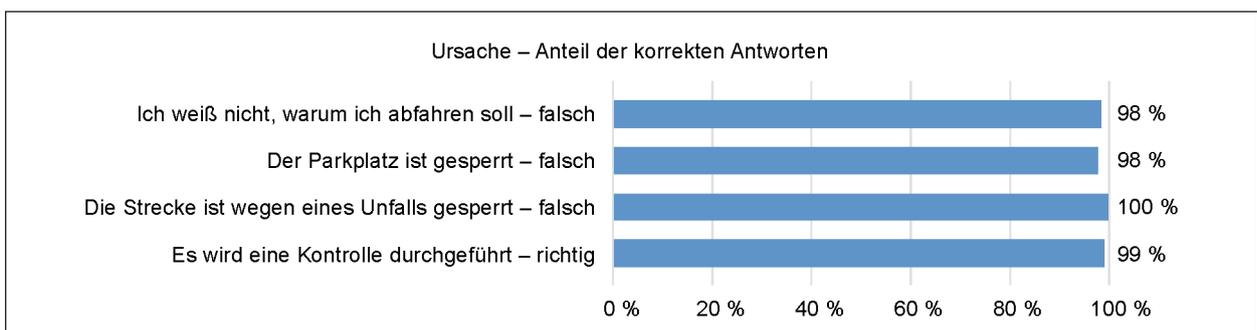


Bild 112: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. Ursache der Beschilderungskombination

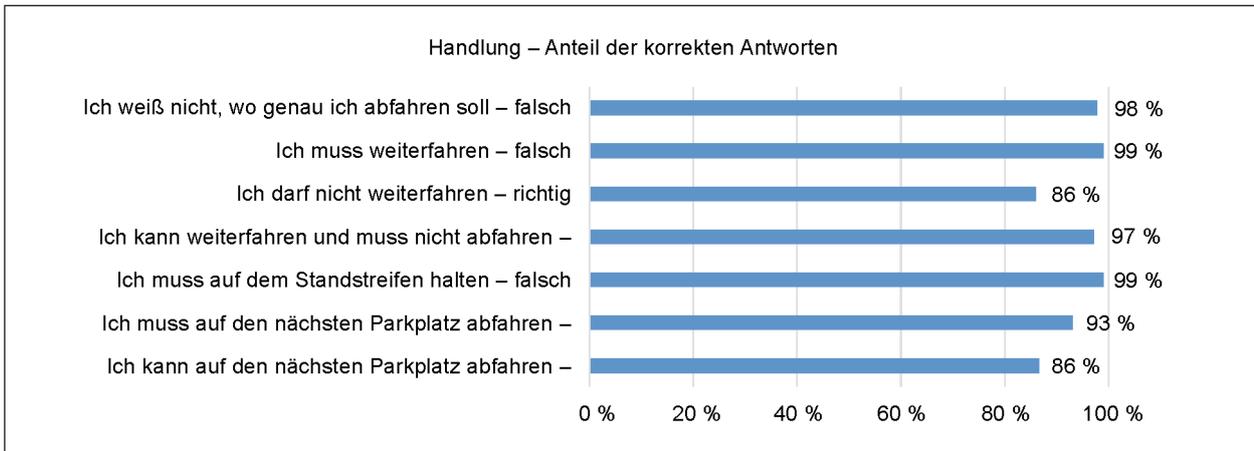


Bild 113: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. der Handlungsimplikation



Bild 114: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Angemessenheit der Distanz zwischen erster und zweiter ALT

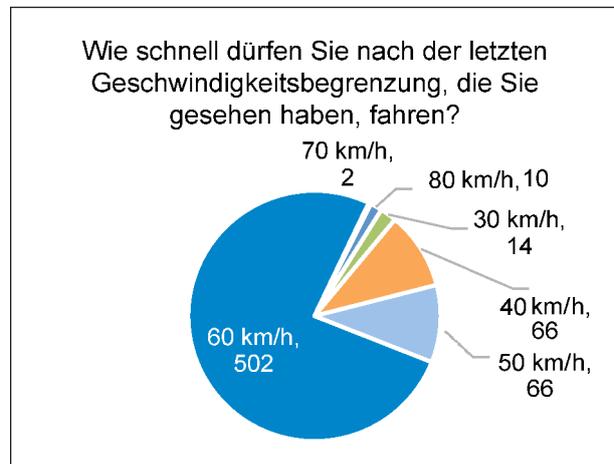


Bild 116: Ergebnisse der Online-Umfrage II – Geschwindigkeitsbegrenzung bei letzter ALT

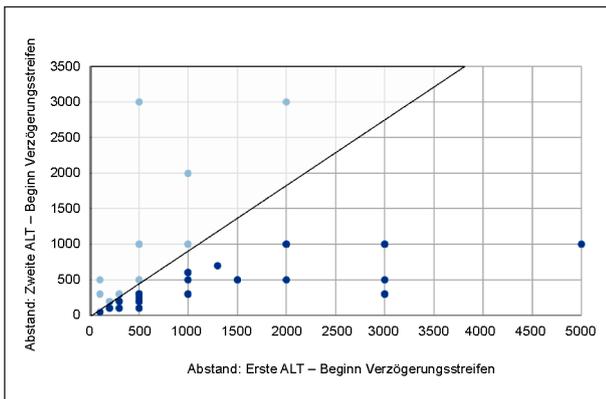


Bild 115: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Gewünschter Abstand von erster ALT zu Verzögerungsstreifen und zweiter ALT zu Verzögerungsstreifen. Ausgegrauter Bereich kennzeichnet Distanzen, die eine Umkehrung der Beschilderung bedingen würden.

sie erneut auf einer fünfstufigen Likert-Skala (1 = unverständlich; 5 = verständlich) wie verständlich sie die ALT empfunden haben. Die mittlere Bewertung blieb weiterhin hoch bei  $M = 4,23$  ( $SD = 0,88$ ).

Der Abstand zwischen der ersten und der zweiten ALT wurde von  $n = 563$  der Teilnehmer als angemessen bewertet (Bild 114).  $n = 49$  der Befragten äußerten eine andere Präferenz, die sie wie in Bild 115 ersichtlich spezifizierten. Hierbei kennzeichnet der ausgegraute Bereich die Angaben, die eine Umkehrung von erster und zweiter ALT bedingen würden. Die Mehrheit der Antworten liegt in einem ähnlichen Bereich, wie in dem Video zu der Beschilderungskombination vorgestellt. Aufgrund dieses Umstands und der niedrigen Anzahl der Änderungswünsche der Distanzen können die geplanten Distanzen von 700 m bzw. 300 m der ersten bzw. zweiten ALT bis zum Beginn des Verzögerungsstreifens des Parkplatzes (Bezugspunkt) als angemessen bewertet werden.

geforderten Handlung (Bild 113) einzuordnen. Nachdem die Teilnehmer über die intendierte Bedeutung und Handlungsimplikation der Beschilderungskombination aufgeklärt wurden, bewerteten

Die abschließende Frage nach der zuletzt angezeigten Geschwindigkeitsbegrenzung in dem Video wird von  $n = 502$  Teilnehmern korrekt beantwortet (Bild 116).  $n = 12$  Teilnehmer geben die erlaubte Geschwindigkeit zu hoch an (70 km/h und 80 km/h). Jeweils 66 Befragte geben an, dass die Geschwindigkeitsbegrenzung bei 40 km/h bzw. 50 km/h liegt.

## 7.6 Finale Iteration

Um weiterhin die Lesbarkeit zu verbessern, den kognitiven Aufwand der Informationsverarbeitung zu reduzieren wurden finale Änderungen an dem Prototyp für die erste und zweite ALT vorgenommen (nicht StVO-konforme Variante; Bild 117). Hierbei wurde das Textfeld auf die Angabe „Kontrolle“ (bzw. „Control“ im Englischen) reduziert. Analog wurde ebenso das Textfeld der zweiten ALT im Deutschen sowie im Englischen angepasst (Bild 118).

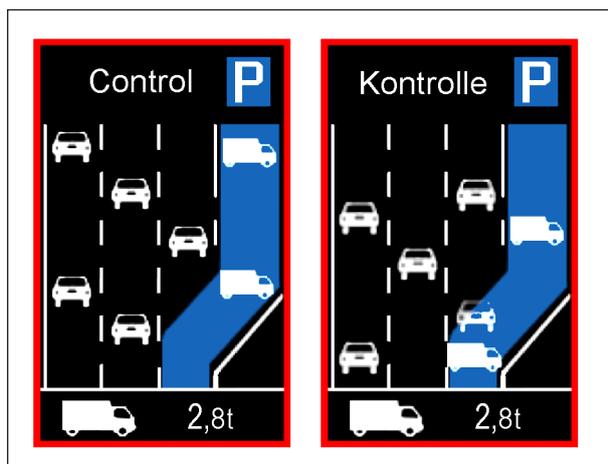


Bild 117: Finale Iteration der nicht StVO-konformen, ersten ALT

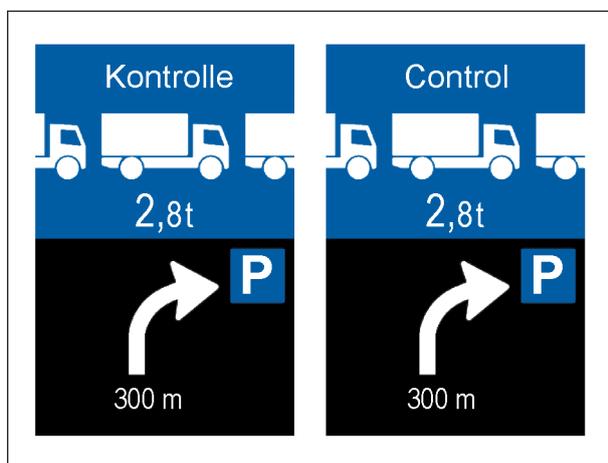


Bild 118: Finale Iteration der zweiten ALT

## Diskussion

Die Online-Umfrage zur Evaluation der Beschilderungskombination lässt darauf schließen, dass ein sehr hohes Verständnis der ALT und eine positive Bewertung dieser bei den Befragten vorlag. Im Folgenden werden einige Aspekte der Ergebnisse interpretiert und eingeordnet.

Einige Befragte scheinen sich stark auf ihr Erfahrungswissen zu verlassen und warten weiterhin auf BAG-Personal, das sie an der Ausfahrt zum Parkplatz mit einer Kelle manuell herauswinkt. Es ist anzunehmen, dass sich dieses Verhalten nicht zwangsläufig auf ein mangelndes Verständnis der ALT zurückführen lassen muss, sondern darauf, dass die Befragten nicht darüber informiert sind, dass sich der Prozess des Ausleitens verändert hat. Um diese Änderung noch deutlicher zu kommunizieren, könnten Überkopfanzeigen für die jeweiligen Fahrspuren implementiert werden. Es ist weiterhin anzunehmen, dass sich das Erfahrungswissen, das auf dem veralteten Ausleitprozess basiert, in Zukunft anpassen wird, sobald die neue Ausleitbeschilderung flächendeckend eingeführt wird.

Von einem direkten Vergleich zwischen der ersten Online-Umfrage, die die ALT-Varianten A und B miteinander verglichen hat und der zweiten Online-Umfrage, die das Hinzuziehen einer zweiten ALT evaluiert, wird aufgrund der starken Unterschiede in der Stichprobenszusammensetzung abgesehen. Da die Umfragen aufgrund der Covid-19-Pandemie ausschließlich online verteilt werden konnten, wurden die Links zu beiden Umfragen in entsprechenden Internet-Foren verteilt, die verschiedene Nationalitäten adressierten. Dennoch wurde ein extremer Unterschied in den Umfragen bezüglich der Sprachauswahl der Befragten festgestellt. Obwohl beide Umfragen eine vergleichbare Güte der ALT feststellen lassen, kann davon ausgegangen werden, dass deutschsprachige Teilnehmer aufgrund der Sprachauswahl, die auf den ALT vertreten ist, gegenüber fremdsprachigen Teilnehmern einen Vorteil hinsichtlich des Verständnisses der ALT haben. Auch unter Ausblendung dieses Faktors, kann dennoch eine klare Empfehlung für die Implementation zweier ALT in den Ausleitprozess ausgesprochen werden. Einerseits kann so die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass die ALT nicht übersehen wird und andererseits kann die kommunizierte Aufforderung mithilfe einer zweiten ALT konkretisiert und ggf. in Erinnerung gerufen werden.

## 8 Bewertung und Evaluation der aktuellen BAG Bediensoftware

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

### 8.1 Analyse des Status Quo

Um den Status Quo der Bediensoftware zu analysieren, wurden folgende Methoden verwendet:

#### 8.1.1 Methoden

##### Aufgabenanalyse

Zunächst wurden im Rahmen einer Aufgabenanalyse die Haupt- und die Nebenaufgaben identifiziert, die mit der Bediensoftware bearbeitet werden. Hierfür wurde im ersten Schritt der „Leitfaden Sicheres Ausleiten“ (Bundesamt für Güterverkehr, 2018) betrachtet. Zusätzlich wurden Bildschirmaufzeichnungen, die die Verwendung der Software durch BAG-Kontrollpersonal zeigte, analysiert. Auf dieser Basis konnten von den Nutzern oft ausgeführte Klickbewegungen sowie die davon abgeleiteten Blickbewegungen festgehalten werden, die zur Aufgabenerfüllung gemacht wurden.

##### Schriftgrößen

In einem zweiten Schritt wurden die Schriftgrößen analysiert. Da 80 % der befragten Nutzer über 40 Jahre alt sind (vgl. Bild 47), sollte die Software auch eine potenzielle Altersweitsichtigkeit der Nutzer berücksichtigen und auch von dieser Gruppe der Nutzer adäquat verwendbar sein.

##### Umfrageergebnisse

Die in Kapitel 5.2 beschriebenen Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge, die im Rahmen der Be-

fragung des BAG-Kontrollpersonals erhoben wurden, lieferten weitere Hinweise darauf, in welcher Hinsicht die Software verbessert werden könnte.

##### Bedienfehler und -Auffälligkeiten

Die Bildschirmaufzeichnungen dienten neben der Analyse der Klickbewegungen auch dazu, umständliche oder fälschliche Bedienschritte zu identifizieren.

##### Expertenanalyse der Software

Durch die Bedienung und Begutachtung der Software durch Experten der Ergonomie, konnten ebenfalls weitere Merkmale identifiziert werden, die nicht den Maßstäben der Usability genügen.

### 8.1.2 Festgestellte Mängel

#### 1. Überschreibung der Anzeigehalte der ALT

Bei der Individualausleitung wird auf der ALT das Kennzeichen des Lkw angezeigt, der ausgeleitet werden soll. Die Bediensoftware ermöglicht es den Nutzern jedoch, das aktuell angezeigte Kennzeichen zu überschreiben, bevor dies vom entsprechenden Lkw-Fahrer registriert werden konnte. Die Bedienenden der Software bekommen keinen Hinweis bezüglich der Folgen dieser angestrebten Aktion. Die Befragung des BAG-Kontrollpersonals in Bezug auf die Kennzeichenausleitung ergab, dass die Ausleitung eines weiteren Fahrzeugs so lange nicht möglich sein sollte, bis der bereits ausgewählte Lkw auch sicher ausgeleitet wurde.

#### 2. Nachweisführung bei Verstößen gegen die Ausleitaufforderung

Die Nachweisführung gegen Lkw-Fahrer, die die Ausleitaufforderung missachtet haben, erfordert in der derzeit implementierten Form einen hohen manuellen Aufwand. Aufgrund der begrenzten Anzahl des Personals kann zudem nicht jedes Fahrzeug verfolgt werden, weshalb nicht jede Missachtung geahndet werden kann.

#### 3. Größe der Kameraaufnahmen

Die Analyse der Bildschirmaufnahmen sowie die Befragung der BAG-Kontrollleute ergab, dass die

Kamerabilder zu klein sind (Bild 119) und bei Sichtung manuell über den Browser herangezoomt werden müssen (Bild 120).

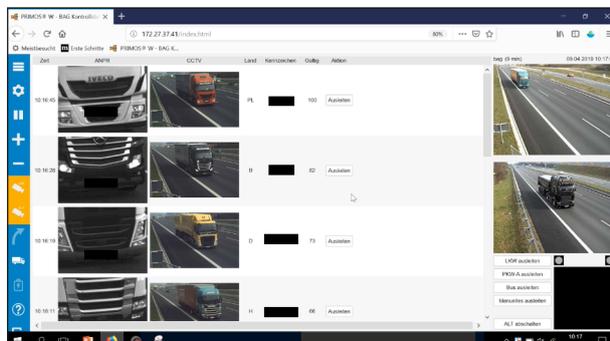


Bild 119: Normalgröße der Kameraaufnahmen

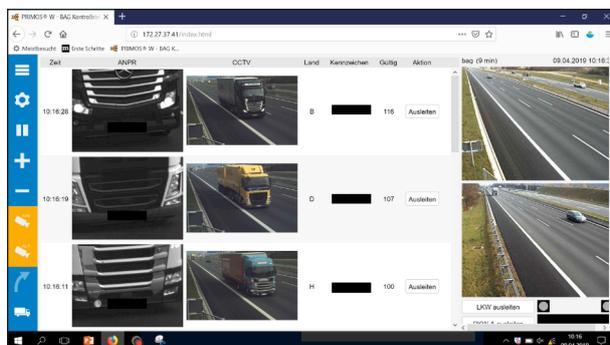


Bild 120: Vergrößerung der Anzeigeeinhalte bei Nutzung durch BAG-Personal

#### 4. Auflösung der Aufnahmen der Kennzeichenerfassung zu gering

Des Weiteren wurde über die Lesbarkeit der Kennzeichen auf den Bildern der ANPR berichtet. Die Auflösung dieser Aufnahmen mache es schwer das Kennzeichen gut lesen zu können (Bild 121).

#### 5. Mangelnde Zuverlässigkeit der Ansteuerung der ALT und fehlende Überprüfungsmöglichkeiten der Anzeigeeinhalte der ALT

Die Bediensoftware zeigt einen Verbindungsabbruch an, indem die ALT in einem dunklen Lila gefärbt wird. Durch die dezente Farbwahl ist dieser Systemzustand nur schwer erkennbar. In der Befragung des BAG-Personals wird der Wunsch nach einer weiteren Kamera geäußert, die die ALT und die Fahrzeuge aus Fahrtrichtung filmt, um zu sehen, ob die ALT störungsfrei funktioniert und den gewünschten Anzeigeeinhalte anzeigt.

#### 6. Visuelle Belastung durch hohe Anzahl angezeigter Pkw- und/oder Lkw-Kennzeichen in einer durchlaufender Bildlaufleiste

Wie bereits durch das Ingenieurbüro GEVAS HUMBURG und Partner angemerkt, wird die Bildlaufleiste bei jedem vorbeifahrenden Lkw fortlaufend aktu-

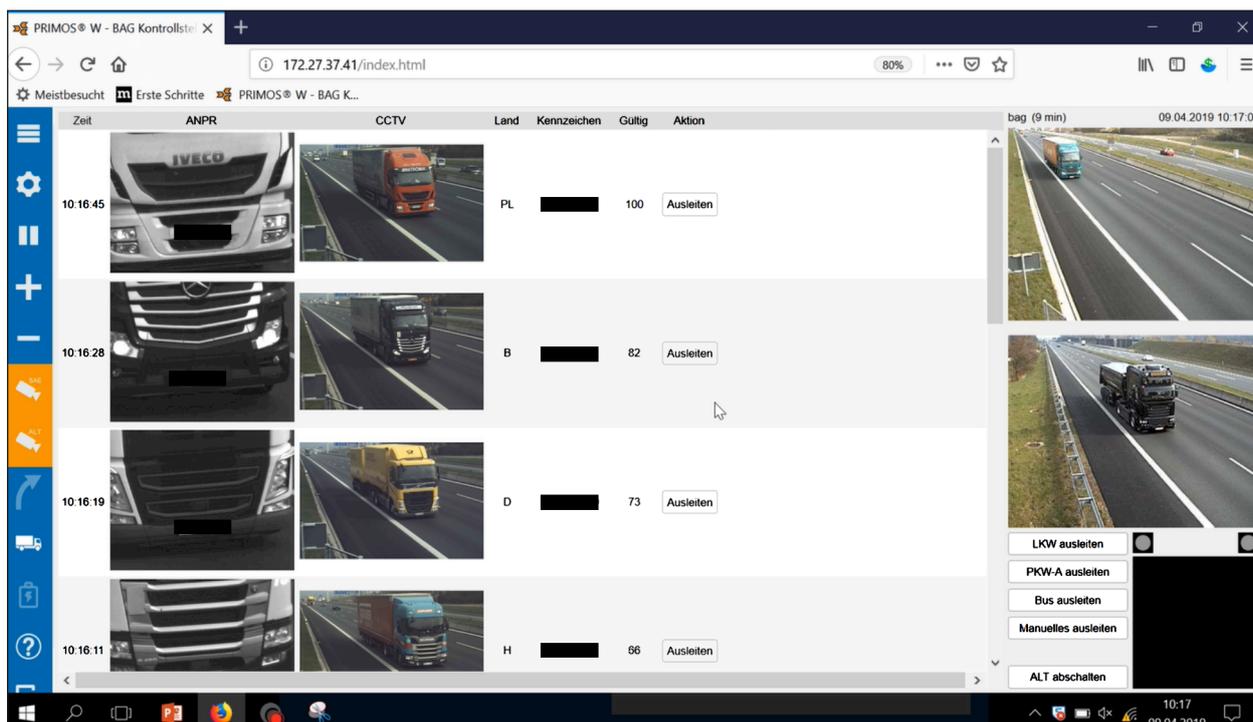


Bild 121: Verdeutlichung der Größe der Kennzeichenanzeige im Vergleich zum Gesamtbildschirm

Zeit	EAK	FG	DE	Beschreibung	Typ	Meldung	Zeitstempel
09.04.2019 12:46:15	32	4	167	ALT Blinker	Stellzustand	Aus	2019-04-09T10:46:15.526Z
09.04.2019 12:46:15	32	4	195	ALT Blinker Clusterkanal	Betriebsart	Normalbetrieb	2019-04-09T10:46:15.507Z
09.04.2019 12:46:15	32	4	195	ALT Blinker Clusterkanal	Helligkeit	100 %	2019-04-09T10:46:15.464Z
09.04.2019 12:46:15	1	4	161	ALT Matrixanzeige	Stellzustand	Aus	2019-04-09T10:46:15.299Z
09.04.2019 12:46:15	1	4	193	ALT Matrixanzeige Clusterkanal	Betriebsart	Normalbetrieb	2019-04-09T10:46:15.231Z
09.04.2019 12:46:15	1	4	193	ALT Matrixanzeige Clusterkanal	Helligkeit	100 %	2019-04-09T10:46:15.204Z
09.04.2019 12:44:17	1	4	161	ALT Matrixanzeige	Stellzustand	Text: #2476541558	2019-04-09T10:44:47.236Z

Bild 122: Ausschnitt aus TLS-Meldungsarchiv

alisiert, sodass die bereits angezeigten Lkw um eine Stelle nach unten versetzt werden (HUMBERG, 2017). Das geschieht abhängig davon, wie schnell die Fahrzeuge aufeinanderfolgen. In der aktuellen Version werden immer die vier aktuellsten Einträge angezeigt. So verändert sich ein großer Bildausschnitt mit jeder Aktualisierung. Benutzende verarbeiten diese visuellen Reize jedes Mal. So entsteht gerade bei schnell und vielen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen eine hohe kognitive Belastung.

## 7. Ineffiziente Blick- und Klickbewegung bei Individualausleitung

Günstig ist es, wenn Informationen und Schaltflächen, die für regelmäßig ausgeführte Arbeitsschritte relevant sind, dicht beieinanderliegen. Das reduziert die benötigte Ausführungszeit und Anstrengung. Aufgrund der Anordnung von Schaltflächen und Informationseinheiten müssen Nutzende zum Durchführen einer Individualausleitung ineffiziente Blickwege zurücklegen (Bild 123): Es wird auf der linken Seite gestartet, um die durchlaufende Bildlaufleiste zu pausieren (1), dann muss beim Vergleich des Kennzeichens (3) mit der ANPR Aufnahme (2) die Aufnahme der Übersichtskamera übersprungen werden (4). Anschließend wird bei korrektem Kennzeichen der Ausleitknopf und bei inkorrektem Kennzeichen der Schaltfläche „Manuell ausleiten“ unten rechts auf der Seite angesteuert (5).

## 8. Ineffizienter Ablauf beim Speichern der relevanten Information für die Tatbestandsaufnahme

Für die Erfassung eines vorbeigefahrenen Fahrzeuges wird durch die Bedienenden der Software ein Anhang für den Tatbestand erstellt. Bisher wird von den Benutzenden der BAG-Software über das Snipping-Tool eine Bildschirmaufnahme eines Meldearchivs erstellt. In dem Meldearchiv werden die Zustände der verbauten Geräte entsprechend der Systematik der „Technischen Lieferbedingungen



Bild 123: Ineffiziente Blick- und Klickbewegungen bei Individualausleitung

Streckenstationen“ (TLS) abgelegt. Im Folgenden wird hierfür die Begrifflichkeit TLS-Meldearchiv verwendet. Bei Fahrzeugen, die über das Kennzeichen ausgeleitet werden, wird neben dem TLS-Meldearchiv zusätzlich eine Bildschirmaufnahme vom Ausleitprotokolleintrag des betreffenden Fahrzeuges erstellt. Vor der Bildschirmaufnahme des TLS-Meldearchivs muss der richtige Tag ausgewählt werden und über die Uhrzeit der richtige Bildausschnitt gefunden werden. Dieser Prozess wurde von dem BAG-Kontrollpersonal als aufwendig und kompliziert bemängelt.

## 9. TLS-Meldearchiv und Ausleitprotokoll unverständlich

Abgesehen von dem ineffizienten Ablauf zum Erstellen des Tatbestandsanhangs weist auch das TLS-Meldearchiv selbst Verbesserungspotenzial bezüglich seiner Verständlichkeit und Übersichtlichkeit auf: Das TLS-Meldearchiv dokumentiert u. a. den Status der ALT in Zahlencodes und Abkürzungen. Das BAG-Personal merkte in der Befragung an, dass nicht immer klar sei, was die Inhalte bedeuteten. Des Weiteren ist das TLS-Meldearchiv als fortlaufende Liste aller Schaltungen aufgebaut. Welcher Inhalt welchem Schaltungsprozess angehört, ist dadurch nicht deutlich voneinander abgegrenzt. Während für den TechniksUPPORT Details aus dem Protokoll des TLS-Meldearchivs für beispielsweise eine Störungsbehebung relevant sein könn-

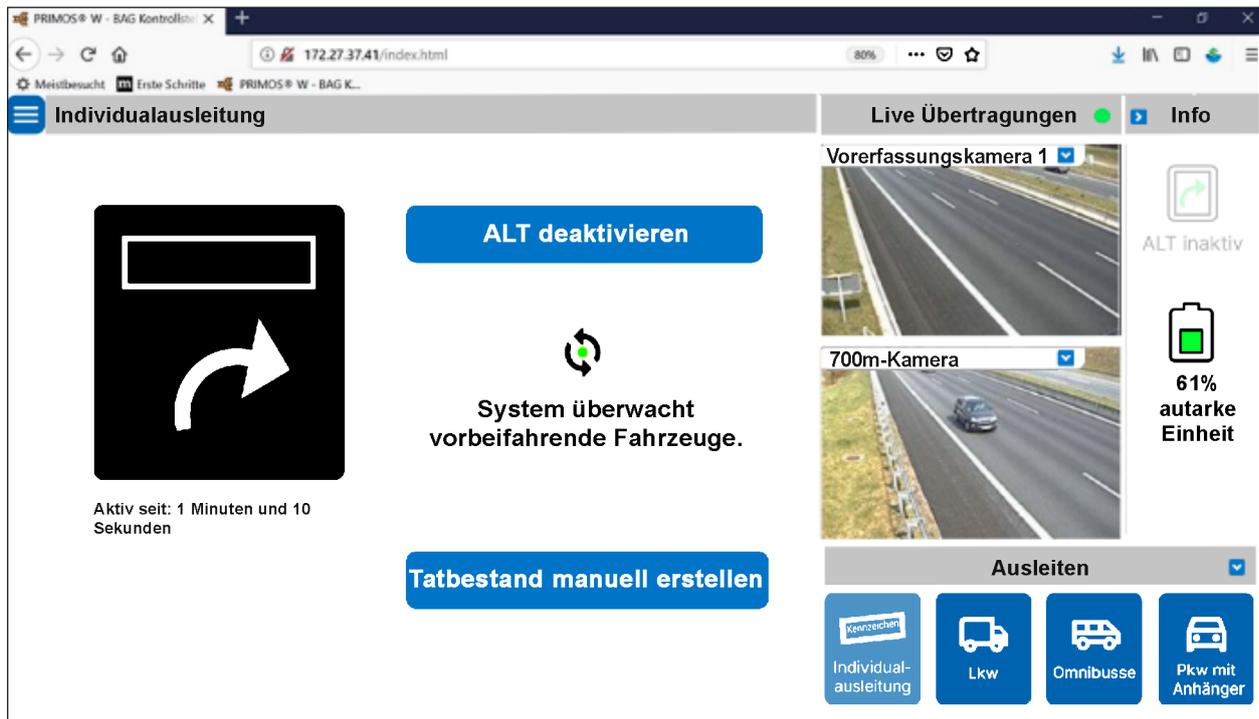


Bild 124: Unauffällige Gestaltung der Schaltflächen zum Ausleiten

ten, sind für die Erstellung des Tatbestandes durch die Bedienenden der Software selbst nur die Start- und Endzeit sowie der Inhalt der Aufschaltung relevant. Die Bedienenden der Software müssen somit weitaus mehr Informationen filtern und verarbeiten als eigentlich notwendig.

## 10. Schriftgrößen innerhalb der Software

Nach DIN EN ISO 9241-303:2008 (DIN e. V., 2009) sollte die Schriftgröße auf einem Bildschirm, der mindestens 15 Zoll groß ist, idealerweise 3,84 mm betragen, um dem Standard von 22 Bogenminuten zu genügen. Hierbei wird ein Abstand von 600 mm zwischen Leser und Display angenommen.

## 11. Gestaltung der Schaltflächen und Symbole

Die Analyse der Benutzungsoberfläche anhand ergonomischer Gestaltungsprinzipien deckte weiteres Verbesserungspotenzial auf. Eine ungeübte Person kann zwar die Hilfeanleitung unter dem Fragezeichensymbol aufrufen, direkte kleinere Hilfestellungen zu Funktionen der Symbole an der linken Seite wie Erscheinen von Infotags beim längeren Verharren auf einem Symbol werden jedoch nicht gegeben. Weiterhin nicht hilfreich ist, dass sich in der Leiste am linken Bildschirmrand neben den Schaltflächen, die man betätigen kann auch ohne

Unterscheidungsmerkmal ein Batterie-Symbol befindet, welches reinen Anzeigecharakter hat (siehe linken Bildrand in Bild 124).

Weiterhin ist der Schaltfläche zum Ausleiten im Verhältnis zu seiner wichtigen Funktion sehr klein und auch farblich nicht auffällig gestaltet (Bild 124). Obwohl er ein wichtiges Element zur Erfüllung der Hauptaufgabe der Bediensoftware darstellt, kann er leicht übersehen und verfehlt werden.

## 8.2 Implikationen für Überarbeitung der Bediensoftware

Die im vorherigen Kapitel angeführten Mängel der bestehenden Bediensoftware implizieren jeweils Verbesserungsmöglichkeiten. Diese werden in entsprechender Reihenfolge im Folgenden aufgeführt.

### 1. Rückfrage & Hinweis zur möglichen Überschreibung der ALT

Um eine frühzeitige und versehentliche Überschreibung des Anzeigeinhalts der ALT zu vermeiden, wird ein Pop-Up Fenster (Overlay) eingeführt. Dies weist Nutzer darauf hin, dass bei einer frühzeitigen Deaktivierung bzw. Überschreibung der ALT nicht sichergestellt ist, dass das entsprechende Fahrzeug die Ausleitaufforderung passiert hat.

## 2. Neue Nacherfassungskamera ermöglicht Nachweisfoto

Das Einführen einer neuen Nacherfassungskamera ermöglicht es dem Kontrolldienst einen Fotonachweis zu erstellen, der zeigt, dass das entsprechende Fahrzeug die Ausfahraufforderung missachtet hat

## 3. Vergrößerung des Bildausschnitts der Kameraaufnahmen

Die Schriftgröße sowie die Kamerabilder der Software werden so vergrößert, dass auch Personal mit Alterssichtigkeit ohne Zoomen des Bildschirms mit der Software arbeiten kann.

## 4. Verbesserung der Bildqualität der Kameraaufnahmen

Um die Leserlichkeit der Kennzeichen auf den Bildern der ANPR zu erhöhen, sollte die Auflösung der Kamera verbessert werden. Der Bildausschnitt der ANPR könnte sich exklusiver auf das Kennzeichen beschränken und dann vergrößert werden. Zudem könnte ein stärkerer Kontrast für die Aufnahme eingestellt werden.

## 5. Sichtbarkeit des Systemstatus erhöhen

Um deutlicher zu visualisieren, ob die ALT aktiv und funktionsfähig ist, sollte anhand von eindeutig kodierten Gestaltungselementen kommuniziert werden. Die Farbe Grün indiziert entsprechend die Funktionsfähigkeit des Ausleitsystems.

## 6. Verringerung der Anzahl von Kamerabildern auf dem Bildschirm

Indem die Kamerabilder vergrößert werden (siehe Implementierungsschritt 3.), wird im gleichen Zug die Anzahl der Bilder, die auf einer Seite angezeigt werden, verringert. Die Kombination aus verbesserter Bildqualität, der vergrößerten Anzeige und der geringeren Anzahl von Bildern pro Seite sorgt für eine bessere Leserlichkeit der Kennzeichen und damit einhergehend mit einer geringeren Verarbeitungslast.

## 7. Gezieltere Platzierung von Informationen und Schaltflächen

Die für die Aufgaben relevanten Informationen und Schaltflächen werden nebeneinander platziert, um

den kognitiven Aufwand zu minimieren und Klick- und Blickbewegungen zu verbessern.

## 8. & 9. Entfernen nicht benötigter Informationen und Erstellung eines Ausleitprotokolls

Das Ausleitprotokoll und das TLS-Meldearchiv werden jeweils für die Beweisführung bei Nichtbeachten der Ausleitaufforderung benötigt. Die Informationen beider sollten automatisch in einer Übersicht verständlich dargestellt werden, die auch als ausgefüllte Vorlage für die Tatbestandsaufnahme dient. Dafür sollen nicht benötigte Informationen gestrichen werden und die Tatbestandsaufnahme mit einem Klick erstellt werden können.

Insbesondere nachfolgende Informationen sollen auf Anforderung des Anwenders in einem Ausleitprotokoll automatisiert dargestellt werden:

- Anzeigehalt ALT (Piktogramm vs. Kennzeichen)
- Schriftzug der ALT, z. B. „Lkw ausfahren“
- Position der ALT
- Name der Kontrollstelle
- Zeitpunkte der Aktivierung und Deaktivierung der ALT (sekundengenau)
- Foto der ANPR (Kennzeichen)
- Foto des Fahrzeuges am Standort der Nachverfolgungskamera

Die dargestellten Punkte sind nicht abschließend, eine detaillierte Definition der im Ausleitprotokoll darzustellenden Inhalte ist im Rahmen der Projektentwicklung noch auszuarbeiten.

## 10. Einhaltung der Mindestschriftgröße

Der Prototyp einer neuen Bediensoftware wird unter der Annahme erstellt, dass der verwendete Bildschirm nicht kleiner als 15 Zoll sein wird und bedingt durch Alterssichtigkeit ein größerer Abstand zum Bildschirm eingenommen wird.

## 11. Größere und auffälligere Gestaltung der Schaltflächen

Die Schaltfläche zum Ausleiten der Fahrzeuge sollte entsprechend seiner Wichtigkeit deutlich größer und auffälliger, beispielsweise durch Einfärbung, gestaltet werden, sodass er leicht zu finden und zu bestätigen ist.

### 8.3 Weiterentwicklung der Bediensoftware

Auf Grundlage der identifizierten Schwächen der bestehenden Software und der daraus abgeleiteten Möglichkeiten zur Verbesserung der Software, wurden Prototypen gestaltet.

Die Verbesserungsvorschläge wurden innerhalb zweier Klick-Prototypen implementiert. Der erste Prototyp zielt darauf ab, möglichst nah an dem jetzigen Aufbau der Bediensoftware zu verbleiben, um die Umstellung auf das neue Layout für die Nutzenden möglichst leicht zu gestalten. Der zweite Prototyp hingegen setzt die Verbesserungsvorschläge in einer neuen Struktur um. Beide Klick-Prototypen wurden mit der Software Figma erstellt und sind auf 1920 x 1020 Pixel und einem Seitenverhältnis von 16:9 ausgelegt, sodass sie beispielsweise auf einem Standardlaptop mit 15,6 Zoll als auch einem von 17,3 Zoll realitätsnah und im richtigen Seitenverhältnis abgebildet werden können. Es wird zudem angenommen, dass die Browserleiste im oberen Teil des Bildschirms nicht ausgeblendet werden kann und somit den verfügbaren Platz einschränkt, auf dem die Bediensoftware angezeigt wird.

Die Schrifthöhen der Prototypen sind entsprechend der DIN EN ISO 29241-303:2008 (DIN e. V., 2009) auf den optimalsten Sehwinkel von 22 Bogenminuten ausgelegt. Angemessene Schriftgrößen, die das unangestrengte Lesen für die Nutzenden über

einen längeren Zeitraum ermöglichen, sind außerdem abhängig von der Distanz zum Bildschirm. Die angenommene Distanz zum Bildschirm berücksichtigt mit 600 mm die nachlassende Akkommodationsfähigkeit mit zunehmendem Alter. So betragen alle Schrifthöhen mindestens 3,84 mm. Bei einer Bildschirmauflösung von 1920 x 1020 Pixeln entsprechen 3,84 mm auf einem 15,6 Zoll (335 mm x 194 mm) Bildschirm auf eine Nachkommastelle gerundet 20,2 Pixeln und 18,2 Pixeln auf einem 17,3 Zoll (383 mm x 215 mm) Bildschirm.

In allen Konzeptentwürfen des Prototyps werden folgende Veränderungen implementiert:

- Die Schwarz-weiß Kameraaufnahme des Kennzeichens ist in allen Entwürfen vergrößert, um die Mindestschriftgröße zu erfüllen. Der Bildausschnitt wurden angepasst, sodass nur die relevanten Informationen, Lkw und Nummernschild, angezeigt werden.
- Ein Schaltungsprotokoll wurde eingeführt. Änderung des TLS-Meldungsarchivs und des Ausleitprotokolls werden in ein Protokoll umgewandelt, das für jede Aufschaltung der ALT die zeitlich passenden Fahrzeugfotos und Informationen abspeichert. Bisher wurde das Ausleitprotokoll nur für die Individualausleitung und jedes einzelne Fahrzeug und ohne Bezug zur Aufschaltung der ALT geführt.

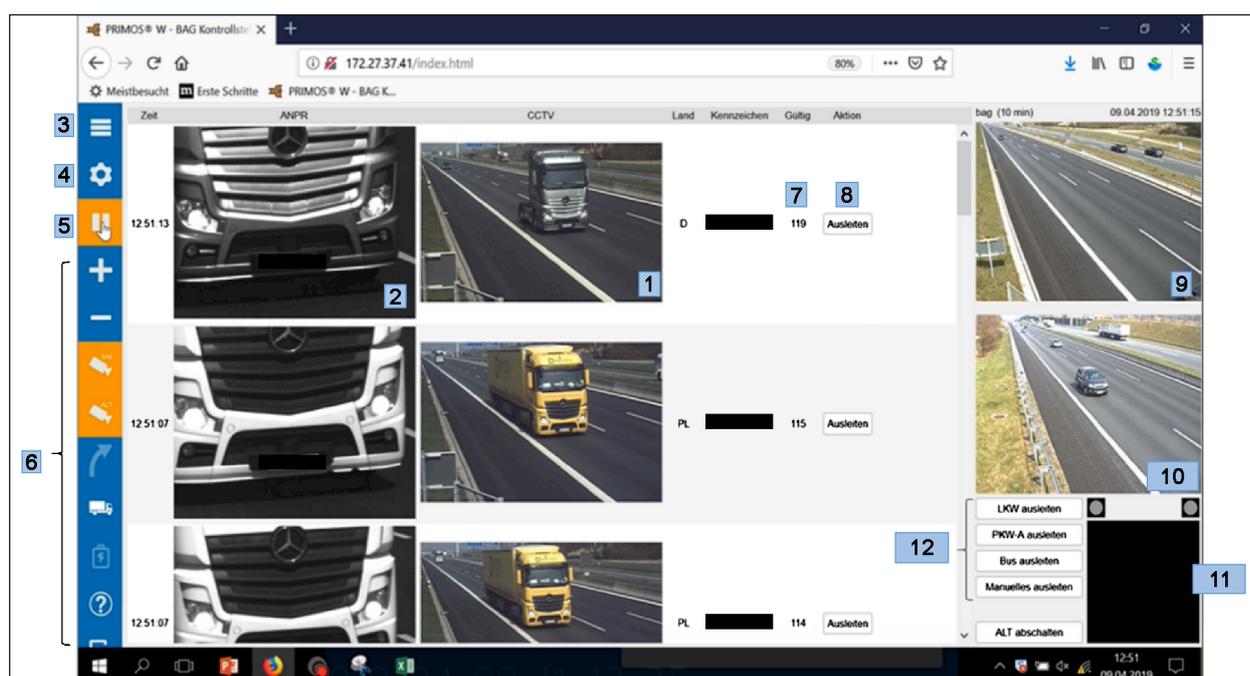


Bild 125: Aufbau der aktuellen Bediensoftware

- Anstelle des aufwendigen manuellen Arbeitsvorgangs, dass für die Tatbestandsaufnahme Bildausschnitte von relevanten Informationen aus dem TLS-Meldungsarchiv und ggf. dem Ausleitprotokoll generiert werden, wird ein Durchfahrerprotokoll automatisch erstellt.
- Mit einem Klick auf die Ausleiten-Schaltfläche wird ein separates Fenster mit der ALT-Schaltung geöffnet.

### 8.3.1 Durchführung

Es wurden zunächst Pen-and-Paper-Prototypen erstellt und in einem Workshop am Lehrstuhl für Ergonomie der TUM weiterentwickelt. Anschließend wurden beide Varianten des Prototyps in der Software Figma implementiert. Im Rahmen von mehreren Iterationen, die jeweils eine Vorstellung bei den Projektpartnern beinhalteten, wurden beide Varianten des Prototyps stetig angepasst und verbessert.

## 8.4 Finaler Prototyp der Bediensoftware

Auf Grundlage der in der Durchführung beschriebenen Maßnahmen wurden zwei klickbare high-Fidelity Prototypen erstellt, die sich hinsichtlich ihrer Funktionsstruktur unterscheiden. Variante I orientiert sich hierbei stärker an der bestehenden Software; Variante II weicht in ihrer Struktur stärker von dieser ab.

In beiden Varianten wurden die bestehenden Merkmale der Bediensoftware (Bild 125) in einer neuen Funktionsstruktur implementiert. Die Merkmale der bestehenden Bediensoftware lauten wie folgt:

1. Übersichtskamera Standort ANPR (leicht vergrößert)
2. ANPR-Kameraaufnahme
3. Menü
4. Einstellungen
5. Pausieren der Bildlaufleiste
6. Seitenleiste mit Zoom-Funktion, Kameraaktivierung/-deaktivierung, Schaltfläche zum Ein- und Ausschalten des Systems, nach Fahrzeugtyp filtern, Batteriestatus der autarken Einheit, Hilfefunktion und Abmelden
7. Countdown (Beginn bei 120 Sekunden)
8. Ausleit-Schaltfläche für Individualausleitung
9. Kameraansicht am Standort der Vorerfassung
10. Kameraansicht am Standort der ALT
11. Anzeigehalt der ALT
12. Schaltflächen zum Ausleiten von Lkw, Pkw mit Anhängern und Kraftomnibussen sowie für die Individualausleitung

### 8.4.1 Variante I

Für die Variante I des Prototyps (Bild 126) wurden folgende Änderungen implementiert:

1. Die für die Hauptaufgaben nicht oder nur seltener benutzte Funktionen wurden ins Menü verschoben. So kann eine Reduzierung der Informationslast bewirkt werden.
2. Symbol zur redundanten Codierung der Zeitanzeige wurde verwendet sowie Anpassung der Schriftgröße vorgenommen.
3. Standardmäßig größere Kameraaufnahmen ohne Zoomen
4. ANPR-Kameraaufnahme wurde nach rechts gewechselt, um Kennzeichen zum Abgleich räumlich nebeneinander zu positionieren
5. In beiden Bildern wurde der Bildausschnitt verkleinert bzw. um irrelevante Teile reduziert und dadurch relevante Infos (links: Lkw und rechts: Kennzeichen) vergrößert
6. Größere, auffälligere Schaltflächen und Symbole zur redundanten Codierung hinzugefügt. Über den Pfeil können Nutzer, die mit der Bediensoftware nicht vertraut sind, die Beschriftung der einzelnen Symbole anzeigen lassen (Bild 126 (12); Bild 127). Erfahrene Nutzer können bei Wunsch die Beschriftung ausblenden, um somit mehr Platz für die Kamerabilder der Live-Übertragung zu schaffen.
7. Eine beschreibende Überschrift für die Live-Übertragung wurde hinzugefügt
8. Die größere Schrifthöhe ermöglicht es das Kennzeichen mit dem Kamerabild einfacher abzugleichen. Durch Klicken auf das Textfeld mit dem erkannten Kennzeichen wird die Option geöffnet, dieses manuell anzupassen.

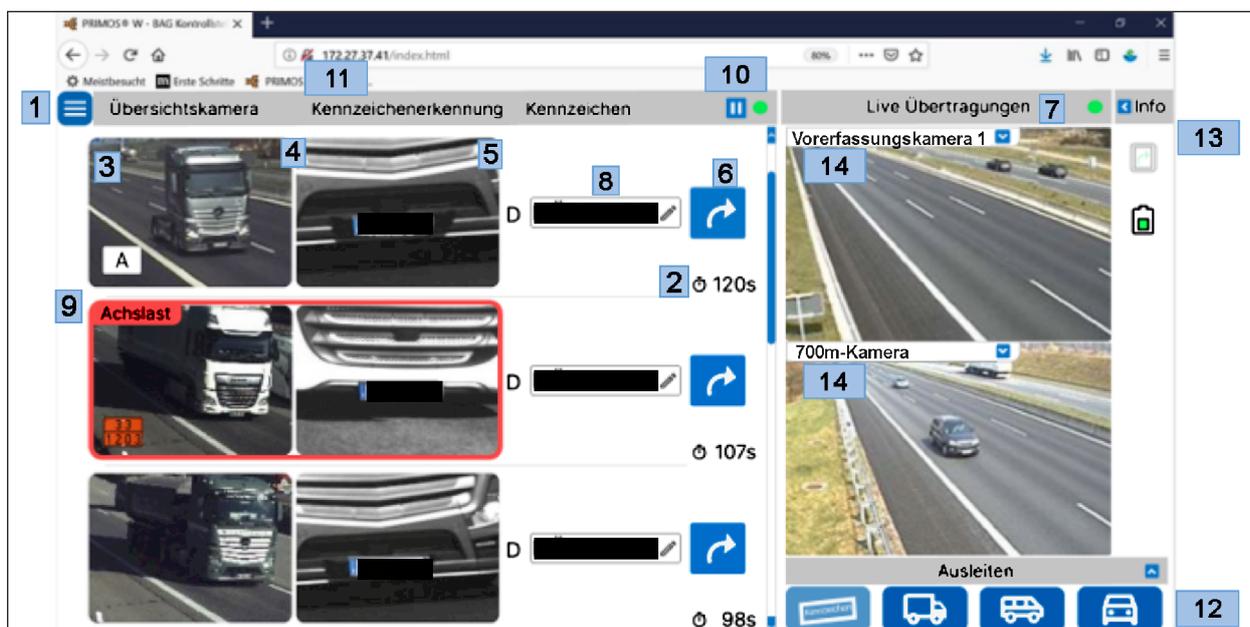


Bild 126: Variante I – Hauptansicht

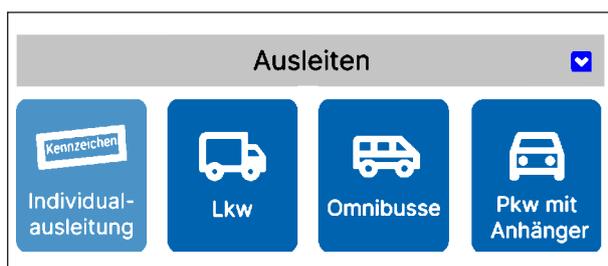


Bild 127: Variante I: Möglichkeit des Ausklappens der Symbole, um entsprechende Beschriftung anzeigen zu lassen.



Bild 128: Variante I und Variante II – Beispiel einer mittleren (orange) Gesamtlastüberschreitung

9. Automatisierte Kennzeichnung von Fahrzeugen, die die Achslast oder die Gesamtlast überschreiten. Hierfür wird je nach Ausmaß der Überschreitung eine orangene oder rote Kennzeichnung gewählt (Bild 128). Zudem werden wesentliche ADR-Tafeln (Gefahrgut etc.) auf dem Bild der Übersichtskamera eingeblendet.
10. Die Aktualisierung der Bildlaufleiste kann durch Klicken auf das Pause-Symbol gestoppt wer-

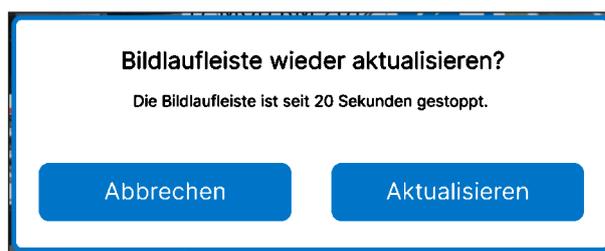


Bild 129: Variante I und Variante II – Hinweis als Overlay bei pausierter Bildlaufleiste

den. Zur Rückmeldung über den Systemzustand färbt sich die grüne Leuchte neben dem Pause-Symbol in diesem Fall rot, um darauf hinzuweisen, dass sich die Bildlaufleiste nicht mehr aktualisiert. Befindet sich das System für einen Zeitraum von 20 Sekunden in einem pausierten Zustand und es werden keine Eingaben durch den Nutzenden vorgenommen, erscheint ein Overlay (Bild 129). Hierdurch soll vermieden werden, dass die Nutzer die Aktualisierung der Bildlaufleiste nur versehentlich pausiert hat.

11. Die Beschriftung der Kameras erfolgt in ausreichender Schriftgröße und mit einfach verständlichen Begriffen.
12. Effizientere Blick- und Klickwege bei Individualausleitung: Der Klick auf die Kennzeichenanzeige im Bereich der Individualausleitung stoppt die Bildlaufleiste und macht die Fahrzeuge auswählbar und das Nummernschild

korrigierbar. Nach Auswahl und ggf. Kennzeichenkorrektur öffnet sich ein Overlay, in welchem nur noch die relevanten Elemente für das Aktivieren der ALT angezeigt werden (Bild 130).

- 13. Die Infoleiste zeigt den Batteriestand der autarken Einheit an und dass die ALT deaktiviert ist

(ausgegrautes Symbol). Bei Klick auf den nach links zeigenden Pfeil (neben Info) werden die Symbole vergrößert angezeigt und mit einer erklärenden Beschriftung unterlegt (siehe Bild 131). Dies ist insbesondere für neue Nutzer der Software hilfreich. Erfahrene Nutzer können die Beschriftung durch das Einklappen des

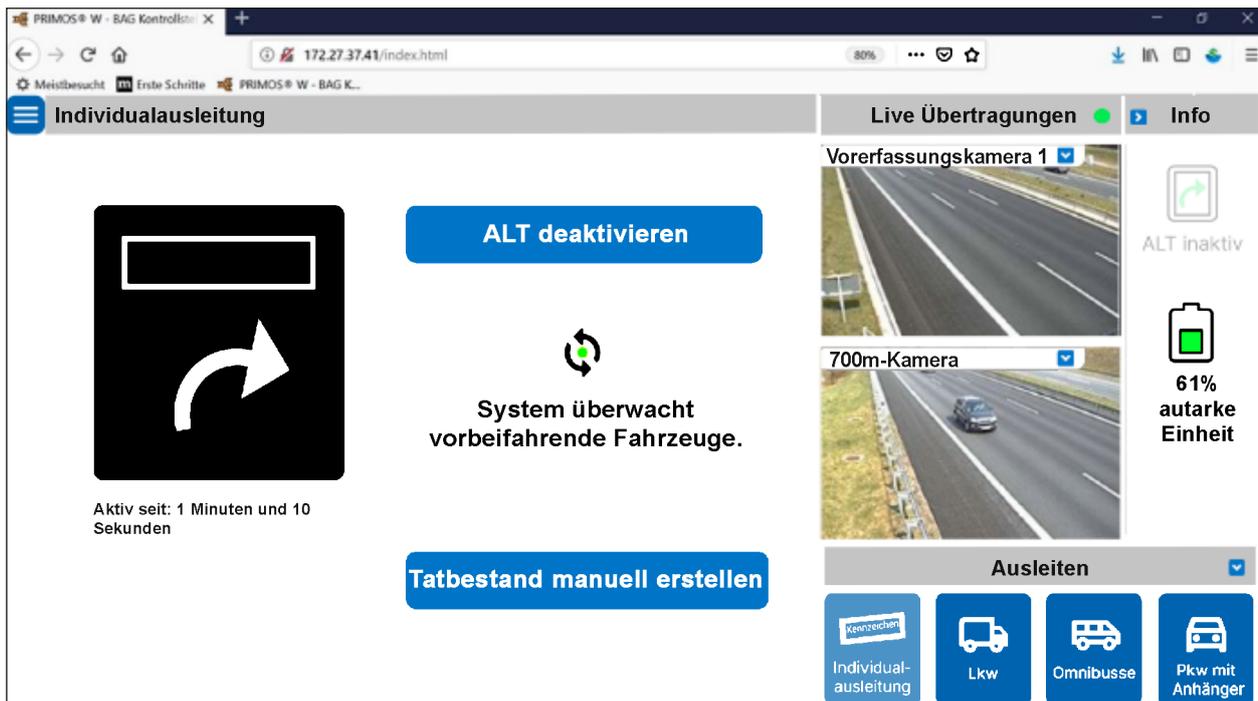


Bild 130: Variante I und Variante II: Anzeige bei Auswahl der Individualausleitung. M.A. nach sollte die Bild mit deaktivierter ALT vor derjenigen mit aktivierter ALT platziert sein.

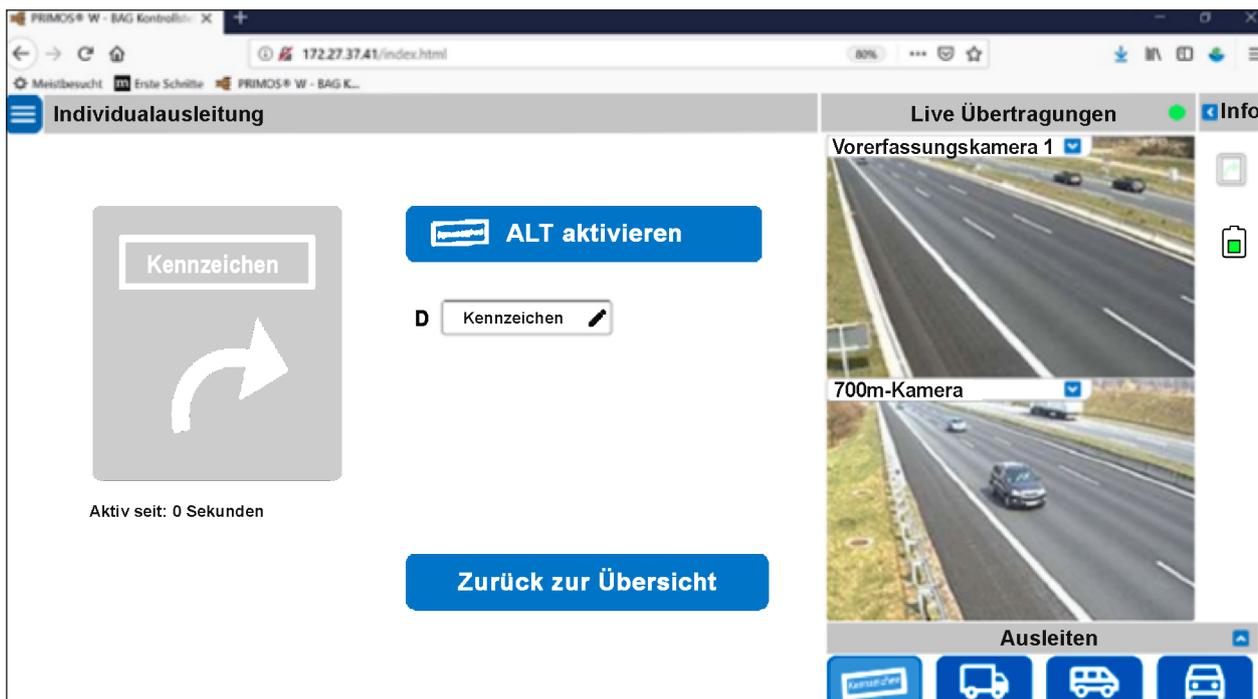


Bild 131: Variante I und Variante II – Anzeige bei Auswahl der Individualausleitung

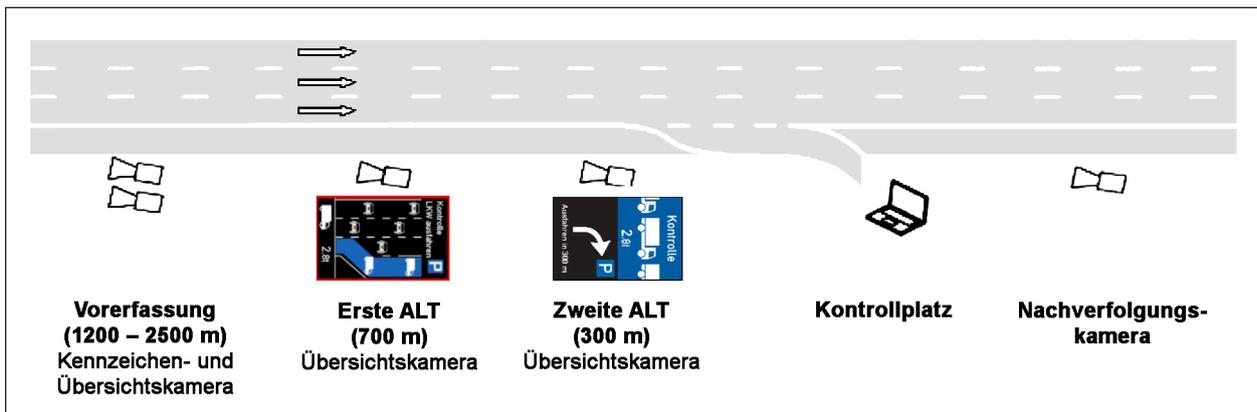


Bild 132: Übersicht über die Kamerapositionen (nicht maßstabsgetreu)

Vorgang	Angezeigte Kameras
Standardmäßig	Vorerfassung + ALT 300 m
Beabsichtigte Pulkausleitung	Vorerfassung + ALT 700 m
Aktivierte Pulkausleitung	ALT 700 m + Nacherfassung
Beabsichtigte Individualausleitung	Vorerfassung + ALT 700 m
Aktivierte Individualausleitung	ALT 300 m + Nacherfassung

Tab. 22: Vorauswahl der aktivierten Kameraanzeigen

Felds ausblenden und schaffen so mehr Platz für die Kamerabilder der Live-Übertragung.

14. In allen Zuständen der Bediensoftware kann die Kameraauswahl der Live-Übertragung manuell eingestellt werden. Die jeweils vorausgewählten Kameraeinstellungen für die unterschiedlichen Prozesse der Bediensoftware können Tabelle 22 entnommen werden. Hierbei wurde berücksichtigt, welchen Informationsbedarf die BAG-Kontrolleure bei der standardmäßigen Überwachung sowie bei der Vorbereitung und Durchführung der Individual- und Pulkausleitung haben. Bild 132 verbildlicht die zur Verfügung stehenden Kameras in Relation zu der Kontrollstelle.

#### 8.4.1.1 Auswahl der Individualausleitung

Wird eine Individualausleitung durch Klicken auf den nach rechts weisenden Pfeil (6) gewählt, so erscheint das in Bild 130 dargestellte Fenster. Auch hier entstehen effizientere Klick- und Blickwege speziell für die Individualausleitung. Durch den Wechsel in den Individualausleitungsreiter wird die Bildlaufleiste automatisch gestoppt und die Möglichkeit angezeigt das Kennzeichen zu bearbeiten und ein Fahrzeug auszuleiten.



Bild 133: Variante I und Variante II – Hinweis als Overlay bei frühzeitiger Deaktivierung der ALT

In dem Fenster (vgl. Bild 130) haben Nutzer erneut die Möglichkeit, das Kennzeichen anzupassen. Über die großen, blauen Schaltflächen können sie entweder die ALT aktivieren oder zurück zur Hauptansicht der Bediensoftware gelangen. Nachdem die ALT aktiviert wurde, wird die zuvor ausgegraute ALT mit einem höheren Kontrast angezeigt und stellt den aktuellen Anzeigehalt der ALT dar (Bild 131). Die blauen Schaltflächen geben den Nutzern nun die Möglichkeit, die ALT zu deaktivieren oder manuell einen Tatbestand zu erstellen. Bei frühzeitiger Deaktivierung wird durch ein erscheinendes Overlay (Bild 133) darauf hingewiesen, dass der betroffene Lkw die Ausleitaufforderung möglicherweise noch nicht sehen konnte.

Im Regelfall erfolgt die Erfassung vorbeifahrender Lkw und das Erstellen eines Tatbestands automatisiert (Bild 135). Möchten Nutzer den Tatbestand jedoch manuell erstellen (beispielsweise, weil das überwachende System das Kennzeichen des vorbeifahrenden Lkw nicht korrekt identifiziert und registriert hat), werden sie in das Schaltungsprotokoll umgeleitet (Bild 136). Durch Klicken oder durch Halten der Maus über die Schaltfläche „Ansehen“ werden die erfassten Lkw innerhalb des Zeitraums angezeigt und ein Tatbestand kann erstellt werden (Bild 135). Die Tatbestandsvorlage lässt sich auto-

matisch erstellen, anstatt den Anhang des Tatbestandes entsprechend dem bestehenden IST-Zustand der Bediensoftware über mehrere Schritte manuell erstellen zu müssen.

Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass mithilfe der neuen Nacherfassungskamera automatisiert Lkw erfasst werden können, die an der Kontrollstelle vorbeigefahren sind und die Ausleitaufforderung

somit missachtet haben. In diesem Fall würde das System ein Overlay anzeigen, dass Nutzer auf diesem Umstand hinweist (Bild 134). Bei Klicken des Felds „Tatbestand erstellen & ALT deaktivieren“ wird man auf ein neues Fenster weitergeleitet (Bild 135). Hier kann auf Basis einer Vorlage ein Formular für die Tatbestandsaufnahme abgerufen werden.



Bild 134: Variante I und Variante II – Overlay bei automatisierter Erfassung eines vorbeifahrenden Lkw

#### 8.4.1.2 Auswahl der Pulkausleitung

Für die Pulkausleitung in der Variante I des Prototyps der Bediensoftware, können Nutzer auf das Lkw-Symbol (12) der Ausleit-Schaltflächen klicken (Bild 126) und öffnen damit die Anzeige für die Pulkausleitung (Bild 137). Hier hat man die Möglichkeit, die ALT für die Pulkausleitung von Lkw, Pkw mit Anhängern oder Kraftomnibussen auszuwählen. Bei Auswahl der Lkw-Pulkausleitung ändert sich die Anzeige (Bild 138). Auch hier sind ebenso wie bei der Individualausleitung bei Klicken auf „ALT deaktivieren“ oder „Tatbestand manuell erstellen“ die entsprechenden Funktionen hinterlegt. Nimmt das System einen vorbeifahrenden Lkw wahr, so gibt es auch bei der Pulkausleitung einen Hinweis (Vgl. Bild 135).



Bild 135: Variante I und Variante II – Erleichterte Möglichkeit, einen Tatbestand zu erstellen

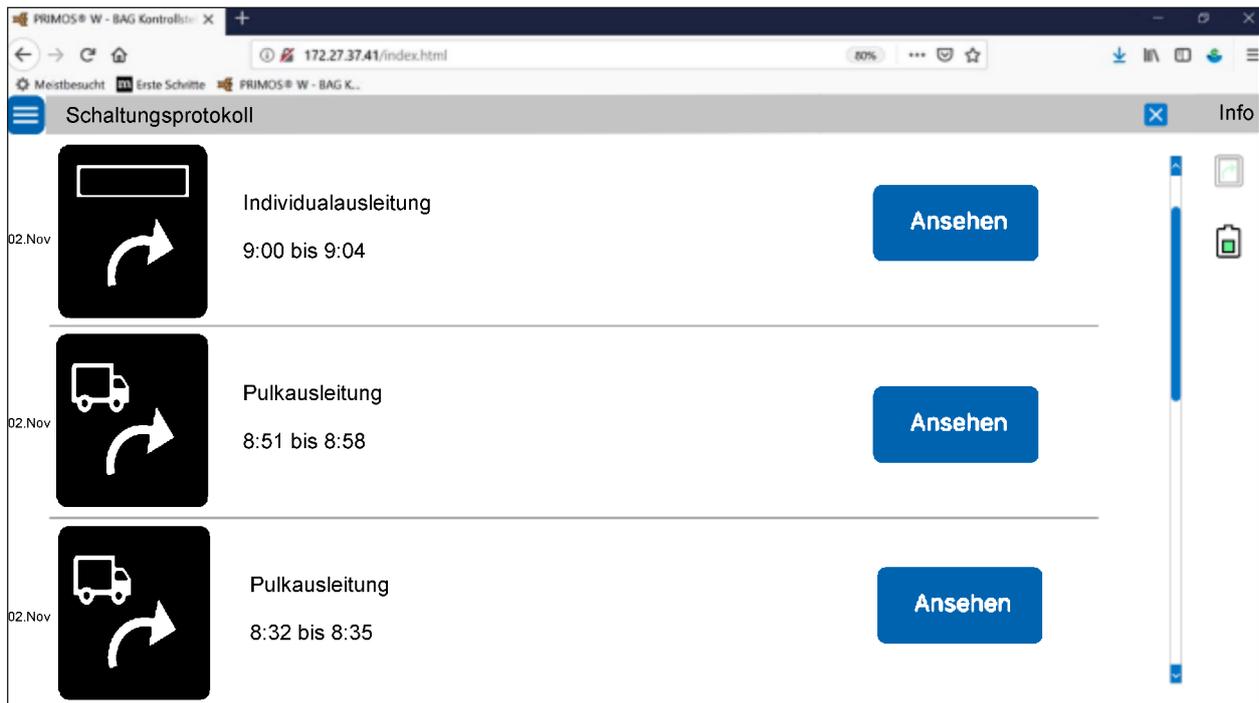


Bild 136: Variante I und Variante II: Schaltungsprotokoll. Durch Klicken oder durch Halten der Maus über die Schaltfläche „Ansehen“ werden die erfassten Lkw innerhalb des Zeitraums angezeigt.

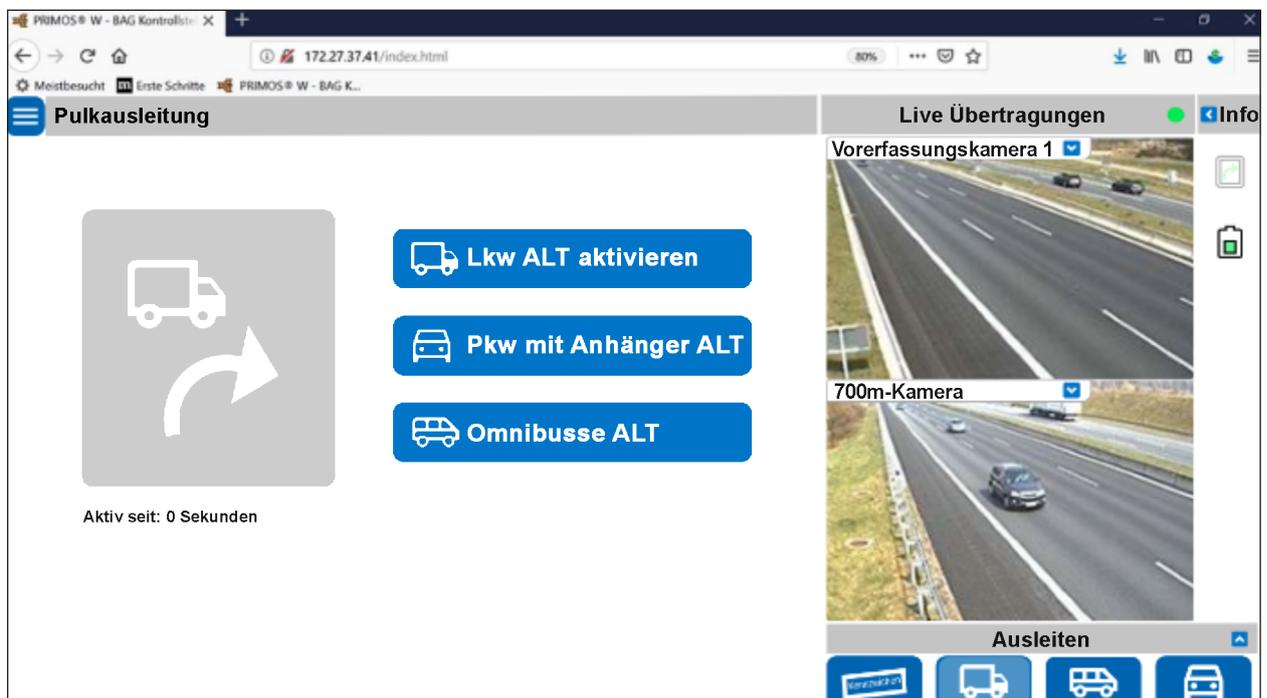


Bild 137: Variante I und Variante II – Anzeige bei Auswahl der Pulkausleitung

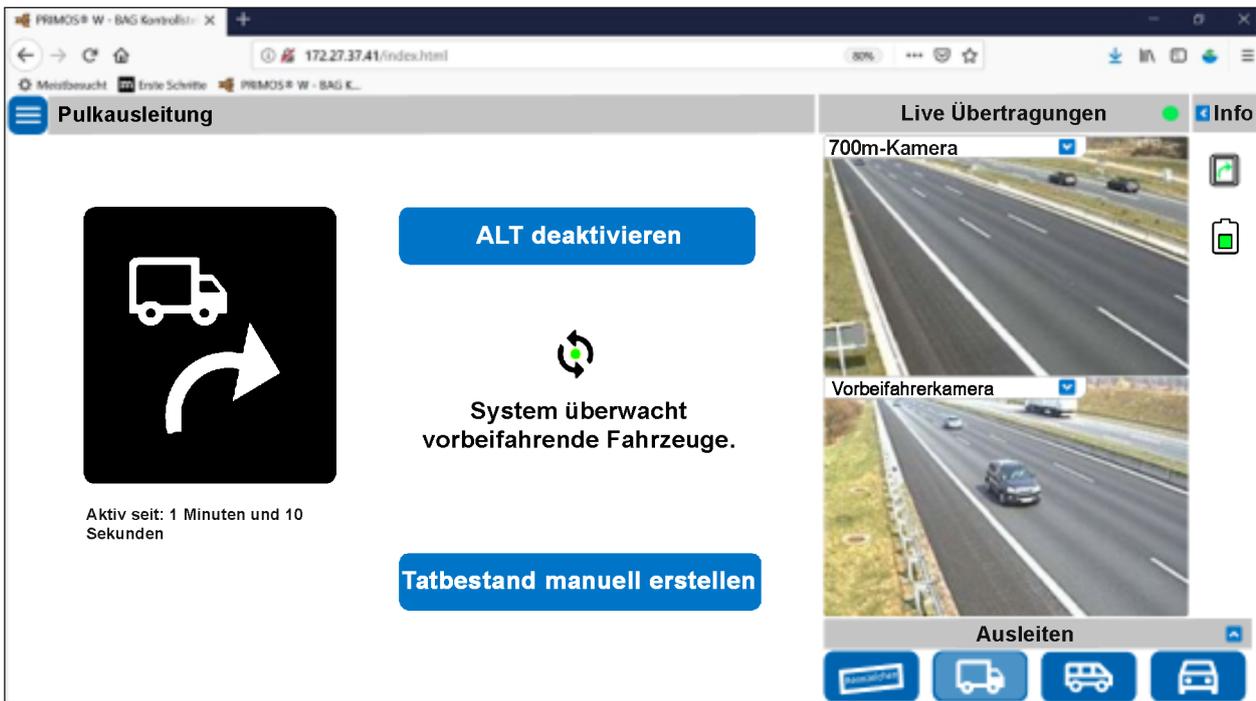


Bild 138: Variante I und Variante II – Anzeige bei aktivierter Pulkausleitung

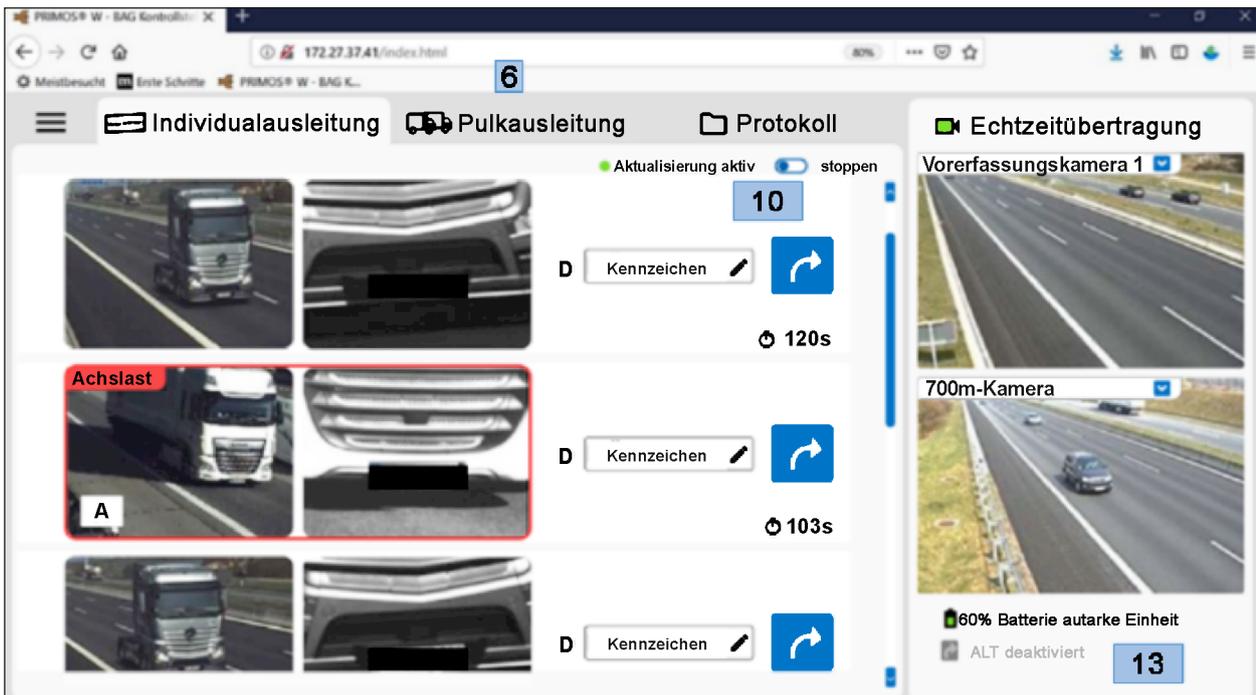


Bild 139: Variante II – Hauptansicht der Bediensoftware in der Individualausleitung

### 8.4.2 Variante II

Für die Variante II des Prototyps wurden die Punkte 1 – 5, 7 – 9, 12 und 14 gleichsam zu der Variante I des Prototyps (Kapitel 8.4.1) implementiert. Die folgenden Änderungen (Punkte 6, 10 und 13) liegen nur in der Variante II vor oder sind anders gestaltet (Bild 139):

6. Wechsel zwischen den Hauptaufgaben der Bediensoftware erfolgt nicht über Schaltflächen, sondern über Reiter. So werden jeweils nur die dafür relevanten Elemente angezeigt.
10. Aktualisierungsstatus der Bildlaufleiste kann durch Schieberegler pausiert oder aktiviert werden.

13. Der Status der ALT (aktiviert/deaktiviert) sowie der Batteriestand der autarken Einheit werden unter den Videos der Echtzeitübertragung angezeigt.

#### 8.4.2.1 Auswahl der Individualausleitung

Der Individualausleitung in dem Konzeptvorschlag II der Bediensoftware liegt die gleiche Logik und Funktionsstruktur zugrunde wie bei der Variante I. Durch Auswahl des blauen, nach rechts zeigenden Pfeils gelangen Nutzer zu einem neuen Fenster (Bild 140). Der Aufbau der Seite ist, abgesehen von

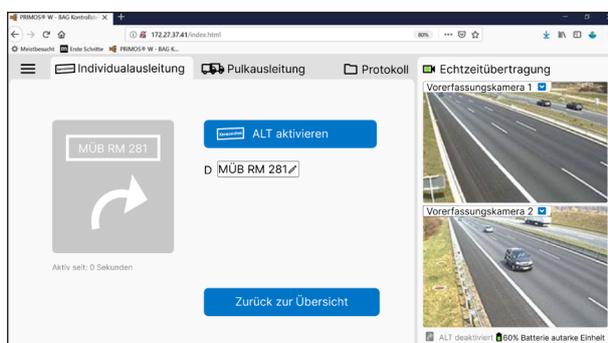


Bild 140: Variante II – Anzeige bei der Auswahl der Individualausleitung

der Implementation der Reiter für die Individualauswahl, der Pulkausleitung und des Protokolls, der gleiche. Alle folgenden Bedienschritte bei Aktivierung der ALT sind ebenso die gleichen und werden deshalb an dieser Stelle nicht weiter beschrieben.

#### 8.4.2.2 Auswahl der Pulkausleitung

Wechseln Nutzer aus der Hauptansicht der Variante II heraus auf den Reiter „Pulkausleitung“ so gelangen sie in das in Bild 141 dargestellte Fenster. Auch hier ist die Funktionsstruktur, abgesehen von den Reitern, die gleiche wie bei Variante I und wird hier nicht näher beschrieben.

Unter dem Reiter „Protokoll“ in der Hauptansicht kann man die Protokolle der letzten Individual- und Pulkausleitungen einsehen (Bild 142). Dieses Element ist bewusst redundant gestaltet, da Nutzer die Protokolle ebenfalls nach der Aktivierung der ALT für die Erstellung eines Tatbestands die Protokolle einsehen können. Um Nutzern die Möglichkeit zu geben, sich einfach einen Überblick über vergangene Aktivitäten machen zu können (beispielsweise nach einem Personalwechsel), wurde der Reiter „Protokoll“ in der Variante II explizit hinzugefügt.

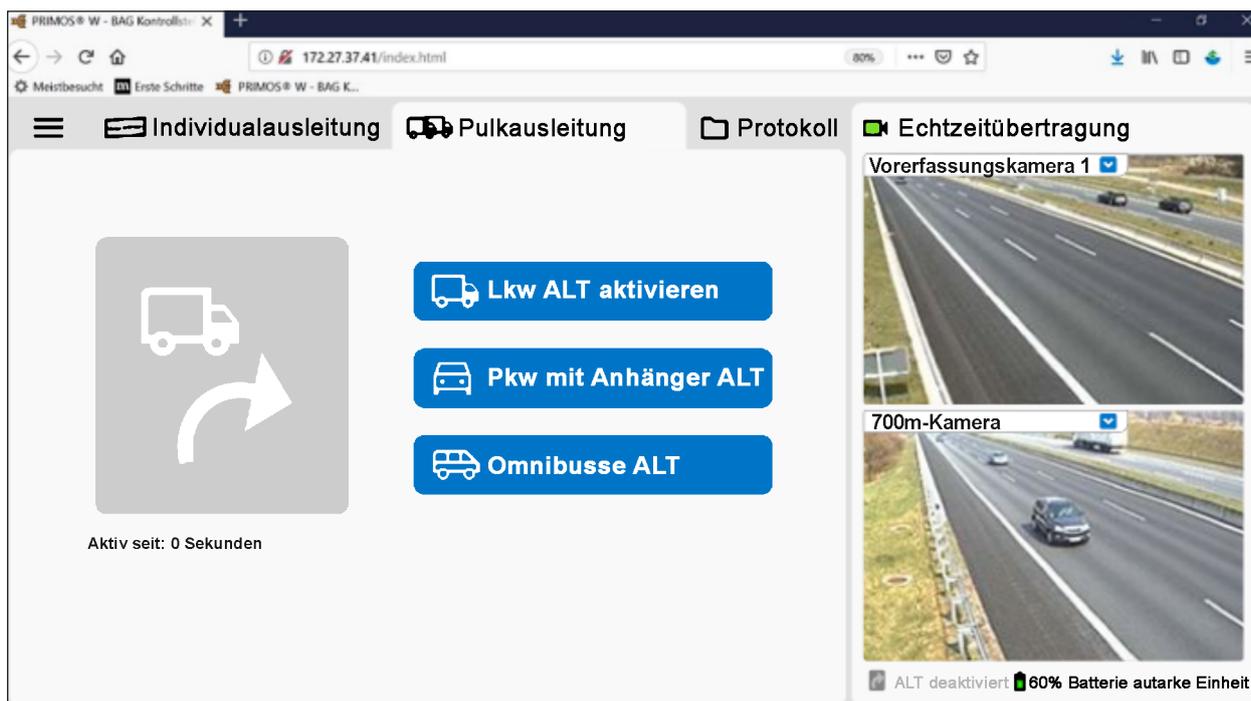


Bild 141: Variante II – Anzeige bei der Auswahl der Pulkausleitung

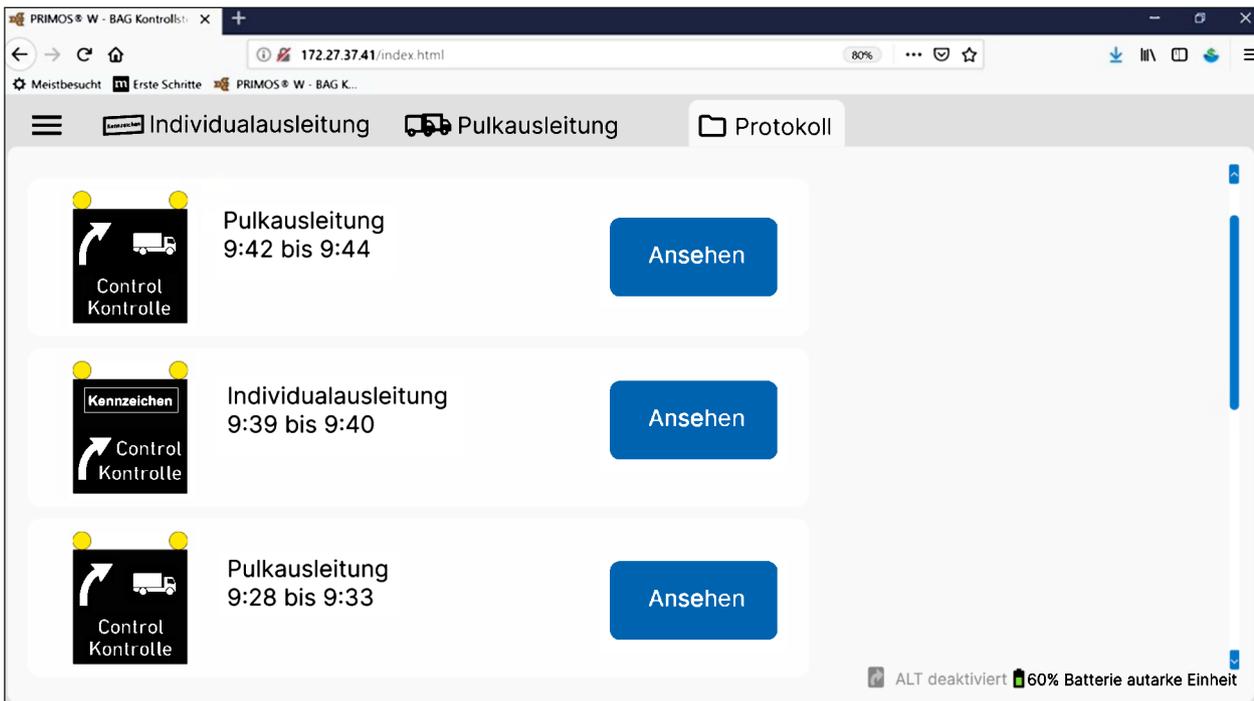


Bild 142: Variante II: Protokollansicht

## 9 Flächendeckender Ausbau der Ausleittechnik

Für die Planung eines flächendeckenden Ausbaus werden in diesem Abschnitt Vorschläge zur Auswahl von weiteren Standorten zusammengestellt.

Um die Vorteile des sicheren Ausleitens zukünftig an weiteren Kontrollstandorten nutzen zu können, wurde zunächst eine Eruiierung weiterer möglicher Standorte für das sichere Ausleiten durchgeführt. Auf Basis eines im Rahmen der Evaluation ausgearbeiteten Kriterienkatalogs erfolgte die Bewertung und Auswahl möglicher Kontrollstellen, um Empfehlungen für den weiteren flächendeckenden Ausbau der Ausleittechnik geben zu können.

Für BAG-Standkontrollen sowohl nach herkömmlichen Verfahren mit Ausleitposten als auch mit dem sicheren Ausleiten muss ein Kontrollplatz bestimmte Anforderungen hinsichtlich der Durchführbarkeit von Kontrollen erfüllen. Solche Anforderungen sind beispielsweise die Gewährleistung der Sicherheit des BAG-Kontrollpersonals, entsprechende Kontrollplatzkapazitäten, die Möglichkeit zur Aufstellung der Kontrollstellenbeschilderung und weitere Kriterien.

Kontrollplätze für das konventionelle händische Ausleiten werden unter anderem wegen ihrer Lage

im Bundesautobahnnetz, auftretender Verkehrsarten und der täglichen Verkehrsstärke ausgewählt.

Bereits bestehende Kontrollplätze werden regelmäßig hinsichtlich Ihrer Eignung und insbesondere hinsichtlich der Sicherheit für das Kontrollpersonal vom BAG beurteilt. Aufgrund des kontinuierlich zunehmenden Verkehrs auf Bundesautobahnen ist die händische Ausleitmethode immer seltener für die Durchführung von Standkontrollen geeignet. Teilweise können Kontrollplätze nicht mehr für BAG-Standkontrollen genutzt werden, da z. B. Baumaßnahmen durchgeführt werden, welche die Sicherheit, den Verkehrsfluss oder den Kontrollplatz grundsätzlich nachteilig beeinflussen. Es gibt daher eine Vielzahl von Kriterien, welche die Eignung eines Kontrollplatzes bedingen.

Beim sicheren Ausleiten sind zusätzlich zu den Bedingungen, welche für das herkömmliche Ausleiten durch einen Ausleitposten gelten, die Besonderheiten beim Durchführen von Standkontrollen mit dem sicheren Ausleiten zu berücksichtigen. So gelten beispielsweise zusätzliche infrastrukturelle Anforderungen wie die Möglichkeit der Stromversorgung der Ausleittafel. Auf der anderen Seite müssen bestimmte Sicherheitskriterien, welche für einen Ausleitposten beim manuellen Ausleiten erfüllt sein müssen, beim Ausleiten mittels Ausleittafel nicht erfüllt werden. Insbesondere wird kein BAG-Kontrollpersonal am Seitenrand der Fahrbahn postiert.

Für die Eruierung weiterer geeigneter Standorte für das sichere Ausleiten ist es daher notwendig, die Kriterien zur effizienten Durchführung des sicheren Ausleitens und die damit einhergehenden Anforderungen an Kontrollplätze umfassend zu bestimmen. Mithilfe eines Kriterienkatalogs, welcher Kriterien und Anforderungen für das sichere Ausleiten zusammenfasst, kann anschließend eine Bewertung von in Betracht kommenden Kontrollplätzen vorgenommen werden.

### 9.1 Anforderungen an BAG-Kontrollplätze unter Berücksichtigung des sicheren Ausleitens

Zur Identifikation relevanter Kriterien für BAG-Kontrollplätze beim sicheren Ausleiten ist es insbesondere notwendig, die Kenntnisse und das Fachwissen des BAG-Kontrollpersonals zu berücksichtigen. So lassen sich zwar viele Voraussetzungen für BAG-Kontrollplätze aus allgemeinen Fakten und Kenntnissen ableiten, aber für die Definition einiger Anforderungen sind praktische Erfahrungen bei der Durchführung von Standortkontrollen unerlässlich. Da auch die Pilotstandorte für das sichere Ausleiten bereits genutzt werden, liegen bereits Erfahrungen in der Anwendung der neuen Ausleitetechnik vor. Aus diesem Grund wurde ein Workshop zusammen mit BAG-Personal durchgeführt, um die Anforderungen an BAG-Kontrollplätze zu erarbeiten.

Im Rahmen des eintägigen Arbeitsgruppentreffens wurden mithilfe von Methoden wie Diskussionsrunden, Gruppenformaten und Ergebniskonsolidierungen ein Katalog an Kriterien für die Bewertung und Auswahl weiterer Standorte für das sichere Ausleiten erarbeitet. Die Zielstellungen des Workshops waren:

1. Identifizierung von Auswahlkriterien
2. Festlegung und Priorisierung der Auswahlkriterien
3. Zusammentragen der Ergebnisse in einen Katalog von Kriterien

Die einzelnen Anforderungen, die beim Workshop identifiziert und diskutiert wurden, lassen sich in verschiedene übergeordnete inhaltliche Kategorien zusammenfassen. Auf Grundlage einer Clusteranalyse ergaben sich zwei verschiedene Möglichkeiten, Gruppierungen von Einzelkriterien vorzu-

nehmen. Beide werden hier im Weiteren kurz vorgestellt, um die Komplexität der zu berücksichtigenden Anforderungen und die unterschiedlichen möglichen Betrachtungsweisen darzustellen. Eine solche Clusterbildung ergab eine Unterteilung der Einzelkriterien in folgende vier Gruppen:

- a) Anforderungen der Personalstruktur
- b) Möglichkeit der Zusammenarbeit mit externen Stellen
- c) Arbeitsschutz sowie technische Voraussetzungen
- d) Geografische Lage sowie Verkehrsaufkommen

Unter a) zusammengefasste Kriterien beinhalteten unter anderem die Verfügbarkeit von Personal am entsprechenden Kontrollplatz in Abhängigkeit vom Anfahrtsweg, Zuständigkeitsbereich und die Zusammenarbeit von Straßenkontrolldienst und Mautkontrolldienst. Zu b) genannte Aspekte zielten auf die Zusammenarbeit des Kontrolldienstes mit anderen Behörden oder der Polizei ab. Kriterien, welche in c) genannt wurden, waren beispielsweise die Verfügbarkeit einer Stromversorgung und die Stellplatzkapazität des Kontrollplatzes. Die Einteilung von d) fasste Merkmale wie die tägliche Verkehrsstärke oder die Lage im Bundesautobahnnetz zusammen.

Die andere Betrachtungsweise ergab bei der Clusteranalyse folgende Einteilung mit ebenfalls vier Gruppen:

- I) Immanente Eigenschaften des Kontrollplatzes
- II) Eigenschaften der Vorlaufstrecke
- III) Eigenschaften der Nachlaufstrecke
- IV) Äußere Einflüsse und externe Faktoren

In der Gruppe I) aufgelistet waren Eigenschaften des Kontrollplatzes wie die Einteilung in bewirtschaftete und unbewirtschaftete Rastanlagen oder der Ausbauzustand. Die Kriterien von II) fassten Eigenschaften der Vorlaufstrecke des Kontrollplatzes wie bspw. den Abstand zur vorgelagerten Anschlussstelle zusammen. Analog enthielt die Gruppe III) Eigenschaften der Nachlaufstrecke wie z. B. der Abstand zur nachgelagerten Anschlussstelle. Unter IV) wurden u. a. Punkte wie äußere Einflüsse, Anforderungen bzgl. Personal und Zusammenarbeit mit Externen zusammengefasst.

Im Allgemeinen konnten einzelne Kriterien sowohl der einen als auch der anderen Betrachtungsweise zugeordnet werden. In der weiteren Ausarbeitung wurden daher die verschiedenen Gruppierungen zusammengefasst, was in Kapitel 9.2 beschrieben wird.

Die Betrachtungsweisen und Eingruppierungen werden nicht abschließend betrachtet und daher könnten auch noch weitere Einordnungen von Kriterien erfolgen. Auch ist die Auswahl der Kriterien nicht notwendigerweise vollständig. Im Rahmen des Workshops wurde jedoch die Ansicht vertreten, dass die definierten Einzelkriterien und Gruppen von Kriterien die wichtigsten und den Großteil aller Anforderungen abbilden.

Bei der Diskussion und Analyse der gefundenen Anforderungen wurde festgestellt, dass es zwei unterschiedliche Kategorien gibt: zum einen harte, auf konkreten Zahlen und objektiv erfassbaren Eigenschaften basierende und zum anderen weiche, schwer quantitativ zu beurteilende Kriterien. Zur Kategorie der harten Kriterien gehören bspw. Eigenschaften wie die Stellplatzanzahl oder die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke. Beispiele für weiche Kriterien sind das Zukunftspotenzial eines Kontrollplatzes, die Zusammensetzung des kontrollrelevanten Verkehrs oder die Verfügbarkeit von Kontrollpersonal.

Um die schwierig zu beurteilenden Aspekte bei der Standortbewertung angemessen berücksichtigen zu können, wurde beim Workshop die Möglichkeit eines zweistufigen Bewertungsverfahrens diskutiert. Die erste Stufe des Bewertungsverfahrens würde die gut quantifizierbaren Kriterien abbilden, während die zweite Stufe zur Beurteilung der schwer objektiv einzuschätzenden Kriterien von Fachexperten vorgenommen würde.

Es wurde beim Workshop weiterhin herausgearbeitet, dass es für die Auswahl weiterer Standorte notwendige Kriterien, sogenannte Muss-Kriterien, gibt, welche zwingend erfüllt sein müssen, wenn ein Kontrollplatz für das sichere Ausleiten in Betracht gezogen wird. Weiterhin gibt es optionale Kriterien, sogenannte Soll-Kriterien, die für den Kontrollplatz im Idealfall zutreffen sollten.

Zudem wurde beim Workshop herausgearbeitet, dass nicht alle optionalen Kriterien die gleiche Gewichtung bei der Beurteilung von Kontrollplätzen haben sollten. Einige Anforderungen sollten höher gewichtet werden als andere, da sie nicht als gleich-

wertig angesehen werden können. Aus diesem Grund wurde eine einfache Priorisierung der diskutierten Kriterien von der Arbeitsgruppe vorgenommen.

## 9.2 Erarbeitung eines Gesamtkriterienkatalogs mit Nutzwertanalyse als Bewertungsverfahren für Kontrollplätze

Im Anschluss an den Workshop wurden die Ergebnisse aufgearbeitet und die Anforderungen in einem Gesamtkriterienkatalog zusammengefasst.

Zur Eruierung verschiedener in Betracht kommender Standorte, von denen eine gewisse Anzahl für den Ausbau der sicheren Ausleittechnik ausgewählt wird, eignen sich qualitative Bewertungsmethoden. Es wurde evaluiert, dass eine Nutzwertanalyse gut geeignet ist, um die Auswahlentscheidung auf Basis der identifizierten Kriterien, die teilweise quantitativer und qualitativer Natur sind, zu unterstützen. Für alle in Betracht kommende Kontrollplätze wird bei diesem Verfahren zunächst bestimmt, in welchem Maße ein Kontrollplatz die definierten Bewertungskriterien erfüllt. Anschließend werden mithilfe von Gewichtungsfaktoren, die über eine Prioritätenanalyse festgelegt werden, die gewichteten Zielerfüllungsgrade aller Einzelkriterien zu einem Gesamtnutzwert aufaddiert.

Das Ergebnis einer Nutzwertanalyse angewendet auf die Standorteruierung für das sichere Ausleiten ist eine Rangfolge von Kontrollplätzen, auf deren Basis die Entscheidung, welche Standorte am besten geeignet sind und für den Ausbau der sicheren Ausleittechnik ausgewählt werden sollten, unterstützt werden kann.

Auf Grundlage der beim Workshop zusammengetragenen Inhalte wurde im Nachgang eine Konsolidierung aller Anforderungen durchgeführt. Bei dem erstellten Gesamtkriterienkatalog als umfassendes Regelwerk zur Beurteilung von Kontrollplätzen für das sichere Ausleiten werden 47 Einzelkriterien, sowohl harte als auch weiche, in einem zweistufigen Bewertungsverfahren berücksichtigt. Die erste Stufe des Bewertungsverfahrens beinhaltet die gut quantifizierbaren Anforderungen, wohingegen die zweite Bewertungsstufe die hauptsächlich qualitativ, von Fachkundigen einschätzbaren Kriterien abbildet. Einige Kriterien wurden aufgrund ihrer Bedeutung als Muss-Kriterium eingestuft. Wenn eines

der Muss-Kriterien für einen Kontrollplatz nicht erfüllt wird, sollte dieser Kontrollplatz nicht mehr für die weitere Auswahl berücksichtigt werden. Insgesamt basiert das Verfahren zur Bewertung, also zur Erstellung einer Rangfolge von am besten geeigneten Kontrollstandorten, auf dem oben beschriebenen Verfahren der Nutzwertanalyse.

Eine Liste aller im Gesamtkriterienkatalog enthaltenen Anforderungen sowie deren Priorisierung befindet sich in Anhang D.1.

### 9.3 Anpassung des Kriterienkatalogs zur Bewertung aller in Frage kommender Standorte

Für die Eruiierung weiterer Standorte und den flächendeckenden Ausbau der Ausleitetechnik ist es sinnvoll, wenn der definierte Kriterienkatalog auf einfache Weise auf eine möglichst große Anzahl von in Frage kommenden Kontrollplätzen angewandt werden kann. Prinzipiell als Standort für das sichere Ausleiten in Frage kommen alle Rastanlagen an allen deutschen Bundesautobahnen. Im Rahmen des Workshops wurde jedoch als grundlegendes Muss-Kriterium bestimmt, dass Kontrollplätze unbewirtschaftete Rastanlagen mit einem WC, sogenannte PWC (Parkplätze mit WC), sein sollten. Für die weitere Bewertung der in Betracht zu ziehenden Kontrollplätze wurde daher festgelegt, dass alle an Bundesautobahnen befindlichen PWC die Grundmenge bilden. Im Jahr 2016 gab es insgesamt 723 PWC an deutschen Bundesautobahnen (KÜHNEN, 2016). Die Anzahl von Rastanlagen aufgeteilt nach Gattung und Bundesland ist in Tabelle 23 dargestellt.

Der ausgearbeitete Gesamtkriterienkatalog ist sehr gut geeignet, um eine detaillierte Bewertung eines Standortes hinsichtlich seiner Eignung für das sichere Ausleiten durchzuführen. Bei Nutzung aller im Gesamtkriterienkatalog spezifizierten Anforderungen ist hierbei jedoch eine sehr umfangreiche Datengrundlage erforderlich. Teilweise können Daten nicht aus bereits vorhandenen Quellen genutzt werden, weil die vorzunehmende Bewertung an den Einzelfall angepasst werden und auf der spezifischen Beurteilung von Fachkundigen beruhen müsste. Aus diesem Grund ist der Gesamtkriterienkatalog nur für eine begrenzte Anzahl von zu beurteilenden Standorten mit angemessenem Aufwand anwendbar.

Bundesland	Parkplatz	Parkplatz mit WC	Bewirtschaftete Rastanlage
Baden-Württemberg	146	68	44
Bayern	252	111	68
Berlin	0	0	2
Brandenburg	32	42	32
Bremen	4	3	0
Hamburg	0	0	3
Hessen	81	45	57
Mecklenburg-Vorpommern	19	44	7
Niedersachsen	99	95	51
Nordrhein-Westfalen	128	114	85
Rheinland-Pfalz	105	23	32
Saarland	199	9	6
Sachsen	11	32	14
Sachsen-Anhalt	12	40	9
Schleswig-Holstein	4	60	16
Thüringen	0	37	14
<b>Gesamt</b>	<b>912</b>	<b>723</b>	<b>440</b>

Tab. 23: Anzahl von Rastanlagen an deutschen BAB aufgeteilt nach Gattung und Bundesland (KÜHNEN, 2016)

Um die Bewertung aller PWC in Deutschland vorzunehmen, bestand daher die Notwendigkeit, den Gesamtkriterienkatalog anzupassen, um die Durchführung der Bewertung zu vereinfachen. Gleichzeitig mussten die wesentlichen Anforderungen auch bei der Reduzierung des Kriterienkatalogs berücksichtigt werden. Es wurde aus diesem Grund evaluiert, welche Kriterien von besonderer Bedeutung sind und wie diese Kriterien effizient in einer auf Daten basierenden Untersuchung der Vielzahl an PWC verarbeitet werden können.

Das Ergebnis der Anpassung des Katalogs an Anforderungen ist ein reduzierter Kriterienkatalog mit 18 Einzelkriterien, welche den Gruppen

- Eigenschaften des PWC (bzw. Kontrollplatzes),
- Eigenschaften der Vorlaufstrecke,
- Eigenschaften der Nachlaufstrecke und
- äußere Einflüsse und weitere Aspekte

zugeordnet werden können.

Die verbliebenen Kriterien decken die wesentlichen Eigenschaften eines möglichen BAG-Kontrollplat-

zes ab und lassen sich auf Basis von Daten effizient verarbeiten, ohne bereits im ersten Schritt eine Einschätzung von Fachkundigen für jeden einzelnen PWC erforderlich zu machen. Auf diese Weise ist eine erste Bewertung aller PWC auf Bundesautobahnen hinsichtlich der Eignung als Kontrollplatz für das sichere Ausleiten mit angemessenem Aufwand möglich.

Die wesentlichen Kriterien, die zur Bewertung genutzt werden, sind:

- die Lkw-Stellplatzkapazität,
- die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), sowohl von Pkw- als auch vom Schwerverkehr,
- die Entfernung zur vorgelagerten Anschlussstelle,
- die Entfernung zur nachgelagerten Anschlussstelle,
- die Verfügbarkeit einer Achslastmessstelle (AMS) zur Kombination von Achslastmessung und BAG-Standkontrolle und
- die Verfügbarkeit von Mautbrücken oder anderer Optionen zur effizienten Einbindung von Mautkontrolltechnik.

Aus diesen primären Daten werden teilweise weitere Hilfsgrößen gebildet wie beispielsweise die spezifische Lkw-Stellplatzkapazität, die definiert wurde als Anzahl Lkw-Stellplätze geteilt durch die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs. Eine Liste aller im reduzierten Kriterienkatalog enthaltenen Anforderungen befindet sich in Anhang D.2.

Die Daten zur Bewertung der PWC stammen aus unterschiedlichen Quellen. Die grundlegenden Eigenschaften der PWC wie bspw. Name, Bundesautobahnanschluss und Stellplatzkapazität stammen aus dem Rastplatzerfassungstool der BAST (Bild 143) (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) – Referat StB 12 – Straßenverkehrstelematik, Rastanlagen, 2020). Die Entfernungen zu vor- und nachgelagerten Anschlussstellen wurden automatisiert aus dem Autobahnverzeichnis ermittelt (KÜHNEN, 2016). Die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke wurde aus Verkehrsstatistikdaten der Dauerzählstellen entnommen (Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), 2020). Für die Verfügbarkeit von Achslastmessstellen und Maut-

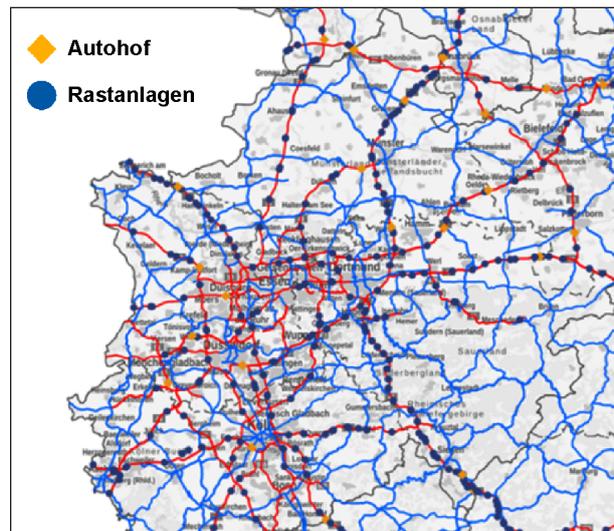


Bild 143: Ausschnitt aus dem Rastplatzerfassungstool der BAST. (Bild: ©EuroGeographics ©Geobasis-DE/ BKG 2018 © BISStra/BAST)

brücken wurde auf aktuelle Daten des BAG zurückgegriffen. Im Rahmen einer Abfrage der Maut-Kontrolleinheiten wurden zudem umfangreiche Daten zur Durchführung von Mautkontrollen an den PWC durch das BAG zusammengetragen, welche in die Datenbasis eingearbeitet und für die hier durchgeführte Standortbewertung genutzt wurden.

Nur ein gewisser Teil der in Betracht kommenden PWC verfügt über eine Kontrollstellenbeschilderung, die Grundvoraussetzung für die Durchführung einer Standkontrolle ist. Da beim Ausbau der sicheren Ausleittechnik allerdings in jedem Fall Baumaßnahmen notwendig sind und bestehende Kontrollstellenbeschilderungen eine z. T. händische Bedienung erfordern, werden sowohl die bereits als Kontrollplätze genutzten PWC als auch die noch nicht als Kontrollplätze genutzten PWC in die Betrachtung einbezogen.

#### 9.4 Validierung und Anwendung des reduzierten Kriterienkatalogs zur Standortbewertung für das sichere Ausleiten

Der reduzierte Kriterienkatalog wurde entwickelt, um die effiziente Bewertung einer möglichst großen Anzahl von Standorten durchzuführen. Im Vergleich zum beim Experten-Workshop entwickelten Gesamtkriterienkatalog ist daher die Detailtiefe deutlich geringer. Um herauszufinden, wie sehr das Bewertungsverfahren mit den realen Anforderungen übereinstimmt, wurde eine Abfrage der örtlich zu-

ständigen BAG-Sachbereiche durchgeführt. Diese Maßnahme diente als Validierung des reduzierten Kriterienkatalogs.

Im Rahmen der Abfrage der BAG-Sachbereiche wurden auch die Ergebnisse einer ersten Standortbewertung mithilfe des reduzierten Kriterienkatalogs sowie eine Liste mit Fragen an die zuständigen BAG-Sachbereiche übermittelt. Ziel war es, die Ergebnisse der Standortbewertung mit den Erfahrungen des BAG-Personals abzugleichen. Es wurde unter anderem gefragt, ob die Methode grundsätzlich geeignet ist, ob die ermittelten Standortbewertungen mit der eigenen Einschätzung des BAG-Personals übereinstimmen und ob bestimmte Bewertungsaspekte stärker berücksichtigt werden sollten.

Die schriftlichen Rückmeldungen zur Bewertungsmethode und den Ergebnissen waren verhalten positiv bis positiv. Die grundsätzliche Eignung zur Standortauswahl wurde der Bewertungsmethode aber überwiegend zugeschrieben. Allerdings wurde bemängelt, dass einige Kriterien wie bspw. geplante Baumaßnahmen oder die örtliche Verfügbarkeit von Kontrollpersonal, die einen wesentlichen Einfluss auf die Standortauswahl haben können, nicht im reduzierten Kriterienkatalog berücksichtigt werden. Diese und einige andere Aspekte sind im Gesamtkriterienkatalog enthalten, konnten aber im reduzierten Kriterienkatalog nicht berücksichtigt werden, weil die für eine Auswertung notwendige Datengrundlage im Rahmen der Evaluation nicht bereitstand bzw. diese nicht zur Datenverarbeitung geeignet war. Oft wurde auch festgestellt, dass nicht berücksichtigte Aspekte nur von Fachkundigen mit Kenntnissen der Kontrollabläufe und des PWC vor Ort bewertet werden können und damit den weichen Kriterien zuzuordnen wären. Eine solche Einschätzung von Fachkundigen für jedes dieser Kriterien und zu der Gesamtheit aller in Frage kommender PWC einzuholen wäre im Rahmen der Evaluation nicht möglich gewesen.

Der reduzierte Kriterienkatalog erreicht daher nicht die gleiche Aussagekraft wie der Gesamtkriterienkatalog, ist aber grundsätzlich weiterhin für die Vorauswahl von geeigneten Standorten wertvoll. Daher wird vorgeschlagen, die Ergebnisse des reduzierten Kriterienkatalogs, welche als Vorschlag zur Auswahl einer bestimmten Anzahl an Standorten für den Ausbau der Ausleittechnik genutzt werden können, im Anschluss vor einer finalen Festlegung einer eingehenderen Beurteilung zuzuführen.

Insgesamt ist der reduzierte Kriterienkatalog also eine gute Hilfestellung zur Eruerung einer Vielzahl möglicher Standorte und kann die Entscheidung, welche Standorte mit der sicheren Ausleittechnik ausgestattet werden, sinnvoll und vor allem objektiv unterstützen.

Wie oben beschrieben wird durch die Bewertungsmethode jedem Standort ein Nutzwert zugeschrieben, wodurch eine Rangfolge von am besten geeigneten PWC für die Nutzung als Kontrollstandorte erstellt wird. Der reduzierte Kriterienkatalog bewertet auf Grundlage der beschriebenen ausgewählten Kriterien und auf der zusammengetragenen Datengrundlage alle PWC, für die Daten in den oben genannten Quellen gefunden werden konnten. Im Rahmen der Auswertung der schriftlichen Rückmeldungen der BAG-Sachbereiche wurden der Datenbasis weitere PWC, die neu gebaut werden oder bisher nur geplant sind, hinzugefügt, sodass insgesamt 729 PWC in die Bewertung eingeflossen sind. Die Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Kriterien zur späteren Bestimmung des Gesamtnutzwertes können einzeln festgelegt werden. Für die hier durchgeführte Untersuchung wurden die Gewichtungsfaktoren auf Basis einer zuvor durchgeführten Prioritätenanalyse, nachdem sie auf die besonderen Anforderungen des sicheren Ausleitens angepasst wurden, verwendet. Die Gewichtungsfaktoren des reduzierten Kriterienkatalogs sind in Anhang D.3 enthalten.

Die hier vorgestellte Standortbewertung basiert auf einem festen Set an Gewichtungsfaktoren und Kriterien, um die Vergleichbarkeit der Bewertungen zu gewährleisten. Grundsätzlich wäre eine subsequente Anpassung des erarbeiteten Kriterienkatalogs auch nach Abschluss dieser Untersuchung möglich, um auf besondere neue Erkenntnisse und Anforderungen reagieren zu können. Die prinzipielle Methodik lässt sich gut erweitern und adaptieren, um bspw. neue Schwerpunkte bei der Standortbewertung zu setzen.

Zur Betrachtung der Ergebnisse der Standortbewertung ist eine Filterung von Daten möglich, um einen speziellen Schwerpunkt beim Ausbau der sicheren Ausleittechnik zu setzen. Auf diese Weise kann eine fokussierte Betrachtung der Standorte durchgeführt und bspw. nur Standorte an einer bestimmten Bundesautobahn oder nur PWC mit einer Achslastmessstelle im Vorlauf dargestellt werden. Prinzipiell wäre es in umgekehrter Weise auch möglich, definierte notwendige Kriterien aus der Filte-

rung herauszunehmen, um in Einzelfällen Standorte zu berücksichtigen, welche notwendige Kriterien (noch) nicht erfüllen.

Für die Darstellung der Standortbewertungen wird angenommen, dass möglichst Standorte in verschiedenen Zuständigkeitsbereichen ausgewählt werden. Auf diese Weise wäre die weite Verbreitung der Ausleittechnik in Deutschland begünstigt und viele BAG-Sachbereiche können das System einsetzen. Weiterhin würde auch der Bekanntheitsgrad des Systems in verschiedenen Bereichen Deutschlands zunehmen. Für den weiteren Ausbau wird im Rahmen dieser Untersuchung daher die Annahme getroffen, dass im Zuständigkeitsbereich von jedem der acht BAG-Sachbereiche zunächst zehn Standorte mit dem sicheren Ausleiten ausgestattet werden. Daher werden insgesamt 80 Standorte, jeweils die zehn am besten bewerteten PWC pro BAG-Sachbereich, in einer Übersicht dargestellt. In Tabelle 24 werden beispielhaft die zehn am besten bewerteten PWC des BAG-Sachbereichs Erfurt aufgelistet. Die Bewertungen erfolgen mit Punktzahlen auf einer Skala von null bis zehn Punkten. Für die in Kapitel 9.1 erarbeiteten Gruppierungen wie bspw. „Vorlaufeigenschaften“ werden Einzelbewertungen in der Tabelle aufgezeigt.

Wie bereits zuvor ausgeführt können die dargestellten PWC möglicherweise gewisse von Fachkundi-

gen vorausgesetzte (weiche) Anforderungen in der Realität nicht erfüllen, da der reduzierte Kriterienkatalog nicht die entsprechende Detailtiefe abdeckt und teilweise auch nicht alle notwendigen Informationen verfügbar waren bzw. sich quantitativ bewerten ließen. Die dargestellte Standortauswahl liefert jedoch ein umfassendes Bild von sehr gut geeigneten PWC für den Ausbau der sicheren Ausleittechnik. Ein nicht berücksichtigter Aspekt im Speziellen ist die gleichmäßige Verteilung der Standorte innerhalb Deutschlands. So kann es bspw. sein, dass zwei an einer Bundesautobahn direkt hintereinanderliegende PWC in der Liste, der am besten bewerteten Standorte enthalten sind. In diesem Fall wäre der Ausbau beider PWC in der Realität nicht sinnvoll. Aus diesem Grund wurde zusätzlich zur tabellarischen Übersicht auch eine kartografische Darstellung der Standortbewertung unter Nutzung der Geokoordinaten der PWC erarbeitet.

Weiterhin können bspw. die Standorte eines bestimmten BAG-Sachbereichs mit einer guten Bewertung auf einer Deutschlandkarte betrachtet werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Standorte auch hinsichtlich ihrer geografischen Lage zu bewerten.

Neben der geografischen Verteilung von möglichen Kontrollplätzen sollten bei der finalen Auswahl eines PWC als Kontrollplatz für das sichere Ausleiten durch Fachkundige vor allem folgende Kriterien berücksichtigt werden: Gestaltung der Rastanlage im Detail, Qualität des Mobilfunks und der Kommunikation des Kontrollpersonals vor Ort, Bauplanung und Zukunftsfähigkeit allgemein sowie personelle Ressourcen über die lokalen Zuständigkeitsbereiche hinaus.

PWC	Gesamtbewertung	Kontrollplatz	Vorlauf	Nachlauf	Äußere Einflüsse
Hainich Nord	7,47	8,29	10,00	1,50	6,49
Dreihöhenberg Ost	6,79	9,67	4,30	9,10	6,08
Ihlegrund Nord	6,40	7,81	4,35	8,75	6,71
Ihlegrund Süd	6,39	7,81	4,10	9,30	6,71
Dreihöhenberg West	6,29	9,67	4,30	6,25	6,08
Mosigkauer Heide West	5,71	2,81	7,45	5,90	5,65
Kapellenberg West	5,53	4,06	7,50	3,00	5,62
Wüstenforst Nord	5,50	3,80	4,13	9,50	7,09
Himmelsteiche Ost	5,31	8,17	2,25	7,40	6,13
Leinetal Nord	5,31	10,00	2,50	4,50	5,82

Tab. 24: Beispielhafte Darstellung der zehn am besten bewerteten PWC des BAG-Sachbereichs Erfurt, welche die notwendigen Kriterien erfüllen (Skala von null bis zehn Punkten)

## 10 Zukünftige Entwicklung der Ausleittechnik

Für die Beurteilung zukünftiger Entwicklungen, welche das sichere Ausleiten beeinflussen können, werden in diesem Abschnitt Vorschläge zusammengestellt. Ferner werden Überlegungen zu den Auswirkungen von elektronisch gekoppelten Lkw-Konvois und zur Nutzung kooperativer und vernetzter Systeme für das sichere Ausleiten vorgestellt. Des Weiteren werden auch Vorschläge für zukünftige Kontrollstellenbeschilderungen dargestellt.

### 10.1 Ausarbeitung von möglichen Varianten für Regelpläne einer zukünftigen Kontrollstellenbeschilderung

Die Beschilderung von BAG-Kontrollstellen für das sichere Ausleiten berücksichtigt in der aktuellen Form die im Regelplan für BAG-Kontrollstellen festgelegte Beschilderung, wobei die Ausleitafel das Zeichen 101 „Gefahrenstelle“ zwischen der 200 m- und 300 m-Ankündigungsbake ersetzt. Der aktuelle Regelplan für BAG-Kontrollstellen mit Ausleitafel und fünf Anzeigequerschnitten ist als Referenz in Bild 144 dargestellt, der auf dem Standardregelplan für Kontrollstellen des BAG basiert (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, 2011). In Zukunft sind aber weitere Varianten und Anforderungen vorstellbar. Aus diesem Grund wurden weitere mögliche Varianten von Regelplänen für eine zukünftige Kontrollstellenbeschilderung für das sichere Ausleiten erstellt und evaluiert.

Es ist denkbar, dass zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer eine zweite Ausleitafel vor der BAG-Kontrollstelle vorgesehen wird. Ein möglicher Nutzen könnte sein, dass die Befolgungsrate gesteigert wird. Die Untersuchungen und Ergebnisse aus Kapitel 7.5 unterstützen den Zusammenhang zwischen der Nutzung von zwei Ausleitafeln und positiven Effekten auf den Ausleitprozess. In Kapitel 5.1.2.2 wurde dargestellt, dass Verkehrsteilnehmer, die mit der sicheren Ausleittechnik ausgeleitet werden sollten und anschließend befragt wurden, eine zweite Ausleitafel mehrheitlich als notwendig beurteilten (sowohl Ausfahrer als auch in höherem Maße Nicht-Ausfahrer). Im Fragebogen wurde weiterhin nach dem möglichen Standort der zweiten Ausleitafel gefragt und vier ver-

schiedene Optionen für eine Platzierung zur Auswahl gestellt. Die Varianten, welche Teil des Fragebogens waren und eine zweite Ausleitafel vorsehen, werden daher am Beispiel des Pilotstandortes Sophienberg auch in Regelplänen umgesetzt. Insgesamt wurden fünf prinzipielle Abschnitte identifiziert, an denen die Ausleitafel aufgestellt werden könnte. Zur Aufstellung einer zweiten zusätzlichen Ausleitafel verbleiben daher vier Möglichkeiten, da die Position der ersten Ausleitafel bereits als sehr gut geeignet angesehen und nicht verändert wird. Die bereits vorgesehene Beschilderung für Geschwindigkeitstrichter, Ankündigungsbaken etc.

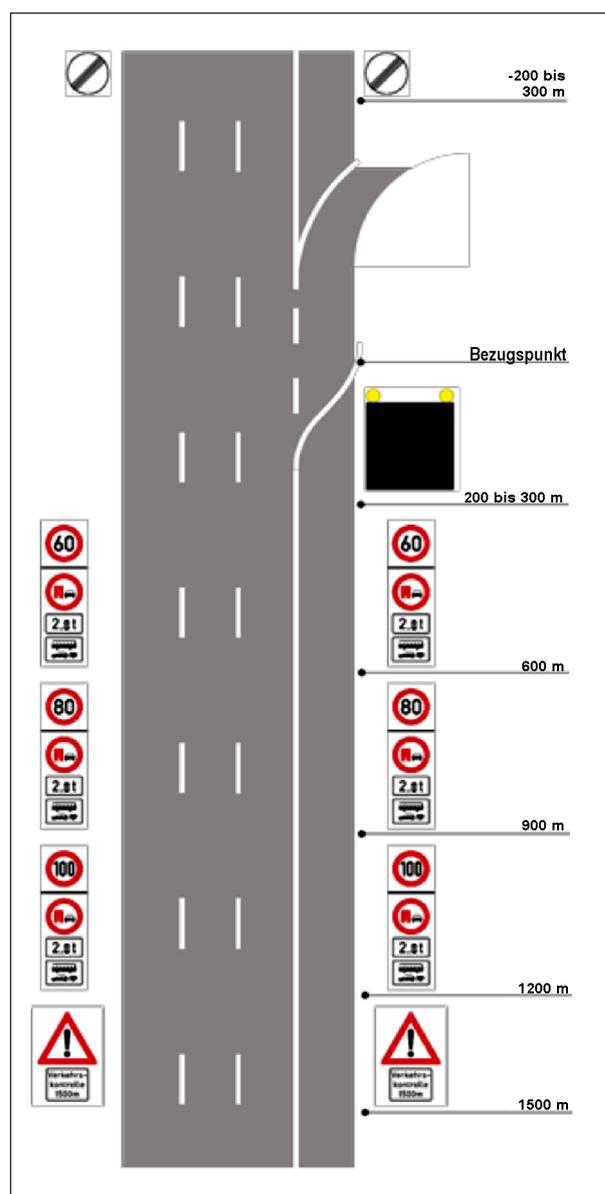


Bild 144: Regelplan der Beschilderung einer Kontrollstelle des BAG mit Ausleitafel und fünf Anzeigequerschnitten basierend auf dem Vkbl. 2011, Heft 1, VO-Nr. 8 (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, 2011).

sollten nicht verändert werden. Weiterhin gelten zur Aufstellung von Beschilderungen grundsätzliche Regeln und Abstandsempfehlungen, wie sie bspw. in den Richtlinien zur Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen festgelegt sind (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, 1995). Insgesamt resultiert daraus für jeden der vier Abschnitte eine Position, an der die zweite Ausleitertafel aufgestellt werden könnte. Die Regelplanvarianten für eine zweite Ausleitertafel für Sophienberg sind in Anhang E dargestellt. Die Variantenummern I bis V bezeichnen die Abschnitte I bis V, in denen die zweite Ausleitertafel aufgestellt werden könnten. Die Variante IV stellt den ursprünglichen Regelplan des PWC Sophienberg mit geändertem Ausleitertafel-Design dar, weil in diesem Abschnitt keine zweite Ausleitertafel aufgestellt werden kann, da hier bereits die erste Ausleitertafel positioniert ist.

In Diskussionen und durch eine Beurteilung durch eine Verkehrsbehörde konnte festgestellt werden, dass nicht jede der vier zusätzlich möglichen Varianten als sinnvoll zu betrachten ist. So sorgen zwei in geringem Abstand aufeinanderfolgende Ausleitertafeln, wie sie in den Varianten zu den Positionen III und V umgesetzt wurden, für ein Überangebot an Informationen in einem Abschnitt, in dem sich bereits viele Verkehrszeichen befinden. Der Mehrwert hinsichtlich der effektiven Informierung der Verkehrsteilnehmer wird bei diesen Varianten zudem als gering gesehen. Daher werden vor allem die Varianten I und II als sinnvoll erachtet, um eine zweite Ausleitertafel weiter entfernt bzw. vor der bisherigen Ausleitertafel aufzustellen, welche Verkehrsteilnehmer frühzeitig über den Ausleitervorgang informiert.

Wenn eine Ausleitertafel weiter entfernt vom Bezugspunkt, welcher sich am Anfang des Verzögerungstreifens bei Erreichung seiner vollen baulichen Breite (wie in Bild 144 eingetragen) befindet, aufgestellt wird, wie es teilweise bei den diskutierten Varianten der Fall ist, muss die Position der Kennzeichenerfassung überprüft werden. Grund hierfür ist, dass vom Zeitpunkt der Kennzeichenerfassung bis zur Anzeige eines Fahrzeugkennzeichens auf der Ausleitertafel Vorgänge mit einer bestimmten benötigten Zeitdauer ablaufen. Dazu zählen Übertragungs- und Latenzzeiten sowie die Zeit, die das BAG-Kontrollpersonal zur Entscheidung, welches Fahrzeug ausgeleitet werden soll, und Bedienung der Ausleitertafel mittels Software benötigen. Die hierfür benötigte Zeitdauer zwischen der Erfassung und Schaltung der Ausleitertafel wird auf etwa 30 s geschätzt,

was auch von Experten als realistisch eingestuft wird. Bei einer angenommenen Fahrgeschwindigkeit von Lkw von 85 km/h muss die Distanz zwischen Kennzeichenerfassung und erster Ausleitertafel mindestens 708 m betragen, damit Verkehrsteilnehmer die Information beim Vorbeifahren an der ersten sichtbaren Ausleitertafel erfassen können. Die Leserlichkeit der Ausleitertafel ist auf Basis der Geschwindigkeit, Schriftgröße und dem Sehwinkel des Fahrpersonals gemäß DIN 1450 (Deutsches Institut für Normung e.V., 2013) bis zu einem Abstand von 63 m vor der Ausleitertafel gewährleistet. Somit muss die oben angegebene Distanz auf 771 m erhöht werden. In der ausgearbeiteten Variante I steht die zusätzliche Ausleitertafel mit 1.200 m am weitesten vom Bezugspunkt entfernt. Die Kennzeichenerfassung findet am Kontrollplatz Sophienberg 2.500 m vor dem Bezugspunkt statt. Somit wäre eine ausreichende Entfernung von 1.300 m gewährleistet. In Fällen, bei denen die Kennzeichenerfassung mit dem ersten Beschilderungsquerschnitt des Regelplans einhergeht und nur 1500 m vor dem Bezugspunkt stattfindet, wäre der notwendige Abstand für diese Variante jedoch nicht gegeben. Bei Variante II steht die zusätzliche Ausleitertafel 800 m vom Bezugspunkt entfernt. Für die Kennzeichenerfassung in 2.500 m Entfernung vom Bezugspunkt ist zwar eine ausreichende Distanz von 1.700 m gewährleistet, bei Kennzeichenerfassung im ersten Beschilderungsabschnitt in 1.500 m Entfernung wäre jedoch der notwendige Abstand zur Verarbeitung und Anzeige des Kennzeichens auf der ersten sichtbaren Ausleitertafel genau wie bei Variante I nicht gegeben. Bei Variante II wäre bei Aufstellung der Ausleitertafeln in 300 m und 800 m Entfernung vom Bezugspunkt ein Abstand von 500 m zwischen beiden Ausleitertafeln realisiert. Dieser Abstand von 500 m entspricht auch dem üblichen Abstand zwischen Ankündigungstafel und Vorwegweiser an Rastplätzen, sodass Variante II als eine sinnvolle Beschilderungsabfolge angesehen werden kann. Ein Abstand zwischen beiden Ausleitertafeln von 750 m, wie er typischerweise in einigen Anwendungsfällen bspw. zwischen dWiSta-Tafeln (dynamische Wegweiser mit integrierter Stauinformation) vor Anschlussstellen gewählt wird (GRAHL, 2007), ist nicht in günstiger Form umsetzbar, da die Ankündigungstafel bei Rastplätzen üblicherweise 1.000 m vor dem Bezugspunkt liegt und die Ausleitertafel nach Regelplan 200 m bis 300 m vor dem Bezugspunkt zu positionieren ist. Wäre die zusätzliche Ausleitertafel in 750 m Entfernung zur ursprünglichen Ausleitertafel aufgestellt, so würde der Abstand zwischen Ankündi-

gungstafel und zusätzlicher Ausleitertafel nur 50 m betragen, was als zu gering eingeschätzt wird und nicht den Richtlinien zur Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen entspricht.

Bei zweistreifiger Autobahnrichtungsfahrbahn sieht der Regelplan für Kontrollstellen des BAG im Regelfall eine Beschilderung mit nur vier Anzeigequerschnitten vor, wie in Bild 144 dargestellt ist. In diesem Fall wäre die Kennzeichenerfassung zu Beginn des ersten Beschilderungsquerschnitts nur 1.200 m vom Bezugspunkt entfernt. Die zuvor für Sophienberg diskutierte Beschilderungsvariante I mit einer zusätzlichen Ausleitertafel wäre in diesem Zusammenhang prinzipiell nicht umsetzbar, da 1.200 m vom Bezugspunkt entfernt bereits das Ankündigungsschild der Verkehrskontrolle steht. Die zusätzliche Ausleitertafel könnte zwar gemäß der oben diskutierten Variante II 800 m vom Bezugspunkt entfernt aufgestellt werden, der notwendige Abstand zwischen Kennzeichenerfassung und erster sichtbarer Ausleitertafel wäre allerdings nicht gegeben. Da im Regelplan eingeräumt wird, dass besondere verkehrliche Aspekte auch bei zweistreifiger Autobahnrichtungsfahrbahn die Standardbeschilderung mit fünf Anzeigequerschnitten rechtfertigen können, sollte dieser Ermessensspielraum im Falle der Aufstellung einer zusätzlichen Ausleitertafel an einer zweistreifigen Autobahnrichtungsfahrbahn ausgenutzt werden. Auf diese Weise wäre die Umsetzung der Variante I zur Aufstellung einer zweiten Ausleitertafel möglich.

Theoretisch wäre bei Variante II im Falle einer durch Routine und softwareseitige Verfahrensvereinfachungen verkürzten Verarbeitungszeit zwischen Kennzeichenerfassung (1.500 m vom Bezugspunkt entfernt) und Kennzeichendarstellung auf der ersten sichtbaren Ausleitertafel (800 m vom Bezugspunkt entfernt) eine ausreichende Entfernung zwischen Ausleitertafel und Kennzeichenerfassung denkbar. Zudem könnte die Variante II auch für eine Kontrollstellenbeschilderung angepasst werden, bei der die Ausleitertafel 200 m vom Bezugspunkt entfernt aufgestellt ist, was auch dem Standardregelplan für BAG-Kontrollstellen entspricht und wie es bspw. am Pilotstandort Theißtal-W umgesetzt wurde. In einem solchen Fall könnte die zusätzliche Ausleitertafel im Abstand von 700 m Entfernung vom Bezugspunkt positioniert werden, was für eine ausreichende Verarbeitungszeit zwischen Kennzeichenerfassung und Kennzeichendarstellung günstig wäre.

Insgesamt ist daher unter Berücksichtigung der Verarbeitungszeiten zwischen Kennzeichenerfas-

sung und Anzeige auf der Ausleitertafel sowie unter Berücksichtigung einer sinnvollen Beschilderungsabfolge mit einem Abstand von 500 m zwischen beiden Ausleitertafeln die Variante II zur Aufstellung einer zusätzlichen Ausleitertafel sowohl für zweistreifige als auch dreistreifige Autobahnrichtungsfahrbahn als am besten geeignet zu bewerten. Die Variante II wird zudem von den befragten Verkehrsteilnehmern mehrheitlich bevorzugt, wie in Kapitel 5.1.2.2 und in Bild 36 dargestellt wurde.

Als eine weitere Möglichkeit, die Befolgungsrate bzw. Ausleitquote zu erhöhen, werden dynamische Fahrspurzuweisungen gesehen. Bei dieser Variante

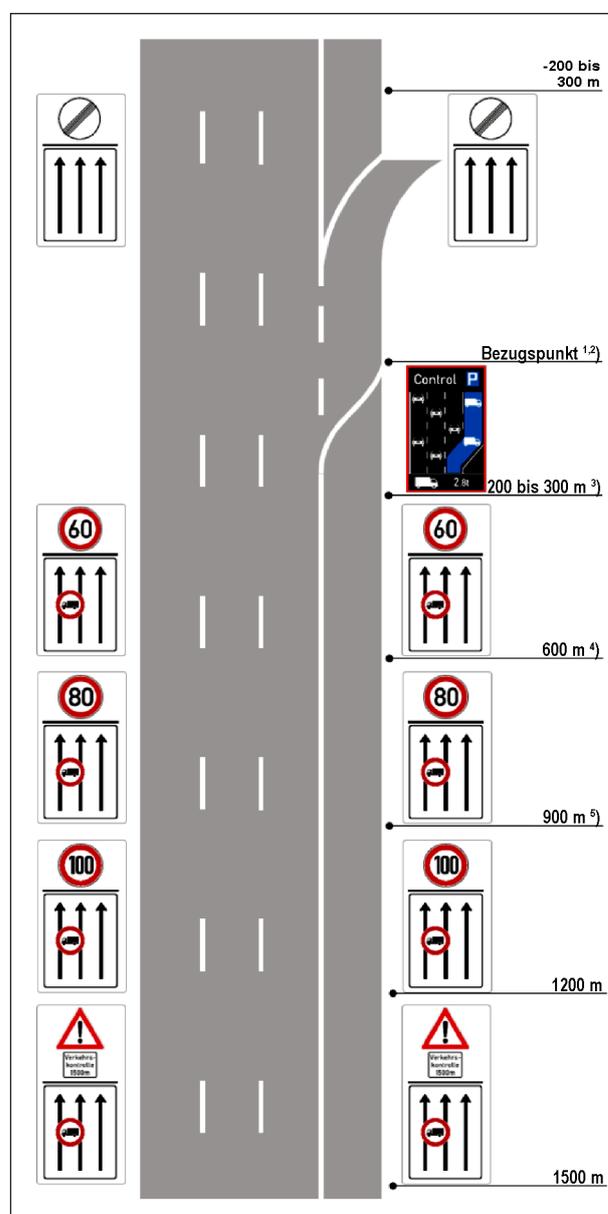


Bild 145: Vorschlag für einen Regelplan mit Fahrspurzuweisung für Lkw, der von einer Verkehrsbehörde als nicht geeignet bzw. umsetzbar eingeschätzt wurde

würde es Lkw, Bussen und Pkw mit Anhänger während einer durchgeführten BAG-Standkontrolle nur gestattet werden, die rechte Fahrspur zu nutzen. Auf diese Weise wäre die Wahrnehmung hinsichtlich der Ausleitertafel und der Kontrolle erhöht und es würde verhindert werden, dass Lkw trotz Überholverbots eine andere als die rechte Fahrspur nutzen. Es wurde untersucht, ob eine solche Beschilderungsvariante mit einer durch seitliche Beschilderung angeordneten Fahrspurzuweisung in den Regelplan für das sichere Ausleiten integriert werden kann. Die Anordnung über eine am seitlichen Fahrbahnrand aufgestellte Beschilderung würde signifikant weniger Kosten verursachen als eine Anordnung durch Überkopfbeschilderung. Der vorgeschlagene Entwurf eines solchen Regelplans ist in Bild 145 dargestellt. Eine Beurteilung durch eine Verkehrsbehörde auf Basis der ausgearbeiteten Variante ergab jedoch, dass eine solche Fahrspurzuweisung nicht in den Standardregelplan für BAG-Kontrollstellen integriert werden kann, vor allem da die Anordnungen auf einer zu kurzen Strecke erfolgen würden. Es fände ein Überangebot an Informationen statt, welche das Verständnis der Verkehrsteilnehmer auf der kurzen Strecke stark erschweren würde. Zu der vorgesehenen Kontrollstellenbeschilderung kommen teilweise auch noch weitere Beschilderungen bspw. von der Polizei, die nicht im Standardregelplan eingeplant sind, aber noch zusätzlich berücksichtigt werden müssten. Es bestünde die Gefahr, dass Verkehrsteilnehmer die Beschilderung nicht verstehen und falsch interpretieren, woraus Gefahrensituationen für alle Verkehrsteilnehmer entstehen könnten. Insgesamt müsste eine solche Fahrspurzuweisung mit Sperrung bestimmter Spuren für bestimmte Fahrzeuge im Voraus und mehrmals wiederholt angekündigt und angeordnet werden. Hierfür müssten zusätzliche schaltbare Schilder (LED-Tafeln) aufgestellt werden. Eine solch umfangreiche Anordnung ließe sich jedoch bei einem typischen BAG-Kontrollplatz nur schwer umsetzen und es würden hohe Kosten für die Installation der Beschilderung entstehen. Die Situation wäre für eine Anordnung durch Überkopfbeschilderung anstelle einer seitlichen Anordnung ähnlich zu werten. Das sichere Ausleiten mit Unterstützung einer dynamischen Fahrspurzuweisung ist daher im Allgemeinen nicht wirtschaftlich umsetzbar. In Einzelfällen für dauerhaft genutzte BAG-Kontrollstellen von besonderer Bedeutung wäre eine dynamische Fahrspurzuweisung jedoch denkbar. Eine solche Umsetzung wurde hier nicht weiter untersucht. Eine andere kostengünstigere Variante

wäre, die Installation einer zusätzlichen Kamera zur Detektion der weiteren Fahrstreifen. Damit ließen sich dann auch Fahrzeuge auf den anderen Fahrstreifen erkennen, die dann zur Ausfahrt aufgefordert bzw. nachverfolgt werden können.

Im Rahmen des von der EU beschlossenen „Mobilitätspaket Teil I“ wird zukünftig die Grenze für Aufzeichnungspflichten im Bereich des Fahrpersonalrechts von Fahrzeugen zur Güterbeförderung von aktuell geltenden 2,8 t auf 2,5 t herabgesetzt werden. Das wird eine Anpassung der Beschilderungsinhalte des Regelplans für BAG-Kontrollstellen er-

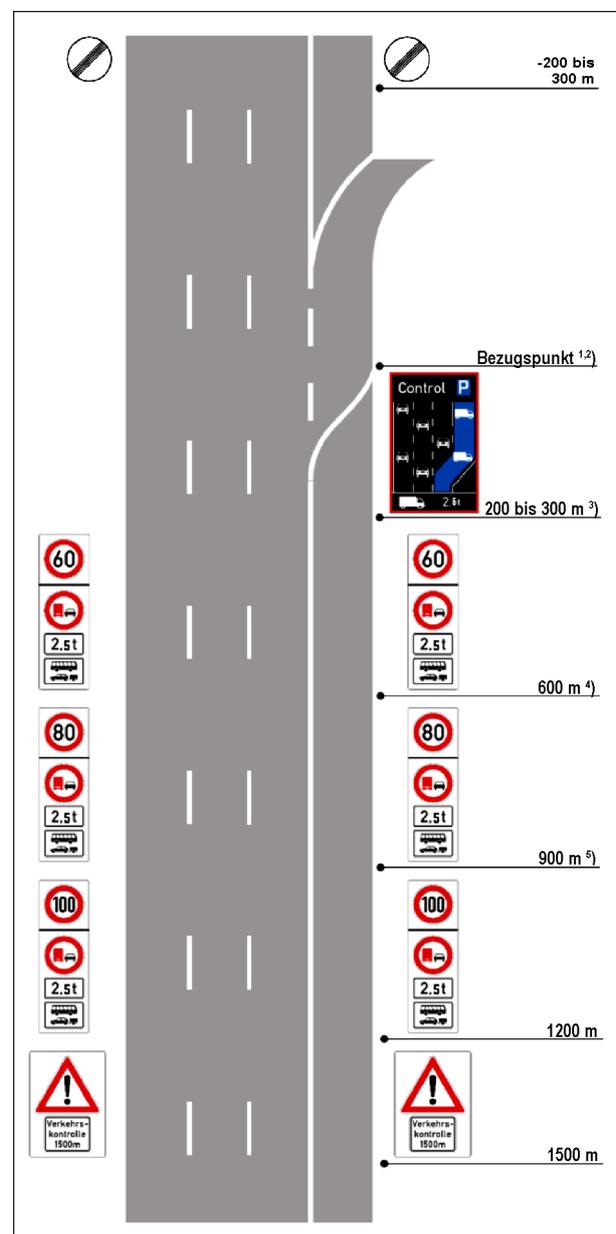


Bild 146: Regelplan für dreistreifige Autobahnrichtungs-fahrbahn unter Beachtung der neuen Grenze für Aufzeichnungspflichten von Fahrzeugen zur Güterbeförderung

fordern. Aus diesem Grund wurde eine Variante des Standardregelplans für BAG-Standkontrollen mit Ausleitetafel und entsprechend angepasster Gewichtsgrenze erarbeitet, welche in Anhang E enthalten ist. Eine erste Beurteilung durch eine Verkehrsbehörde sieht die Änderung der Gewichtsgrenze im Regelplan für BAG-Kontrollstellen auf Basis des Entwurfs als praktikabel an. Die Beschreibung ist in Bild 146 für eine dreistreifige Autobahnrichtungsfahrbahn dargestellt.

## 10.2 Mögliches Vorgehen beim Ausleiten von elektronisch gekoppelten Lkw (Lkw-Konvois)

Für den Ausbau und die Weiterentwicklung der Ausleitetechnik in Zukunft sollten auch mittel- bis langfristig stattfindende Entwicklungen im Verkehrssektor sowie der Fahrzeugindustrie berücksichtigt werden. Dazu gehört u. a. die elektronische Kopplung von Lkw. Die elektronische Kopplung von Lkw zu sogenannten Lkw-Konvois oder Lkw-Platoons wird als eine vielversprechende Maßnahme zur Verbesserung des Verkehrsflusses und zur Minderung des Kraftstoffverbrauchs der gekoppelten Fahrzeuge betrachtet und in den vergangenen Jahren international intensiv erforscht, wie wissenschaftliche Übersichtsarbeiten zeigen (TSUGAWA, 2016) (BHOOPALAM, 2018). Die genauen Auswirkungen hängen maßgeblich von dem Automatisierungsgrad der elektronisch gekoppelten Lkw und von der Marktdurchdringung solcher Systeme ab. Insgesamt wurde in Praxistests das Potenzial einer signifikanten Steigerung der Straßenkapazität und einer deutlichen Kraftstoffeinsparung nachgewiesen. Eine kurzfristige Einführung von elektronischen Lkw-Kopplungssystemen wird nicht erwartet.

Ein Szenario mit mittel- bis langfristigem Umsetzungspotenzial, welches bereits wissenschaftlich untersucht wurde, ist das von drei fahrerbesetzten hochautomatisierten Lkw (SAE-Level 3), welche im Abstand von etwa 5 bis 25 m fahren (RWTH Aachen, Lehrstuhl für Informatik im Maschinenbau). Dieses Szenario wird aufgrund der bereits durchgeführten Untersuchungen zur Abschätzung der Auswirkungen auch im Zusammenhang mit dem sicheren Ausleiten angenommen.

In einer Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten und Praxistests wurden verschiedene Herausforderungen für elektronisch gekoppelte Lkw identifiziert (RWTH Aachen, Lehrstuhl für Informatik im Maschi-

nenbau). Das sichere Ausleiten als Sonderfall betreffen maßgeblich die verkehrlichen und verhaltenswissenschaftlichen Aspekte. Festgestellte Herausforderungen bei der elektronischen Kopplung von Lkw, welche auch das sichere Ausleiten betreffen, sind die folgenden:

- Das Einscheren von Pkw in die Lücken zwischen elektronisch gekoppelten Lkw, insbesondere beim Ein- und Ausfädeln an Anschlussstellen auf Autobahnen.
- Die von anderen Verkehrsteilnehmern erwartete Kollegialität beim Einfädeln in Form eines Spurwechsels auch von Lkw auf Autobahnen, welche Lkw-Konvois nicht umsetzen können.
- An kurzen Beschleunigungsstreifen haben bereits im Voraus gebildete Lkw-Konvois auch angesichts des kurzen zur Verfügung stehenden Zeitfensters Schwierigkeiten beim gemeinsamen Einfädeln. Das beträfe beim sicheren Ausleiten auf dem Kontrollplatz gebildete Lkw-Konvois.
- Auch das Ausfädeln von Lkw-Konvois kann für andere, abzufahren beabsichtigende Verkehrsteilnehmer Probleme bereiten, insbesondere auch bei kurzen Verzögerungsstreifen. Ein Rückstau von Lkw, beispielsweise bei der Pulk- ausleitung könnte die Folge sein.
- Das außerplanmäßige Verhalten wie ein plötzlicher Spurwechsel bei neuartigen und für Verkehrsteilnehmer unbekanntem Situationen, wie es das sichere Ausleiten in der Einführungsphase darstellen würde, kann eine Gefahrensituation durch das Nachfolge-Verhalten auch von nicht zum Konvoi gehörigen Lkw, welche als Reaktion dem Konvoi unmittelbar nachfolgen, darstellen.

Auf Basis dieser bereits identifizierten zu berücksichtigenden Aspekte anhand des Szenarios von drei fahrerbesetzten hochautomatisierten Lkw (SAE-Level 3), welche im Abstand von 10 bis 15 m fahren, werden im Folgenden die besonderen Gegebenheiten beim sicheren Ausleiten von Lkw-Konvois herausgearbeitet.

Die einzelnen Phasen des sicheren Ausleitens werden in auch für Lkw-Konvois relevante Schritte eingeteilt. Daraus resultiert auf Basis aktueller Regelbeschaltungspläne und auf Basis der aktuellen Aufstellung des Systems diese Abfolge:

1. Erfassung des Kennzeichens
2. Ankündigung der Kontrollstelle und Geschwindigkeitstrichter sowie sonstige Beschilderung
3. Aufforderung zum Ausfahren
4. Ausfahren auf Kontrollplatz
5. Halten und Kontrolle

Für jede dieser fünf Phasen werden die Herausforderungen und Besonderheiten beim sicheren Ausleiten von Lkw-Konvois identifiziert.

Im ersten Schritt fährt der Lkw-Konvoi am Kennzeichenerfassungssystem vorbei. Hierbei muss das Kennzeichen des Fahrzeuges, welches ausgeleitet werden soll, erfasst werden können. Aus der Kameraperspektive ist voraussichtlich nicht ersichtlich, welche Fahrzeuge einem Lkw-Konvoi zugehörig sind. Es muss weiterhin beachtet werden, dass die Kennzeichen von Zugmaschine und Anhänger, d.h. die von vorne und von hinten sichtbaren Kennzeichen, nicht übereinstimmen müssen, falls die Bildfassung zukünftig um eine weitere, in Fahrtrichtung zeigende Kamera ergänzt würde. Hier ergibt sich bei Lkw-Konvois aufgrund des kurzen Fahrzeugabstandes von 10 bis 15 m das Problem, dass die zuverlässige Erfassung der Kennzeichen durch das Kennzeichenerfassungssystem der dem Führungsfahrzeug nachfolgenden Lkw nicht gewährleistet sein könnte. Je nach Kamera, Kameraposition und -winkel sowie Fahrzeugabstand, Anhängerform und äußeren Einflüssen wie Tageszeit, Wetter und Lichteinstrahlung kann dieses Problem stärker oder schwächer ausgeprägt sein. Unter der Annahme, dass bis zu einem Vertikalwinkel zwischen Fahrzeug und ANPR-Kamera von  $30^\circ$  eine Kennzeichenerfassung möglich ist, kann über trigonometrische Beziehungen zur Verdeckung der Folgefahrzeuge durch das vorausfahrende Fahrzeug abschätzen, dass bei den vorliegenden Bedingungen ein Fahrzeugabstand zwischen den Lkw von etwa 6,5 m die Grenze darstellt. Bild 147 veranschaulicht die Problematik der möglichen Kennzeichenverdeckung. Bei einem kleineren Fahrzeugabstand ist die Kennzeichenerfassung voraussichtlich beeinträchtigt. Insgesamt wird daher erwartet, dass die Erkennung des Fahrzeuges und je nach Fahrzeugabstand auch die Erfassung des Kennzeichens beeinträchtigt wäre.

Beim zweiten Schritt erfolgt die Ankündigung der Kontrollstelle und die Beschilderung insbesondere hinsichtlich Überholverbot und Höchstgeschwindig-

keit. Konnte im ersten Schritt die Kamera die Kennzeichen der Fahrzeuge gegebenenfalls nicht korrekt erkennen, ist nun aufgrund des geringen Abstands zwischen den Fahrzeugen die Sicht der Fahrer der dem Führungsfahrzeug folgenden Lkw auf die Beschilderung möglicherweise eingeschränkt. Erfolgt keine Kommunikation des Führungsfahrzeuges an die Folgefahrzeuge des Konvois, werden daher die Anweisungen der Beschilderungen eventuell nicht erkannt. Je nach Fahrzeugabstand und Anhängerform des vorausfahrenden Lkw kann dieses Problem stärker oder schwächer in Erscheinung treten. Als weiterer Aspekt muss die je nach Automatisierungsgrad des Fahrzeuges verringerte Aufmerksamkeit des Fahrers eines nachfolgenden Konvoi-Fahrzeugs in Betracht gezogen werden. Von den Fahrern wird gegebenenfalls keine permanente Aufmerksamkeit und Beachtung des Verkehrs gefordert oder es werden andere Tätigkeiten durchgeführt. Konkrete Regelungen, welche Arbeiten während der Fahrt vom Fahrpersonal der Folgefahrzeuge zukünftig durchgeführt werden

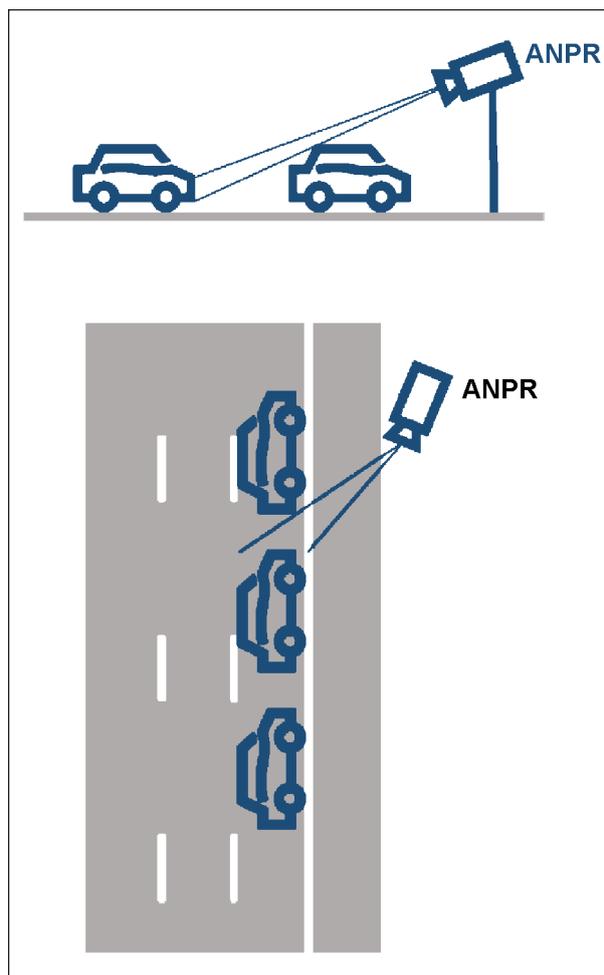


Bild 147: Veranschaulichung der möglichen Verdeckung von Kennzeichen in einem Lkw-Konvoi.

dürfen, bestehen noch nicht. Aktuell wäre die Zulassung von Fahrzeugen mit hochautomatisierten Fahrfunktionen, wie sie für Lkw-Konvois notwendig sind, nach UNECE-Regeln<sup>2</sup> nicht möglich. Nach der Neufassung der Straßenverkehrsordnung 2017 und Überarbeitung des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr 2016 sind zwar Fahrzeugsysteme erlaubt, welche Einfluss auf das Führen eines Fahrzeuges haben, das Fahrpersonal muss allerdings jederzeit die Möglichkeit zur Übersteuerung oder zum Abschalten entsprechender Systeme haben. Mögliche konkrete rechtliche Umsetzungen von Lkw-Konvois sind jedoch noch nicht abschließend geklärt (HARTWIG, 2020). Als Resultat bestünde daher zukünftig die Möglichkeit, dass Konvoi-Folgefahrzeuge keine Kenntnis von der Beschilderung, der vorausliegenden Kontrollstelle und der gegebenenfalls notwendigen Abfahrt haben.

In Schritt drei muss ähnlich wie in Schritt zwei die Ausleitertafel erkannt und die darauf abgebildete Information bzw. Aufforderung zum Abfahren von allen Fahrzeugen des Konvois verstanden werden. Falls die Ausleitertafel sichtbar wäre, bliebe abhängig vom Fahrzeugabstand und der Anhängerform des vorausfahrenden Konvoi-Fahrzeugs daher weniger Zeit als sonst, die Ausleitertafel und die gezeigten Informationen zu erkennen und zu verstehen. Bei Einzelausleitung kennen zum Konvoi zugehörige Lkw, insbesondere bei spontan gebildeten Konvois, möglicherweise nicht die Kennzeichen der anderen zugehörigen Fahrzeuge und wissen daher auch nicht, ob der Konvoi von der Ausleitung betroffen ist.

Im Anschluss daran bei Schritt vier, bei dem der gesamte Lkw-Konvoi oder nur ein einzelnes Fahrzeug des Konvois abfahren soll, besteht wegen der kurzen oder fehlenden Zeitspanne zum Verständnis der Ausleitertafel bei fehlender Kommunikation zwischen den Fahrzeugen die Möglichkeit, dass insbesondere nicht mit dem Ausleitsystem vertraute Fahrer von Fahrzeugen innerhalb oder außerhalb des Konvois ein außerplanmäßiges Verhalten zeigen, was zur Gefährdung aller Verkehrsteilnehmer oder zur Nichtbeachtung der Aufforderung zum Abfahren führen kann. Aufgrund des Nachfolgeverhaltens,

auch von Fahrzeugen außerhalb des Verbundes, kann bei der Abfahrt eines ganzen Lkw-Konvois die Situation auftreten, dass weitere Fahrzeuge außerplanmäßig abfahren, obwohl sie nicht dazu aufgefordert wurden. Hierdurch bestünde an Kontrollstellen die Gefahr eines Rückstaus auf die Autobahn. Die Nutzung kooperativer Systeme zur Übermittlung von Nachrichten an einzelne oder alle Fahrzeuge in einem Bereich oder die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen über V2V-Kommunikation stellen Möglichkeiten der Informationsübertragung dar, welche nicht von der Sichtbarkeit der Ausleitertafel abhängen und das Verständnis des Ausleitvorgangs verbessern sowie Gefahrensituationen vermeiden können. Hierzu wird auf die Darstellungen in Kapitel 10.3 verwiesen.

Im letzten Schritt sollen ausgeleitete Fahrzeuge auf dem Kontrollplatz halten und kontrolliert werden. Falls der gesamte Lkw-Konvoi ausgeleitet wurde oder außerplanmäßig abgefahren ist, kann es auch bei Einzelausleitung wie bei der Pulkausleitung schnell zum Rückstau oder zur Überlastung der Kontrollplatzkapazitäten kommen.

Anhand der vorliegenden Erfahrungen aus Forschungsarbeiten zu Lkw-Konvois und auf Basis dieses untersuchten Szenarios für das sichere Ausleiten eines zu einem Lkw-Konvoi gehörigen Fahrzeuges werden zu berücksichtigende Aspekte und ein mögliches Vorgehen im Folgenden zusammengefasst. Eine kurzfristige Einführung von elektronisch gekoppelten Lkw in Deutschland ist jedoch unwahrscheinlich. Aus diesem Grunde sollten die abgeleiteten Handlungsempfehlungen in der Zukunft, wenn technische Standards und die rechtlichen, infrastrukturellen sowie verkehrlichen Rahmenbedingungen weiter fortgeschritten sind, überprüft werden. Als Möglichkeiten zur Umsetzung des sicheren Ausleitens von Lkw-Konvois werden aktuell gesehen:

1. Auflösen von Lkw-Konvois im Vorlauf von BAG Kontrollplätzen. Die Auflösung sollte noch vor der Kennzeichenerfassung erfolgen, um die korrekte Erkennung des Kennzeichens zu gewährleisten. Vor BAG Kontrollplätzen sollte mit ausreichender Distanz zur Kennzeichenerfassung die Auflösung von Lkw-Konvois durch eine entsprechende Beschilderung angeordnet werden. Eine allgemeine Auflösung von Lkw-Konvois vor Rastanlagen, Arbeitsstellen und Anschlussstellen wird im Rahmen von Untersuchungen bereits auch ohne Betrachtung des sicheren Aus-

<sup>2</sup> Die United Nations Economic Commission for Europe nutzt das Übereinkommen über die Annahme einheitlicher Bedingungen für die Genehmigung der Ausrüstungsgegenstände und Teile von Kraftfahrzeugen (Motorfahrzeugen) und über die gegenseitige Anerkennung der Genehmigung als Regelwerk zur Typgenehmigung für Straßenfahrzeuge.

leitens diskutiert (RWTH Aachen, Lehrstuhl für Informatik im Maschinenbau)

2. Die Bildung von Lkw-Konvois sollte erst nach dem Auffahren auf die Autobahn erfolgen. Die Konvoibildung bereits auf dem Kontrollplatz sollte auch bei ausreichender Kontrollplatzkapazität nicht im Regelfall erfolgen.
3. Trotzdem sollte damit gerechnet werden, dass auch bei Einzelausleitung mehr als ein Lkw auf den Kontrollplatz abfährt. Daher sollten auf BAG Kontrollplätzen ausreichende Kapazitäten und Flächen für das sichere Ausleiten von Lkw-Konvois allgemein berücksichtigt und bei Bedarf neu geschaffen werden.
4. Lkw-Konvois und dazugehörige Fahrzeuge im (teil-)automatisierten Fahrbetrieb sollten direkt von außen erkenntlich sein, damit beim sicheren Ausleiten die Konvoizugehörigkeit bei der Auswahl der für die Standkontrolle vorgesehenen Fahrzeuge durch das BAG-Kontrollpersonal berücksichtigt werden kann. Es muss beispielsweise bedacht werden, dass bei Einzelausleitung zum Konvoi zugehörige Fahrzeuge selbstständig auch bei aufgelöstem Lkw-Konvoi immer zusammen abfahren, obwohl sie nicht dazu aufgefordert wurden, weil sie beispielsweise eine logistische Einheit bilden und die Kraftstoffersparnis nach der Standkontrolle behalten wollen.
5. Falls in Zukunft zunächst bestimmte Streckenabschnitte für Lkw-Konvois im Sinne eines strategischen Top-Down-Ansatzes freigegeben werden sollten, müssten BAG Kontrollplätze, welche sich auf solchen Abschnitten befinden, besonders berücksichtigt werden.
6. Zusätzlich und auch im Vorfeld zur Ausleitetafel sollten nach Möglichkeit weitere Übermittlungswege der Aufforderung zum Abfahren beim sicheren Ausleiten, wie beispielsweise kooperative Nachrichten und Systeme, für Lkw-Konvois genutzt werden. Bereits bei der Vorankündigung könnten Lkw-Konvois ihren Zustand an eine intelligente Infrastruktur senden, was das gezielte Ausleiten des Lkw-Konvois ermöglichen würde.
7. Grundsätzlich sollten Lkw-Fahrer für Lkw-Konvois über die Besonderheiten des sicheren Ausleitens Informationen oder Schulungen erhalten. Ebenso sollte das BAG-Kontrollpersonal über die Besonderheiten von Lkw-Konvois im Zusammenhang mit dem sicheren Ausleiten informiert bzw. geschult werden.

Prinzipiell sind die Auflösung von Lkw-Konvois im Vorfeld von Anschlussstellen und die Nutzung kooperativer Systeme gut geeignete Möglichkeiten, um das sichere Ausleiten von Lkw-Konvois zukünftig durchführen und mit den besonderen Anforderungen von Lkw-Konvois umgehen zu können. Das Auflösen von Lkw-Konvois vor BAG-Kontrollplätzen hätte den Nachteil, dass der durch die Konvoibildung entstehende Vorteil der Kraftstoffeinsparung wegen des Auflösens und Neubildens verringert wird. Außerdem muss nicht in jedem Fall gewährleistet sein, dass ausreichend Vorlaufstrecke und Möglichkeiten zur Aufstellung von Beschilderung, die zur Konvoiauflösung auffordert, gegeben sind. Abhängig vom zukünftigen rechtlichen Rahmen werden an die Fahrzeugführer Anforderungen wie permanente Aufmerksamkeit und die allzeit bestehende Bereitschaft, die Fahrzeugführung zu übernehmen, nicht gestellt. Davon abhängig ist wiederum, auf welchem Kommunikationsweg die Aufforderung zum Ausfahren für das sichere Ausleiten am besten übertragen werden sollte. Für hochautomatisierte Fahrzeuge eignet sich zukünftig die Nutzung kooperativer Systeme zum Ausleiten von Lkw-Konvois. Die Kommunikation kann dabei auf unterschiedlichen Wegen umgesetzt werden, wie in Kapitel 10.3 dargestellt wird. Hierfür sind in Zukunft die weite Verbreitung von V2X-Kommunikationstechnologien und die Definition der notwendigen Randbedingungen und Schnittstellen sowie die Abstimmung aller relevanten Stakeholder auf entsprechend übergeordneter Ebene Voraussetzung. Das sichere Ausleiten von Lkw-Konvois müsste als Spezialfall einer allgemeinen Anwendung des sicheren Ausleitens mithilfe von kooperativen Systemen, welche auf Normen und Technologiestandards für vernetzte Infrastruktur aufbaut, konzipiert werden.

Die beschriebenen Handlungsempfehlungen sollten in Simulationen und in Realfahrten im Rahmen von Forschungsprojekten hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Umsetzbarkeit überprüft werden. Auf diese Weise kann eine praktische Validierung und die Definition weiterer Handlungsempfehlungen für das sichere Ausleiten erfolgen.

### 10.3 Möglichkeit der Nutzung kooperativer Systeme für das sichere Ausleiten

Der globale Trend hin zu vernetzten und intelligenten Systemen in allen Branchen und Lebensbereichen spiegelt sich auch in den Anstrengungen zur Vernetzung von Fahrzeugen und Verkehrssystemen (V2X-Systemen) als Teil sogenannter Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) wider. Solche kooperativen Systeme werden als vielversprechende Möglichkeit gesehen, die Verkehrseffizienz und die Verkehrssicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen und werden in verschiedenen Ausprägungen weltweit erforscht sowie umgesetzt.

Die Umsetzung kooperativer Systeme in den Fahrzeugen und auf Seiten der intelligenten Infrastruktur sollte daher auch beim Ausbau und der zukünftigen Entwicklung der Ausleittechnik für das sichere Ausleiten Berücksichtigung finden. Eine Vernetzung der Ausleittechnik mit Fahrzeugen und ggf. anderen intelligenten Verkehrssystemen kann dabei neben grundsätzlichen regelmäßigen Anpassungen an den Stand der Technik von in Zukunft vernetzten Systemen weitere Vorteile bieten. So kann das sichere Ausleiten durch direkte Kommunikation und den Austausch von Nachrichten mit auszuleitenden Fahrzeugen verlässlicher und effizienter gestaltet werden.

Im Folgenden werden die Möglichkeiten der Nutzung kooperativer Systeme und Nachrichten für das sichere Ausleiten aufgezeigt.

Es wird zunächst nicht davon ausgegangen, dass kooperative Systeme und Nachrichten die bisher bereits entwickelte Ausleittechnik ersetzen werden. Gründe hierfür sind unter anderem die Notwendigkeit von physischen Beschilderungen in Form der Ausleittafel auf Basis des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) in Form der Straßenverkehrsordnung (StVO) bzw. des Güterkraftverkehrsgesetzes (GüKG). Weiterhin ist die Verbreitung von Kommunikationstechnologien im Fahrzeug besonders in der Einführungsphase von Intelligenten Verkehrssystemen nicht überall und in gleichem Tempo gewährleistet, sodass die Ausleittafel weiter benötigt wird. Anstatt sie zu ersetzen, kann die Kommunikation über intelligente Verkehrssysteme mit dem Fahrzeug die bisherige Ausleittechnik ergänzen, indem die Informationen zusätzlich zur Anzeige auf der Ausleittafel auch direkt an das Fahrzeug übermittelt werden. Hierbei kann es sich ggf. auch anbieten, weitere In-

formationen, die über die auf der Ausleittafel dargestellten Inhalte hinausgehen, an das Fahrzeug zu senden. Insgesamt wird so ein besseres Verständnis der angezeigten Informationen zu dem Ausleitvorgang ermöglicht. Die Informationsübertragung durch kooperative Systeme und Nachrichten ist nicht durch die Sichtbarkeit der Ausleittafel limitiert. Das bedeutet, dass die Information über den Ausleitvorgang im Fahrzeug über einen längeren Zeitraum und ggf. auch schon zu einem früheren Zeitpunkt angezeigt werden kann, als es bei einer Vorbeifahrt an der Ausleittafel möglich ist. Auch an verdeckte Fahrzeuge oder Fahrzeuge mit eingeschränkter Sicht kann die Information des Ausleitens übermittelt werden. In der Konsequenz wird eine höhere Quote von Fahrzeugen, welche der Aufforderung Folge leisten, sowie eine geringere Quote an fälschlicherweise ausgefahrenen Fahrzeugen erwartet. Möglicherweise auftretendes außerplanmäßiges Verhalten von Verkehrsteilnehmern, bspw. in Form von Spurwechseln in letzter Sekunde, könnten wegen der zusätzlich digitalen Informationsübertragung vermieden werden.

Beim Ausfall der visuellen Anzeige oder beim Entfallen der physischen Ausleittafel wäre ein zusätzlicher Übertragungsweg gegeben und es könnte weiterhin technisch vorgesehen werden, dass ein auszuleitendes Fahrzeug den Empfang der Information im Rahmen der Kommunikation mit der intelligenten Infrastruktur nachweisbar bestätigt.

Das sichere Ausleiten von Fahrzeugen durch kooperative Systeme und Nachrichten wird als Anwendungsfall von intelligenten Verkehrssystemen betrachtet werden, da das ausgeleitete Fahrzeug mit einer intelligenten Infrastruktur oder anderen vernetzten Fahrzeugen kommunizieren muss. Es handelt sich um ein kooperatives System, da verschiedene Akteure und Systeme (Fahrzeugendgerätehersteller, Infrastrukturbetreiber, Verkehrsteilnehmer u. a.) zusammenwirken, um das Ziel eines verlässlicheren sicheren Ausleitens zu erreichen.

Das European Telecommunications Standards Institute (ETSI) hat als von der Europäischen Union (EU) anerkanntes Standardisierungsinstitut verschiedene Standards und Anwendungsfälle für die Kommunikation und Nachrichtenübertragung von Intelligenten Verkehrssystemen definiert. Wie auch in anderen Anwendungsfällen, kommen für das sichere Ausleiten drei Kommunikationspfade in Betracht (KATHS, 2016).

- Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation, Englisch: Vehicle to Vehicle (V2V)
- Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation, Englisch: Vehicle to Infrastructure (V2I)
- Infrastruktur-zu-Fahrzeug-Kommunikation, Englisch: Infrastructure to Vehicle (I2V)

Ein Intelligentes Verkehrssystem kann auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden: der funktionalen, der organisatorischen und der technischen Ebene. Je nach beabsichtigter Umsetzungsvariante des sicheren Ausleitens über kooperative Systeme und Nachrichten unterscheiden sich diese Ebenen teilweise.

Auf funktionaler oder auch logischer Ebene ist die beabsichtigte Kernfunktionalität des sicheren Ausleitens mittels kooperativer Systeme vergleichsweise einfach: Eine Nachricht soll von der lokalen BAG-Kontrollstelle an ein Fahrzeug geschickt werden, damit die in der Nachricht enthaltene Information im Fahrzeug angezeigt wird. Hinsichtlich der Funktionalität kann beim sicheren Ausleiten in die Einzelausleitung und die Pulkausleitung unterschieden werden. Bei der Pulkausleitung sollten alle Verkehrsteilnehmer die Information über das Ausleiten erhalten (Broadcast). Bei der Einzelausleitung besteht mit einem intelligenten Verkehrssystem bei Verknüpfung zwischen Kennzeichen und In-Vehicle-Station (Kommunikationsmodul im Fahrzeug) die Möglichkeit, dass nur das betroffene ausgewählte Fahrzeug die Information und damit die Aufforderung zum Abfahren erhält. Die Einhaltung von Datenschutzrichtlinien müsste in einem solchen Fall geprüft und sichergestellt werden. Andererseits ist die Ausleitertafel ohnehin für alle Verkehrsteilnehmer sichtbar, daher wäre auch im Falle der Einzelausleitung die Informationsübertragung an alle Verkehrsteilnehmer begründbar, auch damit die anderen Verkehrsteilnehmer über die Ausleitung des einzelnen Fahrzeuges informiert werden und auf das ausgeleitete Fahrzeug reagieren können.

Auf der technischen Ebene kann die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und anderen Systemen (Fahrzeugen oder Infrastruktur) mit der allgemeinen Bezeichnung V2X aktuell über WLAN als ITS-G5 mit dem Übertragungsstandard IEEE 802.11p erfolgen (ANTIP, 2009). Ein entsprechendes Kommunikationsmodul im Fahrzeug, eine sogenannte Intelligent Transportation System (ITS) Vehicle Station oder auch Backend, realisiert die Datenübertragung. Zukünftig werden auch Lösungen über Mobil-

funk (5G) zur Verfügung stehen. Die Kommunikation von Fahrzeugen mit der Infrastruktur kann dann sowohl über WLAN als auch über Mobilfunk erfolgen. Aktuell hat sich auf europäischer Ebene die Kommunikation weder über WLAN noch Mobilfunk durchgesetzt. Die zeitweise Koexistenz beider Übertragungsformen in Europa wird als realistisch eingeschätzt, ist auf lange Sicht allerdings kostenintensiver (KÖLLNER, 2020). Erste konzipierte infrastrukturelle Anwendungsfälle wie z. B. die Maßnahme „V2I: Der Baustellenwarner“ des „Digitales Testfeld Autobahn (DTA)“ auf Basis von G5-WLAN unterstützen die Verbreitung und Einführung von Anwendungen und Technologien für kooperative Systeme (Digitales Testfeld Autobahn, 2018).

Als beteiligte Akteure auf der organisatorischen Ebene (Rollenmodell) gibt es für das kooperative sichere Ausleiten den Fahrzeugendgerätehersteller, Infrastrukturbetreiber, das Bundesamt für Güterverkehr, Verkehrsteilnehmer und ggf. dritte Dienstleister wie Mobilfunkanbieter oder Mautbetreiber.

Bei kooperativen Systemen und der Kommunikation mit dem Fahrzeug aus der Perspektive des Verkehrsmanagements kann in dezentrale (knotenpunktbasierte) Ansätze mit Kommunikation über WLAN oder zentralenbasierte Ansätze über Mobilfunk unterschieden werden. Zentralenbasierte Ansätze haben einen geringeren Aufwand beim Ausbau der Infrastruktur, hängen jedoch vom Mobilfunk ab. Dezentrale Ansätze haben geringe Übertragungszeiten als Vorteil. Je nach Herangehensweise und beabsichtigter Funktionalität des sicheren Ausleitens durch kooperative Systeme könnte ein zentraler oder dezentraler Ansatz besser geeignet sein. Abhängig von der Funktionalität im Detail werden im Folgenden zwei Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Wenn bei der Einzelausleitung nur ein einzelnes Fahrzeug, welches ausgeleitet werden soll, angesprochen werden und die Aufforderung zum Abfahren erhalten soll, dann ist ein zentralenbasiertes System am geeignetsten. Voraussetzung hierfür ist, dass die Verknüpfung zwischen Kennzeichen und einer individuellen Fahrzeugsignatur vorhanden ist. Das Kennzeichen des Fahrzeuges müsste in einem solchen Fall mit einer individuellen Mobilfunknummer in einer Datenbank hinterlegt sein. Vom BAG-Kontrollplatz würde das auszuleitende Fahrzeug anhand des Kennzeichens erkannt und das Kennzeichen an eine zentrale Schaltstelle übermittelt. Von dort würde eine Nachricht über Mobilfunk an

das entsprechende Fahrzeug mit der Mobilfunknummer gesendet und die Aufforderung zum Abfahren im Fahrzeug angezeigt. Nur dieser eine Verkehrsteilnehmer würde somit die Information erhalten. Bei dieser Lösung sollten datenschutzrechtliche Aspekte und die organisatorische Ebene mit der Rollenverteilung der beteiligten Akteure besonders berücksichtigt werden. Die Kennzeichenerfassung und die Kontrollstellenbeschilderung bleiben auch bei Ausleitung über Mobilfunk notwendig, sodass Kontrollplätze weiterhin bestimmte Anforderungen erfüllen müssen.

Bei der Pulkausleitung bzw. wenn alle Fahrzeuge über das Ausleiten informiert werden sollen, bietet sich ein dezentrales System mit Kommunikation über eine straßenseitig verbaute Einheit, eine sogenannte Intelligent Transportation System Roadside Station (IRS) oder auch Roadside Unit (RSU), an. Die Ausleittafel könnte zu einem solchen System erweitert werden, um zusätzliche Kosten für eine gesonderte Aufstellung und Versorgung der IRS zu sparen. Das ETSI hat einen solchen Anwendungsfall, nämlich das Anzeigen von Beschilderung im Fahrzeug, bereits als standardmäßige Anwendung von kooperativen Systemen im Basic Set of Applications (BSA) im Dokument TR 102 638 V1.1.1 definiert (ANTIP, 2009). Die Anzeige von Beschilderung im Fahrzeug und der notwendige Datenaustausch ist bereits standardisiert worden im Dokument ISO/TS 17425:2016 (2016). Im Grunde würde bei dieser Spezifikation die Information der Ausleittafel bei der Vorbeifahrt jedem Verkehrsteilnehmer (wie jedes andere Verkehrszeichen auch) im Fahrzeug angezeigt. Es wird erwartet, dass entsprechende Kommunikationstechnik und speziell die Funktionalität der Beschilderungsanzeige von den Fahrzeugherstellern ohnehin als Standard integriert werden.

Grundsätzlich können die bevorstehende BAG-Standkontrolle und die angeordnete Geschwindigkeitsreduktion auch allgemein als die Verkehrssicherheit betreffendes, lokales Ereignis betrachtet werden und Informationen darüber von Fahrzeug-zu-Fahrzeug oder Infrastruktur-zu-Fahrzeug kommuniziert werden. Der in EN 302 637-3 V1.2.1 definierte Nachrichtentyp Decentralised Environmental Notification Message (DENM) überträgt sicherheitsrelevante Informationen zu einem ortgebundenen Ereignis wie einer Unfallstelle oder einem Stauende (ANTIP, 2009). Andere Verkehrsteilnehmer wären somit im Vorfeld der Kontrollstelle informiert.

Für die Kommunikation mit Lkw im Rahmen des sicheren Ausleitens liegt die Idee der Nutzung von der Technologie nahe, welche bereits für die Lkw-Maut benutzt wird. Für die Mautabrechnung werden On-Board-Units (OBU) genutzt, welche fahrzeug-, orts- und zustandsabhängige Nachrichten an die zentrale Mautstelle per Mobilfunk senden. Diese per Mobilfunk-Modul (GSM) geschickten Kurznachrichten (SMS) werden genutzt, um die korrekte Abrechnung der Mautgebühren automatisch umzusetzen. Zusätzlich werden im Rahmen eines Mobil Ad-Hoc Netzes (MANet) im Sinne einer europäischen Dedicated Short Range Communication (DSRC) Informationen über kurze Distanzen von der OBU an umliegende Kontrollbrücken, Kontrollsäulen oder Mautkontrolldienst-Fahrzeuge gesendet, allerdings nur um die Überprüfung der Funktionsfähigkeit und der Datenintegrität der OBU zu realisieren, nicht um die Maut-Abrechnung vorzunehmen. Die OBU ist technisch dazu in der Lage, nicht nur Informationen zu senden, sondern auch Daten wie bspw. ein Software-Update zu empfangen. Da Kennzeichen und On-Board-Unit miteinander verknüpft sind, lägen prinzipiell die notwendigen Informationen und die technischen Voraussetzungen vor, um einem Fahrzeug gezielt anhand des Kennzeichens eine Nachricht zu senden. Somit wäre theoretisch auch die Voraussetzung gegeben, ein zentralenbasiertes kooperatives System zum sicheren Ausleiten zu ermöglichen. An dieser Stelle muss jedoch eingeschränkt werden, dass weder OBU noch das Mautsystem dafür ausgelegt wurden, Nachrichten an das Fahrzeug zu übertragen. Falls rechtlich auch hinsichtlich Datenschutz diese Möglichkeit bestünde, ist ohne gesetzliche und technische Anpassungen – auch auf europäischer Ebene – des Mautstandards und ohne eine intensive Zusammenarbeit mit den Mautbetreibern sowie Mautgeräteherstellern eine solche Nutzung des Mautsystems für das sichere Ausleiten nicht realisierbar. Weiterhin bestünden Einschränkungen, da nur mautpflichtige und mit OBU ausgestattete Fahrzeuge ausgeleitet werden könnten, falls das sichere Ausleiten zukünftig vollständig auf Ausleittafeln verzichtet würde.

Zusammenfassend kann bekräftigt werden, dass kooperative Systeme und die Kommunikation mit dem Fahrzeug das Potenzial bieten, das sichere Ausleiten verlässlicher und effizienter zu gestalten. Das bisher entwickelte System des sicheren Ausleitens sollte bestehen bleiben, könnte aber vergleichsweise einfach um kooperative Funktionalität

ten ergänzt werden. Die für die Einrichtung des kooperativen Systems notwendigen Kosten sind je nach Umsetzung für den Infrastrukturbetreiber und den BAG-Kontrolldienst eher gering. Entsprechende technisch leistungsfähige Kommunikationsmodule werden mittelfristig von vielen Fahrzeugherstellern angeboten werden. Im dargestellten Szenario der Beschilderungsanzeige im Fahrzeug wäre daher nur die Ergänzung der Ausleitertafel um entsprechende I2V-Kommunikationstechnik notwendig. Die zum Betrieb notwendige Infrastruktur an den Kontrollstellen des sicheren Ausleitens besteht bereits und die Übertragungsstandards und der Anwendungsfall sind bereits als Standard definiert. Andere Umsetzungsformen wie die Umsetzung über Mobilfunk und die gezielte Ansprache von einzelnen Fahrzeugen ist ebenfalls möglich, erfordert jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach einen höheren Aufwand sowie rechtliche und technische Änderungen am bisherigen System des sicheren Ausleitens. Zur zeitlichen Realisierbarkeit ist aktuell keine Aussage möglich, da unter anderem die Einsatzszenarien bzw. Anwendungsfälle für den Einsatz der Technik noch nicht vollständig standardisiert sind.

Ähnliches gilt auch für die Umsetzung einer Lösung mittels Kommunikation über die OBU. Hier wären weitere Überlegungen allerdings als sinnvoll zu erachten, da die Technologie schon in rund 90 % der Lkw verbaut ist. Voraussetzung bliebe eine Schnittstelle zwischen BAG und OBU bzw. Mautbetreiber, welches über ein entsprechendes Rollenmodell geregelt würde. Eine detailliertere Untersuchung könnte den Rahmen für eine entsprechende Lösung beleuchten.

Unabhängig von der Kommunikationstechnologie werden kooperative Systeme und die Übermittlung von Nachrichten durch intelligente Infrastruktur an Fahrzeuge in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Welche Kommunikationstechnologie (WLAN oder Mobilfunk) in Zukunft von Fahrzeugherstellern, Infrastrukturbetreibern und Gesetzgebern ggf. anwendungsfallspezifisch als Standard angesehen und festgelegt wird, kann aktuell nicht abschließend beantwortet werden. Das kooperative sichere Ausleiten, welches grundsätzlich zunächst als ein Spezialfall von I2V-Kommunikation angesehen werden kann, sollte zukünftig auf bestehender Fahrzeugausstattung und standardisierten Anwendungen aufbauen, um eine größtmögliche Kompatibilität zu erreichen. Hierfür wären prinzipiell alle oben dargestellten Umsetzungsvarianten zielführend.

Ein vollständiger Verzicht auf die Ausleitertafel als physische Beschilderung durch den Einsatz kooperativer Systeme wäre nur dann möglich, wenn entsprechende Kommunikationseinheiten in der EU in allen Fahrzeugen standardmäßig und gesetzlich vorgeschrieben verbaut würden, da nur dann sichergestellt wäre, dass jedes auszuleitende Fahrzeug auch die entsprechenden Nachrichten empfangen kann. Da zukünftig auch ältere Fahrzeuge, welche noch nicht über eine in Zukunft als Standard festgelegte Kommunikationstechnologie verfügen, ausgeleitet werden sollen, müsste in jedem Fall für eine Übergangszeit die Ausleitertafel weiter bestehen bleiben. Weiterhin sollen auch Fahrzeuge von außerhalb der EU ausgeleitet werden, wo zukünftig ggf. nicht der gleiche Technologiestandard vorgeschrieben wird. Aus diesem Grund wird es voraussichtlich auch langfristig notwendig bleiben, die Ausleitertafel als physische Beschilderung an BAG-Kontrollstellen zu erhalten. V2X-Kommunikation sollte aber als unterstützendes Element in den Ausleitvorgang integriert werden.

## 11 Fazit und Ausblick

Mithilfe der fünf deutschlandweit existierenden Pilotstandorte zum sicheren Ausleiten konnte die Technik in der Praxis getestet und darüber hinaus Einschätzungen der Lkw-Fahrer und des BAG-Kontrollpersonals eingeholt werden.

Durch die empirischen Untersuchungen am Standort PWC Sophienberg und die standortübergreifenden Befragungen wurde bestätigt, dass das sichere Ausleiten grundsätzlich eine sehr geeignete Methode zur Ausleitung von Lkw für Kontrollen darstellt. Die Technik offenbarte jedoch auch einige Optimierungspotenziale, welche zum Beispiel in der Darstellung der Ausleitertafel oder dem Auswerten und Ahnden von Verstößen offengelegt wurden.

Die technische Bewertung der Qualität des Gesamtsystems analysierte die Qualität der ANPR-Detektion, der Datenkommunikation, die technische Darstellung der Anzeigehalte, die IT-Sicherheit und die Weiterentwicklung der Komponenten und des Gesamtsystems. Dabei konnten einige (zum Teil standortspezifische) Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden.

Bei der Bewertung der aktuellen und verbesserten Anzeigehalte für die Ausleitertafel und die BAG-Be-

dienoberfläche konnten ebenfalls einige Potenziale in der ergonomischen Gestaltung der Tafel, sowie der Gestaltung und Funktionalität der BAG-Bediensoftware erkannt und Verbesserungsvorschläge formuliert werden.

Dieses Forschungsvorhaben untersuchte außerdem den flächendeckenderen Ausbau und die zukünftige Entwicklung der Ausleittechnik. Hierbei konnten mögliche neue Standorte identifiziert und Empfehlungen zur Standortwahl getätigt werden.

Neben den genannten Verbesserungsvorschlägen ist es grundsätzlich wichtig, den Bekanntheitsgrad der neuen Ausleitmethode weiter zu steigern und die Akzeptanz unter den Fahrern zu erhöhen. Dies könnte sowohl durch die Einrichtung weiterer Standorte auf Bundesautobahnen, als auch durch die natürliche Steigerung des Bekanntheitsgrades des Systems über die Zeit geschehen. Weiterhin ist es ratsam, die Methode des technischen Ausleitens in weitere Öffentlichkeitsarbeit einzubinden, wodurch sich ein Missverstehen der neuen Technik weitestgehend vermeiden ließe.

## Literatur

- ANTIP, S. (2009). ETSI TR 102 638 V1.1.1 (2009-06): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions,“.
- Autobahndirektion Nordbayern. (2017). Verbesserungsideen Sicheres Ausleiten.
- BENGLER, K., COUGHLIN, J. F., REIMER, B., & NIEDERMAIER, B. (2010). Interactive-Consumer Design & Evaluation (I-CODE). A Method to Investigate Cognitive Structures of User's on Automotive Functionalities. (H. M. Hedge, Hrsg.) Advances in ergonomics modeling and usability evaluation (Advances in human factors and ergonomics series) .
- BHOOPALAM, A. (2018). Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research.
- BOLTE, F.-F. (1987). Wechselverkehrszeichen als Kommunikationsmittel. In: R. L. STEIERWALD, Grundlagen und Technologien der Verkehrsleittechnik. (Bd. 1, S. 62 – 83). Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bundesamt für Güterverkehr (BAG). (2018). Leitfaden zur Anwendung der automatischen Ausleittechnik („Sicheres Ausleiten“).
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. (2006). Drahtlose Kommunikationssysteme. Von [http://menetekel.e-technik.fh-muenchen.de/skripten/netze/drahtkom\\_sicherheit.pdf](http://menetekel.e-technik.fh-muenchen.de/skripten/netze/drahtkom_sicherheit.pdf) abgerufen
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). (2020). Von Automatische Zählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen: [https://www.bast.de/BASt\\_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaeh-lung/Verkehrszaehlung.html?nn=1817946](https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaeh-lung/Verkehrszaehlung.html?nn=1817946) abgerufen
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2020). Liste aller Verkehrszeichen des Verkehrszeichenkatalogs. Von [https://www.bast.de/BASt\\_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-verkehrszeichen/unterseiten/bezeichnung-der-vz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=17](https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-verkehrszeichen/unterseiten/bezeichnung-der-vz.pdf?__blob=publicationFile&v=17) abgerufen
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2012). TLS 2012: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen. Bergisch Gladbach.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2013). Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Von [https://www.gesetze-im-internet.de/stvo\\_2013/StVO.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/StVO.pdf) abgerufen
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2017). Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung. VwV-StVO. Von [http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_26012001\\_S3236420014.htm](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm) abgerufen
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) – Referat StB 12 – Straßenverkehrstelematik, Rastanlagen. (2020). Erfassungstool für Rastanlagen und Querungshilfen. Von <https://bisstraerf.bast.de> abgerufen
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr. (1995). „Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen“ – RSA, 6. Auflage. Verkehrsblatt .
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr. (2011). Durchführung der Straßenverkehrsordnung (StVO) – Bekanntmachung des Regelplans der Beschilderung einer Kontrollstelle des Bundesamtes für Güterverkehr. Verkehrsblatt , S. 9.
- COHEN, A. S. (1986). Möglichkeiten und Grenzen visueller Wahrnehmung im Straßenverkehr. Bergisch Gladbach: Bundesministers für Verkehr von der Bundesanstalt für Straßenwesen,.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2013).
- Digitales Testfeld Autobahn. (2018). Abschlussbericht V2I: Der Baustellenwarner.
- DIN e. V. (2018). DIN 1451-1, Schriften – Serifenlose Linear-Antiqua – Teil 1: Allgemeines. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN e. V. (2019). DIN EN 12966-1:2019, Vertikale Verkehrszeichen – Wechselverkehrszeichen. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN e. V. (2010). DIN EN ISO 9241-210:2010, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 201: Prozess zur Gestaltung gebrauchts-

- tauglicher interaktiver Systeme. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN e. V. (2009). DIN EN ISO 9241-303:2008, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen. Berlin: Beuth-Verlag.
- DINER, E., KEMPER, D., OESER, M., SKOTTKE, E.-M., & MÜSSELER, J. (2013). Sicheres Anhalten von Kraftfahrzeugen und Fahrzeugkombinationen bei (Stand-)Kontrollen des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) auf Autoahnen.
- FEISTER, T. (2006). Shutter USB (Version 1.0.0) [Computer software]. Unisolutions FEISTER.
- GRAHL, S. (2007). Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta: Begleitende Untersuchung zur Verbesserung des Verkehrsflusses und der Verkehrssicherheit im Raum Leipzig.
- HARTWIG, M. (2020). Truck-Platooning in Deutschland und den Niederlanden. Von <https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2020/01/20200130-Gutachten-Truck-Platooning-DE.pdf> abgerufen
- HUMBERG, S. (2017). FE 03.0541/2015/ARB Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A 9 zwischen München und Nürnberg.
- ISO. (2007). ISO 16673-2007, Road Vehicles – Ergonomic Aspects of Transport Information and Control Systems – Occlusion method to assess visual demand due to the use of In-vehicle Systems. Geneva: ISO.
- ISO/TS 17425:2016. (2016). Intelligent transport systems — Cooperative systems — Data exchange specification for in-vehicle presentation of external road and traffic related data.
- KATHS, J. (2016). Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite. Lehrstuhl für Verkehrstechnik TUM.
- KIRN, L. (2020). Optimierung der Ausleitbeschilderung für Lkw-Pulkausleitung bei Standkontrollen des Bundesamts für Güterverkehr. Semesterarbeit. München: Technische Universität München.
- KÖLLNER, C. (02. 09 2020). Fahrzeugvernetzung per C-V2X oder pWLAN? Von <https://www.springerprofessional.de/car-to-x/automatisiertes-fahren/fahrzeugvernetzung-per-c-v2x-oder-pwlan-17822610> abgerufen
- KÜHNEN, M. (2016). Autobahnverzeichnis 2016.
- LEITNER, G. H. (2008). The Role of Usability in the Design and Evaluation of Dynamic Traffic Displays. In: A. HOLZINGER, HCI and Usability for Education and Work (S. 205-220). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- MUSCH, J., & RÖSLER, P. (2011). Schnell-Lesen: Was ist die Grenze der menschlichen Lesegeschwindigkeit? In: M. DRESLER, Kognitive Leistungen (S. 89 – 106). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- REINISCH, R. (2010). Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz. Dissertation. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.
- RWTH Aachen, Lehrstuhl für Informatik im Maschinenbau. Verbundprojekt KONVOI: Entwicklung und Untersuchung des Einsatzes von elektronisch gekoppelten Lkw-KONVOIs. Aachen.
- TSUGAWA, S. (2016). A review of truck platooning projects for energy savings. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles .

## Bilder

- Bild 1: Herkömmliches Ausleitverfahren (© BAG)
- Bild 2: Übersichtskarte zu Pilotstandorten (© BAG)
- Bild 3: Übersichtsplan des Aufbaus der Pilotanlagen zum sicheren Ausleiten bei BAG Standkontrollen (© BAG)
- Bild 4: Kontrollstelle Nauders in Tirol (© Land Tirol)
- Bild 5: Dynamische Spurzuweisung an der Kontrollstelle in Radfeld (© Land Tirol)

- Bild 6: Kontrollplatz des Schwerverkehrskontrollzentrums im schweizerischen San-Vittore (© ASTRA, Sekundärquelle: Alpen-Initiative, „Kontrollzentrum San Vittore. Primärquelle: Bundesamt für Strassen ASTRA, „Kontrollzentrum San Vittore“)
- Bild 7: Schema-Anzeige ALT (Pulk und individual)
- Bild 8: Screenshot Bedienoberfläche
- Bild 9: Ablaufschema zur Evaluierung der Maßnahme sicheres Ausleiten bei BAG Standkontrollen
- Bild 10: Versuchsaufbau und Kamerapositionierung im Bereich des Verzögerungsstreifens
- Bild 11: Kamerabilder im Bereich des Verzögerungsstreifens
- Bild 12: Mögliche Fahrzeugtrajektorien bei aktiver Ausleitaufforderung
- Bild 13: Veranschaulichung der Zähler in der Videoevaluierungssoftware
- Bild 14: Angezeigte Ausleitaufforderungen am PWC Sophienberg-W während der Evaluierung (© BAG)
- Bild 15: Visualisierung der Bewertung des Fahrstreifenwechsels auf den Verzögerungsstreifen
- Bild 16: Versuchsaufbau und mögliche Trajektorien der Lkw-Fahrer im Bereich der Kennzeichenerfassung
- Bild 17: Standbilder der aufgebauten Videokameras vor und nach der Kennzeichenerfassung
- Bild 18: Darstellung der unterschiedlichen Trajektorien auf Höhe der Kennzeichenerfassung
- Bild 19: Versuchsaufbau der Radarmessungen am PWC Sophienberg (© BAG)
- Bild 20: Typische Ganglinie des PWC Offenbau in Fahrtrichtung Berlin (©ZVM)
- Bild 21: Ganglinie zur Parkplatzbelegung am PWC Sophienberg
- Bild 22: Relative Verteilung der Fragebogen auf Pulk- und Kennzeichenausleitung, und die jeweiligen Fragebogengruppen
- Bild 23: Auswertung der Altersverteilung der befragten Fahrzeugführer
- Bild 24: Auswertung zur Berufserfahrung der befragten Fahrzeugführer
- Bild 25: Auswertung der Sprachkenntnisse unter den Befragten
- Bild 26: Auswertung zur Frage wie oft der Fahrzeugführer diese Route bereits gefahren ist
- Bild 27: Auswertung zur Kenntnis der Folgen der Nicht-Beachtung der Ausleitaufforderung
- Bild 28: Auswertung der intuitiven Kenntnis des Kennzeichens des derzeitigen Fahrzeugs
- Bild 29: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Kennzeichendarstellung
- Bild 30: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Darstellung des Lkw-Symbols
- Bild 31: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Darstellung des Pfeils
- Bild 32: Ergebnisse der Befragung zur Verbesserung der Darstellung und Inhalt des Textfeldes
- Bild 33: Skizze zur Platzierung der Ausleitafel(n)
- Bild 34: Ergebnisse der Befragung zur Platzierung der bestehenden Ausleitafel
- Bild 35: Ergebnisse zur Befragung der Notwendigkeit einer zweiten Ausleitafel
- Bild 36: Ergebnisse der Befragung zur Platzierung einer weiteren Ausleitafel
- Bild 37: Auswertung zur guten und schnellen Erkennbarkeit der Ausleitafel
- Bild 38: Auswertung zur ausreichend langen Dauer der Erkennbarkeit der Ausleitafel
- Bild 39: Kombination aus Verständnis des Systems und vorheriger Ausleitung durch das System
- Bild 40: Verständnis des Systems nach Herkunft der Fahrzeugführer

- Bild 41: Auswertung zur Frage, ob sich die Fahrzeugführer durch das Ausleitsystem genauso effektiv angesprochen fühlten wie durch einen BAG-Kontrolleur
- Bild 42: Auswertung, ob das neue Ausleitsystem einfacher empfunden wird als das herkömmliche Ausleiten durch BAG-Kontrolleure
- Bild 43: Auswertung zur Frage, ob das neue Ausleitsystem zum Ignorieren der Ausleitaufforderung verleiten könnte
- Bild 44: Auswertung zur Frage, ob die Ausleittafel rechtzeitig gesehen wurde, um den Inhalt zu erkennen
- Bild 45: Auswertung zu technischen Problemen bei der Erkennbarkeit der Ausleittafel
- Bild 46: Auswertung zur eindeutigen Verständlichkeit der Ausleittafel
- Bild 47: Altersverteilung des BAG-Kontrollpersonals
- Bild 48: Berufserfahrung des BAG-Kontrollpersonals
- Bild 49: Anteil der Befragten am Maut- und Straßenkontrolldienst
- Bild 50: Auswertung zur Anzahl der durchgeführten Kontrollen mit neuem System
- Bild 51: Auswertung zur Bevorzugung der Ausleitsysteme (automatisiert und herkömmlich)
- Bild 52: Subjektives Empfinden zur Effektivität des neuen Ausleitsystems
- Bild 53: Auswertung zur Anpassung der Ausleitskriterien unter Verwendung des neuen Systems
- Bild 54: Auswertung zu empfundenen Unterschieden bei Pulk- und Kennzeichenausleitung
- Bild 55: Störungsfreie Verfügbarkeit des Systems
- Bild 56: Verständlichkeit der BAG-Ausleitsoftware
- Bild 57: Qualität des Übersichtsbildes der BAG-Ausleitsoftware
- Bild 58: Erkennung der Kfz-Kennzeichenerfassung (Kfz-Kennzeichen und Länderkennung)
- Bild 59: Erkennbarkeit der Kennzeichen zum manuellen Kennzeichenabgleich
- Bild 60: Möglichkeiten zur Filterung auf der Benutzeroberfläche
- Bild 61: Überwachungsmöglichkeit der Befolgung bzw. Nicht-Befolgung der Ausleittafel
- Bild 62: Möglichkeiten zur Dokumentation von Verstößen gegen die Ausleitaufforderung
- Bild 63: Ansteuerung der Kontrollstellenbeschilderung
- Bild 64: Funktion der Datenübertragung und der Verbindung über WLAN
- Bild 65: Detektionsraten der ANPR an allen Kontrollplätzen mit Vorerfassung
- Bild 66: Kennzeichen-Leseraten der ANPR an allen Kontrollplätzen mit Vorerfassung
- Bild 67: Beispiel KontP A10 Schieferberg: Erfassung Kfz auf FS 2
- Bild 68: Beispiel KontP A10 Schieferberg: Doppel-Erfassung Lkw auf FS 1
- Bild 69: Latenzzeit-Messungen Mobilfunk
- Bild 70: Analyse Systemverfügbarkeit am Beispiel A3 Theißtal.
- Bild 71: StVO-konforme Variante mit dynamischem Wechsel der Textanzeige (Variante A)
- Bild 72: Nicht StVO-konforme Variante mit dynamischem Wechsel der Textanzeige sowie animierter Fahrt-richtungsanzeige der Pkw und Lkw (Variante B)
- Bild 73: Verworfen Alternative einer StVO-konformen Variante
- Bild 74: Verworfen Alternative einer nicht StVO-konformen Variante
- Bild 75: Bestehende ALT, aus Konsistenzgründen dargestellt ohne Warnleuchten am oberen Schilderrand
- Bild 76: Skizze zur Anordnung der ausgewählten Beschilderungsvariante und zur Angabe des Abstands zueinander.
- Bild 77: Versuchsablauf

- Bild 78: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Beachtung der ALT durch Lkw-Fahrer
- Bild 79: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Empfundene Relevanz für Lkw-Fahrer
- Bild 80: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Verständnis der Bedeutung der ALT
- Bild 81: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Reaktion der Fahrer nach ALT.
- Bild 82: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Bewertung der Verständlichkeit nach Aufklärung über Bedeutung der ALT.
- Bild 83: Ergebnisse zur Befragung nach gewünschtem Abstand zwischen der ersten und zweiten ALT.
- Bild 84: Finale Version der nicht StVO-konformen ALT (Variante B). Dynamischer Wechsel der Textanzeige sowie animierte Fahrtrichtungsanzeige der Pkw und Lkw
- Bild 85: Finale Version der StVO-konformen ALT (Variante A). Dynamischer Wechsel der Textanzeige.
- Bild 86: Stichprobenbeschreibung. Fahrleistung mit dem Lkw im letzten Jahr
- Bild 87: Verteilung der Teilnehmer auf Videovariante A und B.
- Bild 88: Versuchsablauf der Online-Umfrage.
- Bild 89: Umfrage-Ergebnisse. Vermutete Bedeutung der ALT (unkritische Ergebnisse)
- Bild 90: Umfrage-Ergebnisse. Vermutete Bedeutung der ALT (kritische Ergebnisse)
- Bild 91: Umfrage-Ergebnisse. Verhaltensweise nach ALT (unkritische Aussagen).
- Bild 92: Umfrage-Ergebnisse. Verhaltensweise nach ALT (kritische Aussagen)
- Bild 93: Umfrage-Ergebnisse. Bewertung der ALT von unverständlich (1: bis verständlich (5: bevor die Aufklärung über die eigentliche Bedeutung der ALT erfolgt ist.
- Bild 94: Umfrage-Ergebnisse. Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. des Adressaten.
- Bild 95: Umfrage-Ergebnisse. Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. der Ursache der ALT
- Bild 96: Umfrage-Ergebnisse. Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. der Handlungsimplication
- Bild 97: Umfrage-Ergebnisse. Abfrage der Übereinstimmung von Verständnis der ALT und Bedeutung der ALT.
- Bild 98: Ergebnisse der Online-Umfrage. Abfrage der Verständlichkeit nach Aufklärung.
- Bild 99: Geschwindigkeitsbegrenzung bei ALT.
- Bild 100: Prototyp der zweiten ALT, die nach der ersten ALT und 300 m vor Beginn des Verzögerungstreifens für die Ausfahrt auf dem Parkplatz angezeigt wird.
- Bild 101: Stichprobe der Online-Umfrage II. Sprachauswahl.
- Bild 102: Stichprobe der Online-Umfrage II. Jährliche Fahrleistung im Lkw.
- Bild 103: Beschilderungskombination aus erster (Variante B) und zweiter ALT.
- Bild 104: Versuchsablauf der Online-Umfrage II
- Bild 105: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Unkritische, vermutete Bedeutung der Beschilderungskombination.
- Bild 106: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Kritische, vermutete Bedeutung der Beschilderungskombinationen.
- Bild 107: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Sonstige Anmerkungen zur Beschilderungskombination.
- Bild 108: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Vermutete Bedeutung der Beschilderungskombination (unkritische Aussagen).
- Bild 109: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Sonstige Anmerkungen zur Beschilderungskombination.
- Bild 110: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Abfrage der Verständlichkeit vor der Aufklärung.

- Bild 111: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. des Adressaten.
- Bild 112: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. Ursache der Beschilderungskombination.
- Bild 113: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Anteil der korrekten Antworten (Multiple-Choice) bzgl. der Handlungsimplication
- Bild 114: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Gewünschter Abstand von erster ALT zu Verzögerungstreifen und zweiter ALT zu Verzögerungstreifen. Ausgegrauter Bereich kennzeichnet Distanzen, die eine Umkehrung der Beschilderung bedingen würden.
- Bild 115: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Angemessenheit der Distanz zwischen erster und zweiter ALT.
- Bild 116: Ergebnisse der Online-Umfrage II. Geschwindigkeitsbegrenzung bei letzter ALT.
- Bild 117: Finale Iteration der nicht StVO-konformen, ersten ALT.
- Bild 118: Finale Iteration der zweiten ALT.
- Bild 119: Normalgröße der Kameraaufnahmen.
- Bild 120: Vergrößerung der Anzeigeinhalte bei Nutzung durch BAG-Personal.
- Bild 121: Verdeutlichung der Größe der Kennzeichenanzeige im Vergleich zum Gesamtbildschirm.
- Bild 122: Ausschnitt aus TLS-Meldungsarchiv
- Bild 123: Ineffiziente Blick- und Klickbewegungen bei Individualausleitung
- Bild 124: Unauffällige Gestaltung der Schaltflächen zum Ausleiten
- Bild 125: Aufbau der aktuellen Bediensoftware
- Bild 126: Variante I: Hauptansicht
- Bild 127: Variante I: Möglichkeit des Ausklappens der Symbole, um entsprechende Beschriftung anzeigen zu lassen
- Bild 128: Variante I und Variante II: Beispiel einer mittleren (orange) Gesamtlastüberschreitung
- Bild 129: Variante I und Variante II: Hinweis als Overlay bei pausierter Bildlaufleiste
- Bild 130: Variante I und Variante II: Anzeige bei Auswahl der Individualausleitung. M.A. nach sollte die Abbildung mit deaktivierter ALT vor derjenigen mit aktivierter ALT platziert sein.
- Bild 131: Variante I und Variante II: Anzeige bei aktivierter ALT für Individualausleitung
- Bild 132: Übersicht über die Kamerapositionen (nicht maßstabsgetreu)
- Bild 133: Variante I und Variante II: Hinweis als Overlay bei frühzeitiger Deaktivierung der ALT
- Bild 134: Variante I und Variante II: Overlay bei automatisierter Erfassung eines vorbeifahrenden Lkw
- Bild 135: Variante I und Variante II: Erleichterte Möglichkeit, einen Tatbestand zu erstellen
- Bild 136: Variante I und Variante II: Schaltungsprotokoll. Durch Klicken oder durch Halten der Maus über die Schaltfläche „Ansehen“ werden die erfassten Lkw innerhalb des Zeitraums angezeigt.
- Bild 137: Variante I und Variante II: Anzeige bei Auswahl der Pulkausleitung
- Bild 138: Variante I und Variante II: Anzeige bei aktivierter Pulkausleitung
- Bild 139: Variante II: Hauptansicht der Bediensoftware in der Individualausleitung
- Bild 140: Variante II: Anzeige bei der Auswahl der Individualausleitung
- Bild 141: Variante II: Anzeige bei der Auswahl der Pulkausleitung
- Bild 142: Variante II: Protokollansicht
- Bild 143: Ausschnitt aus dem Rastplatzerfassungstool der BAST. (Bild: ©EuroGeo-

graphics ©Geobasis-DE/BKG 2018 ©  
BISStra/BASSt)

Bild 144: Regelplan der Beschilderung einer Kontrollstelle des BAG mit Ausleitafel und fünf Anzeigequerschnitten basierend auf dem Vkbl. 2011, Heft 1, VO-Nr. 8 (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen – Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, 2011).

Bild 145: Vorschlag für einen Regelplan mit Fahrspurzuweisung für Lkw, der von einer Verkehrsbehörde als nicht geeignet bzw. umsetzbar eingeschätzt wurde

Bild 146: Regelplan für dreistreifige Autobahnrichtungs-fahrbahn unter Beachtung der neuen Grenze für Aufzeichnungspflichten von Fahrzeugen zur Güterbeförderung

Bild 147: Veranschaulichung der möglichen Verdeckung von Kennzeichen in einem Lkw-Konvoi.

## Tabellen

Tab. 1: Übersicht Komponenten BAG-Pilot-KontP

Tab. 2: Abfolge BAG-Regel-Beschilderung

Tab. 3: Auswertung des Befolgungsgrades der Ausleitaufforderung bei aktiver Pulkausleitung

Tab. 4: Auswertung des Befolgungsgrades der Ausleitaufforderung bei aktiver Kennzeichenausleitung

Tab. 5: Tagesfeine Auswertung der Ausleitquoten bei Pulkausleitung

Tab. 6: Auswertung der Fahrstreifenwahl aller Fahrer, die die Pulkausleitung missachteten

Tab. 7: Auswertung der Fahrstreifenwechsel auf den Verzögerungstreifen nach Zonen

Tab. 8: Auswertung der Trajektorienwahl der Lkw-Fahrer auf Höhe der Kennzeichenerfassung

Tab. 9: Ausgewertete Fragebogen nach Art und Standort

Tab. 10: Auswertung der Fragebogen nach Nationalität und Standort der Lkw-Fahrer

Tab. 11: Ausgewertete Fragebogen nach Pilotstandort/Art

Tab. 12: Umfang der Standkontrollen im Pilotbetrieb „Sicheres Ausleiten“

Tab. 13: Fahrzeiten Vorerfassung – BAG-ALT

Tab. 14: Kostenvergleich BAG-Ausleitsystem (vier Varianten, 10 Jahre Betrieb)

Tab. 15: Erfüllung Anforderungen BSI-Grundschutz für WLAN-Netze

Tab. 16: Übersicht Analyse Systemverfügbarkeit BAG-System „Sicheres Ausleiten“

Tab. 17: Aufbau des Fragenkatalogs.

Tab. 18: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Antworten, die auf ein inkorrektes Verständnis der Bedeutung der ALT (Variante B) hindeuten.

Tab. 19: Ergebnisse des Okklusionsversuchs. Begründung, warum die Probanden der Ausleitaufforderung nach der ALT (Variante B) nicht folgen würden

Tab. 20: Fragenkatalog der Online-Umfrage

Tab. 21: Fragenkatalog der Online-Umfrage II

Tab. 22: Vorauswahl der aktivierten Kameraanzeigen.

Tab. 23: Anzahl von Rastanlagen an deutschen BAB aufgeteilt nach Gattung und Bundesland (KÜHNEN, 2016).

Tab. 24: Beispielhafte Darstellung der zehn am besten bewerteten PWC des BAG-Sachbereichs Erfurt, welche die notwendigen Kriterien erfüllen (Skala von null bis zehn Punkten)

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

#### 2020

**V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**

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

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

Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 325: Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**

D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 326: Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen**

Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50

**V 327: Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse**

Frenken, Mahmoudi € 16,50

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

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

**V 329: Streckenbezogene Glättevorhersage**

Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

**V 330: Führung des Radverkehrs an Landstraßen**

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

**V 331: Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw**

Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

**V 332: Räumliche Linienführung von Autobahnen**

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

**V 333: Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit**

Hänisch, Heidebrunn € 17,00

**V 334: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**

Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

**V 335: Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen**

Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

**V 336: Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten**

Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50

**V 337: Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung**

Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

#### 2021

**V 338: Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs**

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

**V 339: Aktualisierung der Datenbank MARLIS**

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

**V 340: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017**

Fitschen, Nordmann € 31,00

**V 341: Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen**

Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 342: Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz**

Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, 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**  
Klöckner, Gärtner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 358: **Nutzenpotenziale von eCall im Verkehrsmanagement**  
Schaarschmidt, van Driel, Reinthaler, Nitsche, Aleksa  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 359: **Management von Neophyten – Ein Überblick über die aktuelle Situation auf Straßenbegleitflächen**  
Bartels  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 360: **Wirksamkeit von Tunnelwänden als Träger photokatalytischer Oberflächen – Hauptstudie**  
Stephan, Ehm, Kamaruddin  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 361: **Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur**  
Hess, Lohmeier, Mielecke, Kunz  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 362: **Simulation des hochautomatisierten Fahrens auf Autobahnen mit kollektiver Streckenbeeinflussung**  
Hilgers, Krabbe, Haug, Grimm, Kutter, Tempelhahn, Schwietering, Füg  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 363: **PERTA – Passive Sicherheit in der Straßenausstattung**  
Tomasch, Radeschnig, Dünser, Sinz, Gstrein  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 364: **Verkehrsträgerübergreifender Austausch von Erneuerbarer Energie**  
Chvanova, Haller, Leprich, U. Mayr, C. Mayr, Oßwald, Altrock, 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.

---

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](http://www.schuenemann-verlag.de)

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