

# **Konzeptentwicklung und Durchführung eines Praxistests zur Qualitätsprüfung von Stauende-Daten**

**Fachveröffentlichung der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**bast**

# Konzeptentwicklung und Durchführung eines Praxistests zur Qualitätsprüfung von Stauende-Daten

Forschungsprojekt FE 03.0563/2017  
der Bundesanstalt für Straßenwesen

von

Cornelie van Driel  
Erik Schaarschmidt  
Robert Yen

Rapp Trans (DE) AG  
Berlin

Norbert Brändle  
Michael Aleksa  
Melitta Dragaschnig

Austrian Institute of Technology AIT  
Wien

Oliver Sidla  
Yuriy Lipetski  
Filippo Garolla

SLR Engineering  
Graz

**Fachveröffentlichung der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**bast**



## Kurzfassung

### Konzeptentwicklung und Durchführung eines Praxistests zur Qualitätsprüfung von Stauende-Daten

Stauenden können für die Sicherheit des Straßenverkehrs gefährliche Ereignisse darstellen. Insbesondere auf Autobahnen kommt es bei Auffahrunfällen zu schweren Personen- und Sachschäden. Eine rechtzeitige Information der Straßenbetreiber und eine Warnung der Verkehrsteilnehmer über Stauenden birgt ein hohes Potential zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufes. Voraussetzung ist, dass solche Ereignisse zuverlässig erkannt werden, was durch eine stationäre Detektion, wie sie von den Straßenbetreibern betrieben wird, nur eingeschränkt möglich ist.

Eine Alternative zur Stauwarnung über stationäre Detektion sind Services von Datenanbietern und Navigationsdienstleistern, die über fahrzeugseitig generierte Daten, wie beispielsweise Floating Car Data (FCD), Stauenden erfassen und entsprechende Warnungen an ihre Nutzer (Verkehrsteilnehmer) kommunizieren. Doch welchen Kriterien müssen diese fahrzeuggenerierten Daten zur Erfassung von Stauenden im Hinblick auf deren Beschaffenheit bzw. Qualität für Zwecke des Verkehrsmanagements und der Verkehrsinformation unterliegen? Welche Mindestanforderungen sind an die Anbieter von kommerziell erhältlicher Stauende-Daten zu richten, für den Fall, dass die öffentliche Hand entsprechende Daten im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung beschaffen möchte?

Im Rahmen dieses Projektes wurde durch einen Praxistest im Realbetrieb eine Evaluierung von kommerziell zugänglichen Stauende-Daten vorbereitet, begleitet, umgesetzt und ausgewertet. Dies erfolgte anhand einer Bewertung der Detektions-Qualität auf Grundlage verschiedener Qualitätskriterien für Stauende-Daten. Als Teststrecke wurde auf der BAB 81, zwischen der AS Ludwigsburg-Nord und AS Ludwigsburg-Süd in Fahrtrichtung Stuttgart, ein Abschnitt mit einer sich noch nicht in Betrieb befindenden temporären Seitenstreifenfreigabe (TSF) genutzt. Unter Nutzung von Videodaten der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg aus drei aufeinanderfolgenden Verkehrskameras der TSF wurden Stauende-Daten erhoben und potenzielle Kandidaten für gefährliche Stauenden mittels automatischer Videoanalyse und computergestützter Videoinspektion ermittelt. Daran anschließend wurden die eigens erhobenen Stauenden mit den Stauende-Meldungen der Datenanbieter verglichen.

Die Erkenntnisse aus dem Praxistest sollten die aus der Literatur bekannten Qualitätsanforderungen an Stauende-Daten konkretisieren, um diese in künftigen Ausschreibungen der öffentlichen Hand verwenden zu können. Dazu wurden für die zu beschaffenden Stauende-Daten die Anforderungen an die Qualität und die Service Level für deren Bereitstellung beschrieben. Zudem wurde Empfehlungen hinsichtlich der vergaberechtlichen Gestaltungsmöglichkeiten für ein Ausschreibungsverfahren formuliert, die im Rahmen einer Beschaffung den Qualitätsnachweis von Stauende-Daten sicherstellen können.

## **Abstract**

### **Concept development and monitoring of a practical test on the quality of information on the end of congestion**

Ends of congestion can be dangerous for road safety. Rear-end collisions on motorways in particular cause serious personal injury and material damage. Timely information of road operators and warning of road users about ends of traffic jams has a high potential for improving traffic safety and traffic flow. A prerequisite is that such events are reliably detected, which is only possible to a limited extent by stationary detection as operated by road operators.

An alternative to congestion warning via stationary detection are services of data providers and navigation service providers, which use data generated by the vehicle, such as Floating Car Data (FCD), to detect congestion ends and communicate corresponding warnings to their users (road users). But what criteria must these vehicle-generated data be subject to in order to record congestion ends in terms of their nature or quality for traffic management and traffic information purposes? What are the minimum requirements for providers of commercially available end-of-congestion data in the event that the public authorities wish to procure such data through a public tendering procedure?

Within the framework of this project, an evaluation of commercially available end-of-congestion data was prepared, accompanied, implemented and evaluated by means of a practical test in real operation. This was done by evaluating the detection quality based on different quality criteria for end-of-congestion data. A section of the A 81 motorway between "Ludwigsburg-Nord" and "Ludwigsburg-Süd" in the direction of Stuttgart with a temporary hard-shoulder running (HSR), which is not yet in operation, was used as a test track. Using video data from three successive traffic cameras of HSR, the Road Traffic Control Centre of Baden-Württemberg collected data on the end of traffic jams and identified potential candidates for dangerous ends of traffic jams using automatic video analysis and computer-aided video inspection. Subsequently, the ends of the traffic jams were compared with the end of traffic jam reports of the data providers.

The findings from the practical test were intended to concretize the quality requirements for end-of-congestion data known from the literature in order to be able to use them in future public tenders. For this purpose, the requirements for the quality of the end-of-congestion data to be procured and the service levels for their provision were described. In addition, recommendations were formulated with regard to public procurement law options for a tendering procedure, which can ensure the quality of end-of-congestion data in the context of procurement.

## Summary

### Concept development and monitoring of a practical test on the quality of information on the end of congestion

#### Initial situation

Ends of congestion can be dangerous for road safety. Rear-end collisions on motorways in particular cause serious personal injury and material damage. Timely information of road operators and warning of road users about ends of traffic jams has a high potential for improving traffic safety and traffic flow. A prerequisite is that such events are reliably detected, which is only possible to a limited extent by stationary detection as operated by road operators.

An alternative to congestion warning via stationary detection are services from data providers and navigation service providers that use data generated onboard the vehicle, such as Floating Car Data (FCD), to detect the ends of traffic jams and communicate corresponding warnings to their users (road users). But what criteria must these vehicle-generated data be subject to in order to record congestion tails in terms of their nature or quality for traffic management and traffic information purposes? What are the minimum requirements for providers of commercially available end-of-congestion data in the event that the public authorities wish to procure such data through a public tendering procedure?

Within the framework of this project, an evaluation of commercially available end-of-congestion data was prepared, accompanied, implemented and evaluated by means of a practical test in real operation. This was done by evaluating the detection quality based on different quality criteria for end-of-congestion data. The results were to be used to validate and concretize minimum requirements for end-of-congestion data. The findings obtained and recommendations for a tendering procedure to be selected should support the public authorities in obtaining commercially available end-of-congestion data.

#### Methodology

The practical test includes a comparison of traffic jam ends recorded by video cameras in real traffic flow with the reports on traffic jam ends from the four data providers TOMTOM, HERE, BE-MOBIL and INRIX. A market comparison of the quality of providers of corresponding end of congestion reports was not carried out. All reports of the data providers are only published in anonymous form. outlines the methodological approach of the project. Figure 1 outlines the methodological approach of the project.

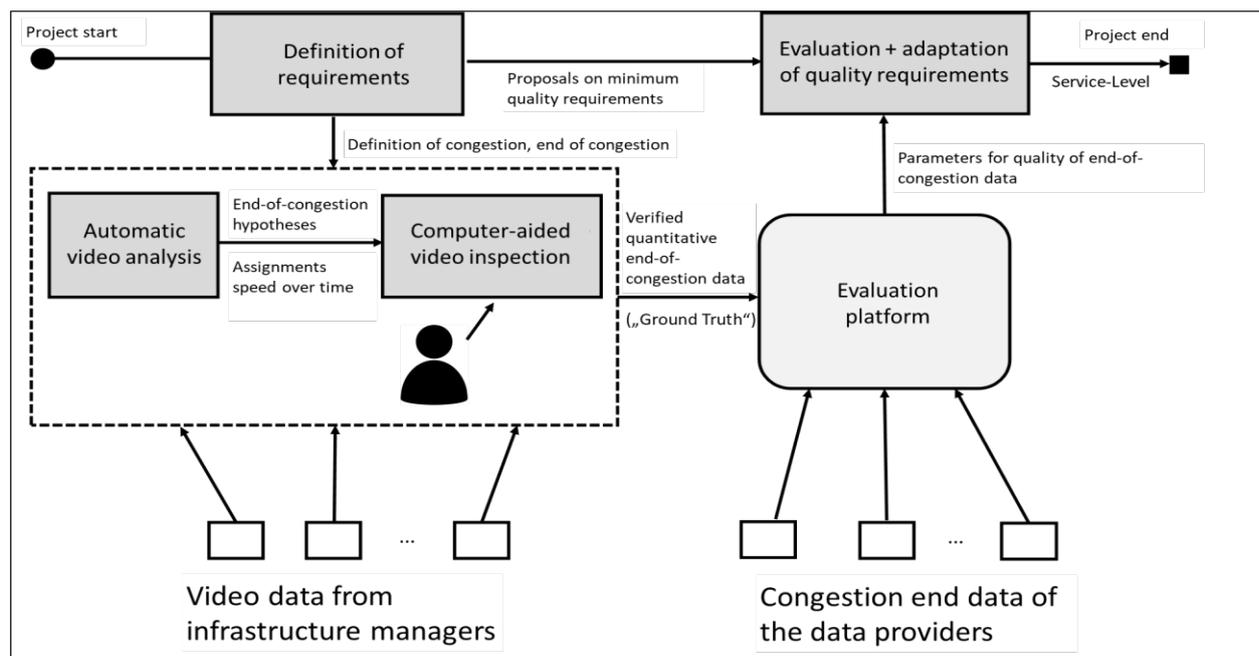


Figure 1: Investigative approach

The starting point was an international consideration of definitions of congestion and ends of congestion as well as requirements for end of congestion data. A test track with a corresponding traffic camera infrastructure was sought for the comparison of end-of-congestion messages from the data providers (with place,

time, congestion ID for the relevant geographical area in the evaluation period) with the real traffic flow. Using recorded video data, the aim was to identify congestion phenomena with potentially dangerous ends and then to compare them with the reports of the data providers. Since a purely manual inspection and evaluation of the large amount of video material required a disproportionately high effort, an analysis tool was developed for an automatic video evaluation. This tool uses special algorithms to record vehicle speeds and vehicle trajectories from the available video data and filters potentially dangerous ends of the congestion from these data (reference system). The congestion tails detected in this way were then visually confirmed or rejected in a video inspection by a human operator. Finally, within the evaluation platform, the end of jam reports of the data providers were compared with the reference from the video recording in order to determine parameters on the quality of end of jam data and to draw conclusions on quality requirements for end of jam data.

## Test track

The basic concept was to use an approximately 1-3 kilometer long section of highway as a test track, with monitoring by several traffic cameras as seamlessly as possible. However, during the design phase, it became apparent that although appropriate sections were available, they could not be used for test purposes in order to maintain ongoing operations. As a test section on the BAB 81, a TSF section not yet in operation between the Ludwigsburg North and Ludwigsburg South junctions in the direction of Stuttgart could be used. In contrast to the concept of the practical test, the number of camera cross-sections that could be evaluated and the seamless monitoring had to be reduced. Thus video data for only three consecutive camera cross sections (K56, K57 and K58) were available, which could only be used for automatic video analysis over a length of approx. 80 m due to the image resolution and the viewing angle.

## Boundary conditions

Based on the analysis of speeds and trajectories of the vehicles captured in the video streams, automatic video analysis and subsequent video inspection were used to develop a suitable method for detecting potentially dangerous ends of traffic jams. Only passenger cars were analysed, as the detection of trucks proved to be faulty. Furthermore, the results of this analysis method were significantly better for the first lanes (right lane) starting from the camera location than for the middle or left lanes. One reason for this is the shading caused by trucks, which obscure the field of view of the left lanes. Another limiting factor for the practical test is that the recording of video data shifted from the summer months of June to August to the autumn/winter months of October to mid-December. As a result, the visibility conditions and thus the video quality were significantly worse due to decreasing daylight conditions, especially during the busy morning and evening hours.

## Quality requirements for end-of-congestion data

With regard to quality indicators for traffic information, the work of the European ITS Platform (EIP) forms an important basis. In addition, (HEINRICH, TH. ET AL. (2018) describes various quality criteria for the collection and processing of data for ITS services.

Basically, it should be noted which quality criteria are to be considered when carrying out a practical test for the collection of congestion data. Based on the basic literature, the most important quality criteria for end-of-congestion data were defined as (1) correctness, (2) update and (3) accuracy.

Although the literature also shows that the basic "availability" was a quality criterion within pilot projects and tendering, this criterion is less relevant for the practical test and is assumed. It is further assumed that the quality criteria "consistency" and "completeness" are not necessary for the implementation of the practical test and can be considered optional. In case of a public tender and purchase of FCD by public authorities, these additional quality criteria to FCD should be taken into account.

Quality criterion	Description
Correctness	<p><b>Correctness can be expressed by the two sub-criteria hit rate and precision.</b></p> <p><b>Hit rate</b> describes the share of all relevant messages (There is an end of congestion and it was recorded.) in the total number of end of congestion events (There is an end of congestion, but it was not always recorded.) and corresponds to the measure for the completeness of a hit list. .</p> <p><b>Precision</b> indicates the share of all relevant notifications (There is an end of congestion and it was recorded.) in the total number of notifications (There was an end of congestion recorded, but there was not always one.) and corresponds to the measure for the relevance of a hit list.</p>

<b>Update</b>	<b>Update</b> (start and detection): Delay between the occurrence of an end of congestion (reference) and the first provision of the end of congestion data by e.g. FCD (recording/logging) Update corresponds to the <b>update frequency</b> : Delay between detected changes of an end of congestion and the provision of the new end of congestion data (e.g. by recording/logging).
<b>Accuracy (space and time)</b>	<b>Position accuracy</b> of the end of the jam: Accuracy of the reported end of jam position (FCD) in relation to the position of the actual end of the jam (reference). <b>Accuracy of the start time</b> of the end of the jam: Difference between the actual start time (reference) and the reported start time (FCD).

Table 1: Quality criteria for end-of-congestion data

## Implementation of the practical test

With the participation of experts from the Federal Highway Research Institute, the circle of supervisors accompanying the research, and external partners (data providers and infrastructure operators), the definition of a hard end of congestion (speed drop of more than 50 km/h within 10 seconds, as well as in the preceding traffic of at least three slow vehicles with a speed of less than 30 km/h for more than 60 seconds) were determined for the reference system of the practical test. This definition mean that both for the criterion of a speed drop of at least 50 km/h and for the criterion of a slow preceding traffic of not more than 30 km/h

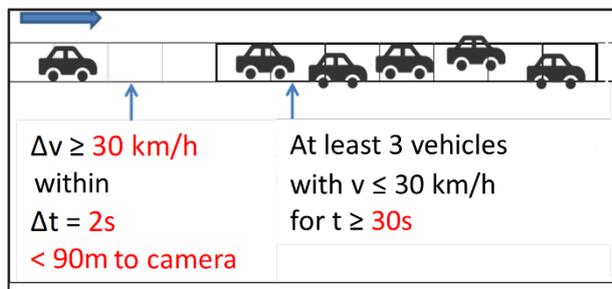


Figure 2: Definition of the "true" end of congestion used

for at least 60 seconds, an observation/measurement of the traffic scene over a distance of at least 300 metres would be necessary. These criteria had to be adapted during the execution of the practical test, as speed measurement by automatic video analysis is only possible along a distance of 10-90 m. Figure 2 illustrates the definitions of the end of the congestion used for the practical test: Speed drop of more than 30 km/h within 2 seconds, and in the preceding traffic of at least 3 slow vehicles with a speed of less than 30 km/h for more than 30 seconds.

## Automatic video analysis and manual video inspection

The video-based approach with automatic video analysis and computer-aided video inspection is the core of the project concept for the evaluation of end-of-congestion. The automatic video analysis calculates vehicle speeds in a video file and, based on this, potential candidates for hard tailbacks. In order to validate

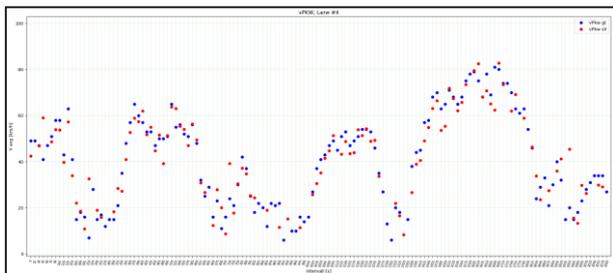


Figure 3: Speed measurement camera 57 (VBA cross-section) over 34 minutes; radar measurement (blue) and video measurement (red)

the accuracy of the speed measurements, the measurement data were compared with reference data of a VBA cross-section (radar measurement data speed profiles and counting data). Figure 3 shows an example of this comparison. The deviation of the measured values lies in a range of approx. +/- 7 km/h. In view of the relatively low quality and resolution of the video data, this deviation is acceptable and sufficient for the measurement of braking processes.

with a braking delay of  $\Delta v \geq 30 \text{ km/h}$ . On this basis, the traffic scene for each candidate was visually assessed by the video annotator. It was decided whether (1) the end of the traffic jam was present, (2) only one or several strong individual braking manoeuvres took place or (3) whether there was no end of the traffic jam in the scene. In time areas where no automatic video analysis was carried out (e.g. at the edge of the day or at night), cross-sectional data of the VBA were collected as additional data sources in order to obtain further indications of hard ends of the traffic jam on the basis of striking drops in speed.

For each video file analysed, histograms were generated which (1) contain the number of "slow" vehicles aggregated to minutes and (2) show all candidates that have hit a correspondingly slow preceding traffic

## Congestion tail messages from data providers

For messages from a data provider in the respective camera field of view, it was logged whether a hard end to the traffic jam could also be confirmed by the automatic video analysis and video inspection or by other

data sources. If no candidate was found, a visual inspection was also carried out in the corresponding video file around the time of the report in order to expand the reference data set and determine the precision more reliably. Figure 4 gives an overview of the reports from the four data providers on the entire test track during the period under investigation.

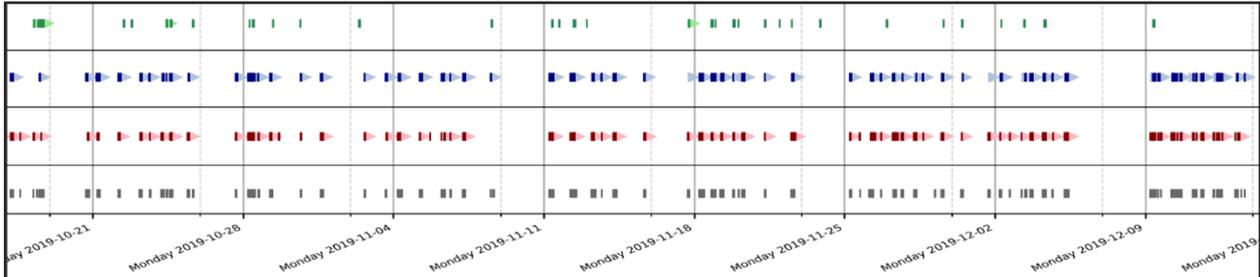


Figure 4: Overview of the data provider messages on the test track; triangles symbolize the message progress with own congestion ID

## Results of quality parameters

The results of the comparison between the congestion tails from the reference system and the reports of the data providers have shown that the hard congestion tails determined only partially coincide with the reports of the data providers in the field of vision of the cameras. Figure 5 provides a chronological overview of all reports from the data providers in the area of camera K57. The horizontal lines 1-4 represent the time lines of a data provider; the dots on the horizontal lines represent the end of traffic jam messages of the respective data provider. Turquoise vertical lines represent an end of congestion message that was present in the reference data set. Red lines represent end-of-congestion events in the reference data set for which no end-of-congestion message was available from the data provider.

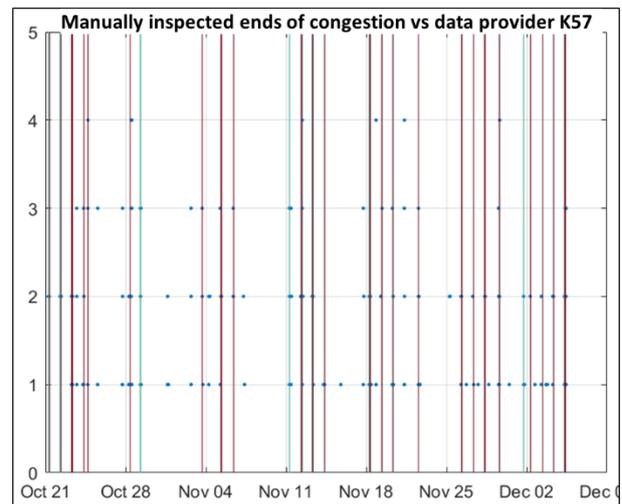


Figure 5: Blending of reference data with end-of-congestion messages

The evaluation of the practical test showed that congestion tails were identified within the video analysis and video inspection, but these could not be confirmed by the reports of the data providers. The opposite case also occurred, in which reports from the data providers were only confirmed afterwards by inspection of the corresponding video sequences as the end of the traffic jam. The comparison was described using two concrete case studies.

The following table provides an overview of the defined quality requirements and the results of the practical test.

Quality criteria	Quality requirement	Results practical test with camera reference system (two cameras)
<b>Correctness: hit rate</b>	The end of congestion message must be reliable $\geq 85\%$ to detect an end of congestion, if there is one.	<b>3,2% - 42,9%</b>
<b>Correctness: precision</b>	The message must be reliable $\geq 95\%$ of the actual ends of the congestion (no ghosts).	<b>7,6% - 33,3%</b>
<b>Actuality: begin</b>	End-of-congestion data must be available in <b>95% of cases within 2 minutes</b> of the occurrence of an end of congestion.	Due to the short evaluation distance of 80 meters each, there are no temporal calculations and no associations of messages from visual observations at a later time.
<b>Actuality: update</b>	The report must update the end of congestion data <b>regularly and at least once per minute</b> , i.e. the updated end of congestion data must be available at least every minute.	Update of 1 data provider every minute (end of congestion), no warning messages
<b>Accuracy</b>	The end of congestion generated by the message is in <b>90% of the cases a maximum of 700m before the real end of the congestion and 200m behind the real end of the congestion.</b>  The end of congestion generated by the message is in <b>50% of the cases a maximum of 400m before the real end of the congestion and 100m behind the real end of the congestion.</b>	Not calculated due to the short evaluation distance of 80 meters each.

Tab. 3: Overview of the quality criteria via the camera reference system of the practical test

## Evaluation and recommendations for a public procurement procedure

The results show that the figures achieved in the practical test are far from the recommended minimum requirements. This does not mean, however, that the approach for a reference system based on automatic video analysis is fundamentally unsuitable, nor that the end-of-congestion reports from data providers are of poor quality. The biggest limitation results from the existing camera infrastructure, which did not allow for a complete or overlapping recording over a longer analysis range. This meant that the high spatial and temporal dynamics of the end of a traffic jam could not be captured appropriately. The practical tests do not allow a clear statement whether the data providers can meet the proposed minimum requirements for the quality criteria. Thus, for a public tender, these essential key parameters for specifying the quality of the services to be provided by the contractor are missing.

In principle, there are various possibilities to initiate a public procurement procedure for the procurement of end-of-congestion data and, in particular, to have the potential bidders provide proof of the quality of the service to be provided within the framework of the procurement procedure. On the basis of these possibilities, it is proposed to carry out a public tender with a negotiation phase. During this process, several rounds of negotiations may be conducted with the bidders who were previously deemed economically and technically suitable. During this negotiation phase, each bidder should submit a concept for the recording of congestion tails and submit an assessment of the quality of the KPIs which he believes he can offer, ensure and prove in a binding manner, without an external reference system and over the entire period of the contract. In the final performance specification, the findings from the negotiation phase are taken into account, e.g. for the determination of the target values of the KPIs, but for the requirement of evidence with regard to the award procedure but with regard to the contract period.

The procurement procedure with negotiation phase helps to eliminate uncertainties in the award documents at an early stage and to specify the required service components. On the basis of this final performance specification, potential bidders can prepare and submit a final bid, which, due to the procedural steps taken beforehand, ensures a high degree of transparency and clarity regarding the contractually agreed performance components, both on the part of the bidders and on the part of the tendering body.



## Inhalt

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>15</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>17</b>
1.1 Problemstellung.....	17
1.2 Zielsetzung .....	18
1.3 Methodisches Vorgehen.....	18
1.4 Randbedingungen .....	20
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>21</b>
2.1 Definition Stau .....	21
2.2 Definition Stauende .....	22
2.3 Möglichkeiten zur Erfassung von Stauenden.....	22
2.3.1 Erfassung von Stauenden auf Basis von Videodaten .....	22
2.3.2 Erfassung von Stauenden auf Basis kooperativer Systeme .....	23
2.3.3 Erfassung von Stauenden auf Basis Floating Car Data .....	23
2.4 Nutzung von Stauende-Daten .....	24
2.4.1 Wertschöpfungskette .....	24
2.4.2 Interessen der Akteursgruppen .....	25
2.4.3 Anwendungsbeispiele von Stauende-Daten .....	26
2.5 Qualitätsanforderungen an Stauende-Daten .....	27
2.5.1 Ausgangslage .....	27
2.5.2 Konkretisierung möglicher Qualitätskriterien .....	29
2.5.3 Spezifikation der Qualitätskriterien für den Praxistest.....	29
2.5.4 Spezifikation weiterer Qualitätskriterien .....	34
<b>3 Detailkonzept für einen Praxistest.....</b>	<b>35</b>
3.1 Definition des Stauendes für das Referenzsystem .....	35
3.1.1 Diskussion und Entwicklung des „wahren“ Stauendes.....	35
3.1.2 Verwendete Definition des „wahren“ Stauendes im Praxistest .....	36
3.2 Auswahl potenzieller Teststrecken.....	37
3.2.1 Ausgangslage .....	37
3.2.2 Verkehrskamera-Infrastruktur .....	38
3.2.3 Datenschutz.....	39
3.2.4 Detailanalyse der potenziellen Teststrecken .....	40
3.3 Kooperation mit Datenanbietern .....	44
3.3.1 Kooperationsbasis .....	44
3.3.2 Anonymisierung .....	45
3.4 Detailkonzept für das Referenzsystem .....	45
3.4.1 Organisatorisches Konzept .....	45
3.4.2 Vorgehen und Technologie zur Referenzprüfung .....	46

<b>4 Durchführung des Praxistests .....</b>	<b>51</b>
4.1 Vorbereitende Maßnahmen.....	51
4.1.1 Kamerastandorte und Videoaufzeichnung .....	51
4.1.2 Lieferung der Stauende-Meldungen durch die Datenanbieter .....	53
4.1.3 Automatische Videoanalyse .....	54
4.1.4 ADAC-FCD .....	55
4.2 Erhebung von Stauende-Referenzdaten.....	56
4.2.1 Automatische Videoanalyse .....	56
4.2.2 Computergestützte Video-Inspektion .....	57
4.2.3 Ergänzende Referenzdatenquellen .....	60
4.2.4 Visuelle Inspektion der Stauende-Meldungen von Datenanbietern .....	61
4.3 Evaluierung der Stauende-Meldungen von Datenanbietern .....	61
4.3.1 Überblick und Fallbeispiele.....	63
4.3.2 Auswirkungen des beschränkten Analysebereichs auf die Evaluierung .....	68
4.3.3 Korrektheit der Stauende-Meldungen im Praxistest.....	69
4.4 Validierung der Qualitätsanforderungen und Diskussion .....	71
<b>5 Service Level für Stauende-Daten.....</b>	<b>72</b>
5.1 Qualitätsmanagement von FCD bei Nutzung durch die öffentliche Hand.....	73
5.1.1 FGSV: „Hinweise zu Detektionstechnologien im Straßenverkehr“ .....	73
5.1.2 Rijkswaterstaat: Ergebnisse aus einer Marktbefragung zu Stauende-Daten .....	75
5.1.3 Das Vergabeverfahren zur Sicherstellung der Qualität .....	75
5.2 Zweck der Beschaffung.....	76
5.3 Vergabeverfahren zur Beschaffung von Stauende-Daten .....	76
5.3.1 Verschiedene Formen öffentlicher Vergabeverfahren.....	76
5.3.2 Prüfung und Bewertung von Angeboten.....	77
5.4 Mindestanforderungen und Zuschlagskriterien .....	78
5.4.1 Nachweisverfahren für Qualitätsparameter .....	78
5.4.2 Inhaltliche Bestimmung der Mindestanforderungen ggf. Zuschlagskriterien.....	79
5.5 Vorgehensbeschreibung für die Beschaffung von Stauende-Daten .....	81
5.5.1 Empfehlung für ein Vorgehen für die Beschaffung von Stauende-Daten .....	81
5.5.2 Stärken, Schwächen und Risiken des vorgeschlagenen Vorgehens .....	82
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>83</b>
6.1 Definition der Anforderungen an Stauende-Daten .....	83
6.2 Durchführung des Praxistests .....	84
6.3 Service Level für Stauende-Daten .....	85
6.4 Handlungsempfehlungen .....	87
<b>Literatur .....</b>	<b>90</b>
<b>Bilder.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabellen.....</b>	<b>94</b>

<b>Anlage 1 – Entwurf einer Service Level-Beschreibung für eine Ausschreibung von Stauende-Daten .....</b>	<b>95</b>
<b>Anlage 2 – Statusbericht als Nachweis zur Einhaltung der KPIs .....</b>	<b>102</b>



## Abkürzungsverzeichnis

AID	Automatic Incident Detection (automatische Störfallerkennung)
BAB	Bundesautobahn
BK	Betreuerkreis (forschungsbegleitender Ausschuss des Projektes)
BW	Baden-Württemberg
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems
DSD	Dangerous Slowdown
dWiSta	dynamischen Wegweisern mit integrierten Stauinformationen
EU EIP	European ITS Platform
F	Freier Verkehr (aus der Drei-Phasen-Verkehrstheorie)
FCD	Floating Car Data
I2V	Infrastructure-to-vehicle
ITS	Intelligent Transport Systems
J	Sich bewegender breiter Stau (aus der Drei-Phasen-Verkehrstheorie)
LOS	Level-of-Service
MARZ	Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen
NDW	National Data Warehouse for Traffic Information (NL)
NRW	Nordrhein-Westfalen
RTTI	Real-Time Traffic Information (Echtzeit-Verkehrsinformationen)
RWS	Rijkswaterstaat (NL)
S	Synchronisierter Verkehr (aus der Drei-Phasen-Verkehrstheorie)
SBA	Streckenbeeinflussungsanlage
SNZ	Schwenk-Neige-Zoom
SRTI	Safety-Related Traffic Information (sicherheitsrelevante Verkehrsinformationen)
SVZ	Straßenverkehrszentrale
TMC	Traffic Message Channel
TSF	Temporäre Seitenstreifenfreigabe
v	Geschwindigkeit
V2V	Vehicle-to-vehicle
V2X	Vehicle-to-everything
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage



# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung

Gegen den Trend der allgemeinen Unfallstatistik sind Unfälle, in denen Fahrzeuge auf das Ende eines Staus auffahren in den Blickpunkt geraten [ASHELM & SMOLKA 2018]. Immer wieder kommt es auf Autobahnen an Stauenden zu Auffahrunfällen mit schweren Personen- und Sachschäden. Die Häufung dieser Geschehnisse führt zu erregten Diskussionen in der Öffentlichkeit.

Es wird allgemein angenommen, dass eine rechtzeitige Information von Straßenbetreibern und Warnung der Verkehrsteilnehmer bei auftretenden gefährlichen Stauenden ein hohes Potential zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufes birgt. Optimierte Staumeldungen und Stauende-Warnungen können dazu beitragen, die Unfallrisiken zu verringern, indem sie den Fahrer auf die bevorstehende Verkehrsstörung rechtzeitig aufmerksam machen. Obwohl Verkehrsmeldungen über Stauenden in Zusammenhang mit Richtlinie 2010/40/EU (IVS-Richtlinie) und den Delegierten Verordnungen 886/2013 zu Aktion C (Sicherheitsrelevante Verkehrsmeldungen) und 2015/962 zu Aktion B (Echtzeit-Verkehrsinformationen) diskutiert werden, sind sie bisher kein Teil der Richtlinie bzw. Verordnungen<sup>1</sup>.

Es gibt verschiedene öffentliche und private Stakeholder, die Systemlösungen zur Erfassung eines Stauendes und Systemlösungen zur Übertragung einer Stauende-Warnung anbieten [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016]. Demzufolge gibt es unterschiedliche Warnkonzepte. Öffentlich-rechtliche Dienstleister nutzen zur Erfassung eines Stauendes hauptsächlich staatliche Datenquellen und zur Übertragung von Stauende-Warnungen öffentliche Systemlösungen, wie z. B. Verkehrsbeeinflussungsanlagen und Radio. Kommerzielle Dienstleister nutzen zur Erfassung eines Stauendes neben staatlichen Datenquellen meistens ihre eigenen Datenquellen aus Flotten (z. B. FCD) und zur Kommunikation von Stauende-Warnungen kommerzielle Systemlösungen, wie z. B. Smartphone Apps und Navigationsgeräte.

Mit Blick in die Zukunft wird erwartet, dass fahrzeuggenerierte Daten über ein vorhandenes Stauende an Bedeutung gewinnen werden. Im Zuge des vernetzten und automatisierten Fahrens, ist es denkbar, dass der Fahrer bei der Annäherung an ein Stauende aktiv vom Fahrzeug unterstützt wird bzw. das Fahrzeug automatisch seine Geschwindigkeit anpasst, sobald eine Stauende-Warnung über V2X-Kommunikation eintrifft.

Die Basis für Stauende-Informationen und -Warnungen sind qualitätsgesicherte Stauende-Daten. Eine zuverlässige Erfassung von Stauenden ist durch stationäre Detektion jedoch nur sehr eingeschränkt möglich, da Ortsinformationen zu Stauenden nur an Positionen von stationären Sensor-Infrastrukturen möglich sind. Die Analyse von fahrzeuggenerierten Daten verspricht hingegen eine geeignete Alternative zu bieten.

Doch welchen Kriterien müssen fahrzeuggenerierte Daten zur Erfassung von Stauenden im Hinblick auf deren Beschaffenheit bzw. Qualität für Zwecke des Verkehrsmanagements und der Verkehrsinformation überhaupt unterliegen? Welche Mindestanforderungen sind an die Anbieter von kommerziell erhältlicher Stauende-Daten zu richten, für den Fall, dass die öffentliche Hand entsprechende Daten für die genannten Zwecke nutzen und zuvor im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung beschaffen möchte?

Um sich diesen Fragestellungen zu nähern war es Inhalt und Ziel, im Realbetrieb eine praktische Evaluierung von kommerziell zugänglichen Stauende-Daten im Rahmen eines Praxistests durchzuführen. Dieser war entsprechend vorzubereiten, zu begleiten, umzusetzen und anschließend auszuwerten. Im Projekt werden Stauende-Daten betrachtet, die als Echtzeitdaten über potenziell gefährliche Stauenden auf Autobahnen und autobahnähnlich ausgebauten Straßen in Deutschland von kommerziellen Datenanbietern erzeugt werden und als Stauende Warnungen zur Verfügung gestellt wurden.

---

<sup>1</sup> Entgegen der europäischen Union halten bspw. die Landesmeldestellen des Verkehrswarndienstes in Deutschland Stauende-Daten für sicherheitsrelevant (Birgit Eckert, Landesamt für Zentrale Polizeiliche Dienste, E-Mail 15.3.2019).

## 1.2 Zielsetzung

Inhalt des Projektes ist die Vorbereitung eines Praxistests sowie dessen Durchführung, Überwachung und Auswertung unter Berücksichtigung der Vorarbeiten aus der Vorstudie in [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016]. Das wesentliche Ziel des Praxistests besteht darin, Mindestanforderungen an Stauende-Daten zu validieren und zu konkretisieren, damit diese künftig in Ausschreibungen der öffentlichen Hand zur Beschaffung kommerziell erhältlicher Stauende-Daten verwendet werden können. Für die zu beschaffenden Stauende-Daten sollen die Anforderungen an Qualität und Service Level für deren Bereitstellung beschrieben werden. Im Fokus steht somit eine Analyse der Detektionsqualität von Stauende-Daten. Aspekte der Übertragung von Daten in die Fahrzeuge sind nicht Bestandteil des Praxistests.

Das Ergebnis des Projektes unterstützt das weitere Vorgehen der öffentlichen Hand bei der Bereitstellung von Stauende-Informationen und -Warnungen, damit möglichst sichergestellt wird, dass diese zuverlässig sind und den Straßenbetreiber und den Fahrer rechtzeitig erreichen. Beispielsweise können die über eine Ausschreibung beschafften qualitätsgesicherten Stauende-Daten in staatlichen Quellen (Datenfusion) und öffentlichen Übertragungsmethoden (Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Rundfunkanstalten) weiterverwendet werden.

## 1.3 Methodisches Vorgehen

Im Praxistest erfolgt eine Bewertung der Detektions-Qualität von Stauende-Daten verschiedener Datenanbieter. Bild 1-1 skizziert das Konzept für eine Gewinnung und einen Vergleich von Referenz-Kenngrößen über die Qualität von Stauende-Daten sowie der Definition notwendiger Service-Level. Das Konzept baut auf der Schlussfolgerung aus der Studie [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] auf, wonach für eine zuverlässige Gewinnung von Referenzgrößen eine bildhafte Erfassung und Analyse von Verkehrsszenen mit Videokameras notwendig ist, um eine Beurteilung von Stauende-Situationen und Analyse von Stauende-Meldungen durchzuführen.

Basierend auf Definitionen von Anforderungen an Stauende-Daten zu Projektbeginn, werden auf eine mit einem Videoüberwachungssystem ausgestatteten Teststrecke eines Infrastrukturbetreibers auf aufgezeichneten Videodaten verifizierte Stauende-Daten („Ground Truth“) erhoben. Eine rein manuelle Inspektion und Beurteilung von Verkehrsszenen auf aufgezeichneten Videodaten mehrerer Kameras ist für einen Menschen zu zeitaufwändig, da nicht nur Stauende-Meldungen von Datenanbietern auf Relevanz überprüft werden müssen, sondern auch für den gesamten Zeitraum des Praxistests überprüft werden muss, ob relevante Stauenden von den Datenanbietern übersehen wurden. Daher erfolgt in einem ersten Schritt eine automatische Videoanalyse, die mit speziellen Algorithmen aus den Videodaten durch Analyse von Fahrzeugverläufen Hypothesen erzeugt, die durch visuelle computergestützte Video-Inspektion durch einen Menschen bestätigt oder verworfen werden.

Mit der Evaluierungsplattform werden durch Verschneidung der verifizierte Stauende-Daten mit Stauende-Meldungen der Datenanbieter Kenngrößen zur Qualität von Stauende-Daten ermittelt.

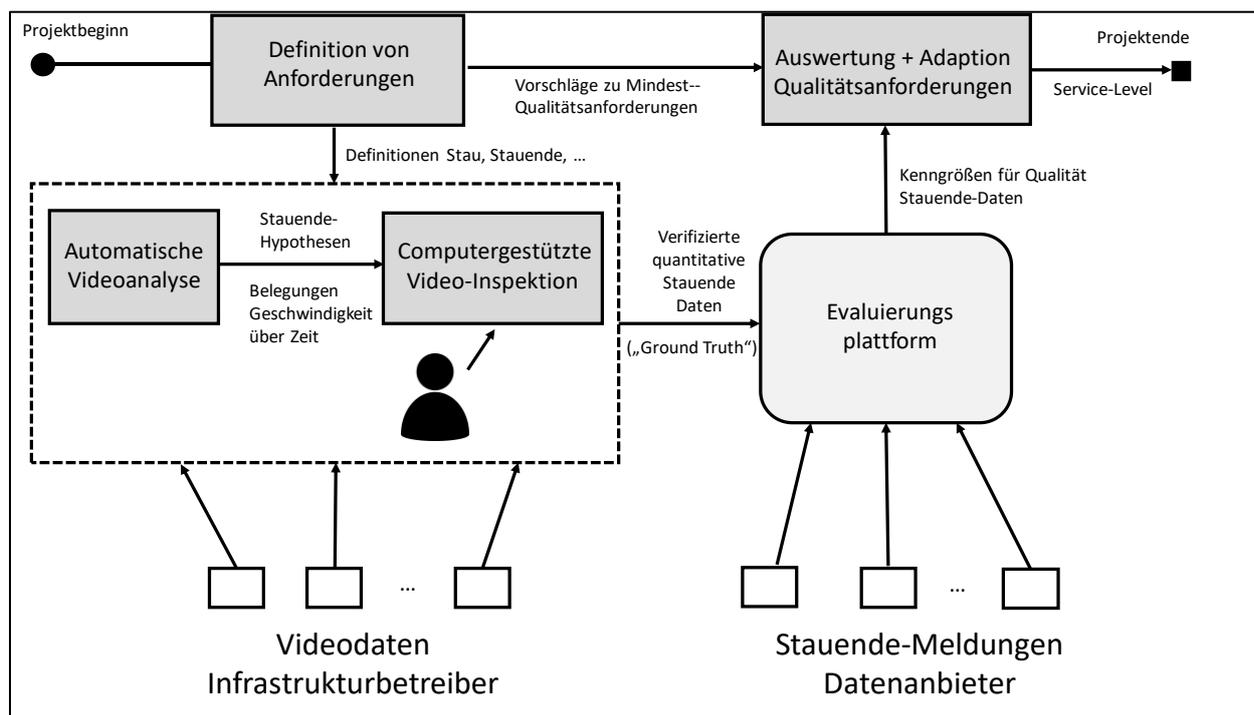


Bild 1-1: Konzept des Untersuchungsansatzes

Dem Untersuchungsansatz folgend umfasst das Forschungsprojekt folgende Arbeitsschritte, die den nachstehend genannten Kapiteln des vorliegenden Berichts zugeordnet sind:

### Kapitel 2

Die Bestandsaufnahme umfasst die wesentlichen Erkenntnisse der Grundlagenanalyse. Dazu zählen neben den Definitionen Stau und Stauende vor allem auch Möglichkeiten zur Erfassung von Stauenden, der Nutzung von Stauende-Daten sowie mögliche Qualitätskriterien für diese Daten.

### Kapitel 3

Beinhaltet eine Beschreibung der vorbereitenden Maßnahmen zur Durchführung des Praxistests. Das enthaltene Detailkonzept für die Durchführung des Praxistests beschreibt die verwendeten Eingangsgrößen zur Erfassung der verifizierten Stauende-Daten, die Evaluation einer geeigneten Teststrecke sowie sämtliche Maßnahmen der Kooperation mit den Datenanbietern und externen Partnern.

### Kapitel 4

Unter Berücksichtigung der methodischen Herangehensweise (Bild 1-1) sowie der für die Teststrecke spezifischen Rahmenbedingung (siehe Inhalt Kapitel 3) sind im vierten Kapitel die einzelnen Analyseschritte und die entsprechenden Ergebnisse der Durchführung des Praxistests beschrieben.

### Kapitel 5

Enthält eine zusammenfassende und kritische Bewertung der erzielten Ergebnisse. Wesentlicher Inhalt dieses Kapitels sind Handlungsempfehlungen für die öffentliche Hand, die unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem durchgeführten Praxistest resultieren sowie eine Beschreibung, wie künftig die Qualität von Stauende-Daten beim Ankauf von FCD sichergestellt werden kann.

### Kapitel 6

Enthält das Fazit des durchgeführten Praxistests sowie eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse. Weiter werden Handlungsempfehlungen formuliert, wie unter Einbezug der erzielten Ergebnisse mit der Erfassung von Stauende-Daten weiter verfahren werden soll bzw. wo es nach Abschluss des Projektes noch offene Forschungsfragen gibt.

## 1.4 Randbedingungen

Kern des Projektes war es, ausgehend vom aktuellen Stand der Technik einen Praxistest zur Evaluierung von Stauende-Daten vorzubereiten, zu begleiten, umzusetzen und anschließend auszuwerten. Das grundlegende Konzept zur Durchführung sah vor, als Teststrecken einen ca. 1-3 Kilometer langen Autobahnabschnitt mit einer möglichst lückenlosen Überwachung durch mehrere Verkehrskameras zu nutzen. Im Rahmen der Konzeption zeigte sich jedoch früh, dass zwar entsprechende Abschnitte durchaus vorhanden sind, jedoch für Testzwecke nicht nutzbar waren, um den laufenden Betrieb (insbesondere von Kamerainfrastrukturen an Autobahnabschnitten mit temporärer Seitenstreifenfreigabe (TSF) aufrechtzuerhalten.

Als Teststrecke konnte auf der BAB 81 eine sich noch nicht in Betrieb befindende TSF-Strecke zwischen der AS Ludwigsburg Nord bis AS Ludwigsburg Süd in Fahrtrichtung Stuttgart genutzt werden. Da die Kamerainfrastruktur jedoch grundsätzlich vorhanden war, konnten in Abstimmung mit der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg die entsprechenden Videoströme auf Festplatten gespeichert und für Analysezecke der Projektbearbeitung bereitgestellt werden.

Anders als in der grundlegenden Konzeption des Praxistests mussten Abstriche hinsichtlich der Menge auswertbarer Kameraquerschnitte und in der lückenlosen Überwachung gemacht werden. Somit standen Videodaten für nur drei aufeinanderfolgende Kameraquerschnitte zur Verfügung, die wegen der Bildauflösung und des Blickwinkels jeweils nur auf ca. 80 m Länge für eine automatische Videoanalyse genutzt werden konnten. Eine automatische Auswertung der Videodaten war für einen längeren Autobahnabschnitt somit nicht gegeben.

Innerhalb der Durchführung des Praxistests erfolgten auf Grundlage der bestehenden Randbedingungen mehrere Überarbeitungen der Hypothese für ein vorliegendes Stauende. Auf Basis der Analyse von Geschwindigkeiten und Trajektorien der erfassten Fahrzeuge, konnte mit der automatischen Videoanalyse sowie der anschließenden Videoinspektion eine geeignete Methode zur Erfassung potenziell gefährlicher Stauenden entwickelt werden. Allerdings wurde hierbei ausschließlich PKWs analysiert, da sich eine Erfassung von LKWs als fehlerbehaftet zeigte. Auch waren die Ergebnisse dieser Analysemethode für die vom Kamerastandort ausgehend ersten Fahrstreifen (rechten Fahrstreifen) deutlich besser als die auf den mittleren oder linken Fahrstreifen. Ein Grund liegt hier in der Abschattung durch LKWs, die das Sichtfeld auf die linken Fahrstreifen verdecken und eine Analyse von Geschwindigkeiten und Trajektorien der dort verkehrenden Fahrzeuge erschwerte.

Ebenfalls muss für den Praxistest einschränkend erwähnt werden, dass sich die Aufzeichnung der Videodaten statt in den Sommermonaten Juni bis August in die Herbst-/Wintermonate Oktober bis Mitte Dezember verschob. Dadurch waren die Sichtverhältnisse und somit die Videoqualität durch abnehmende Tageslichtverhältnisse, insbesondere in den verkehrsstarken Zeiten am Morgen und am Abend, deutlich schlechter.

Ein weiterer wichtiger Aspekt war es, innerhalb des Projektes keinen Marktvergleich der Qualität von Anbietern entsprechender Stauende-Meldungen durchzuführen. Sämtliche der Projektbearbeitung übergebenden Daten wurden nur in anonymisierter Form veröffentlicht bzw. an die Projektpartner sowie den Auftraggeber übergeben. Dies war wesentliche Grundlage für die Zusammenarbeit mit den teilnehmenden Datenlieferanten.

## 2 Grundlagen

Informationen über ein Stauende dienen insbesondere dazu, die Verkehrssicherheit auf dem Straßennetz zu erhöhen. In diesem Kapitel wird auf die Definitionen von Stau und Stauende eingegangen. Zudem werden Möglichkeiten der Erfassung von Stauenden beschrieben. Wie eingangs genannt, werden hohe Potentiale in der Erfassung von Stauende-Daten und der Warnung vor gefährlichen Stauenden für die Verbesserung der Verkehrssicherheit gesehen. Es gibt verschiedene Interessengruppen für Stauende-Daten, mit teils unterschiedlichen Erwartungen. Daher werden in diesem Kapitel auch Nutzungsmöglichkeiten und Interessengruppen von Stauende-Daten beschrieben sowie bisherige Erkenntnisse zu Qualitätsanforderungen an diese Daten genannt.

### 2.1 Definition Stau

Ein Verkehrsstau (kurz: Stau) bezeichnet einen stark stockenden oder zum Stillstand gekommenen Verkehrsfluss auf einer Verkehrsstraße. Es gibt keine allgemeingültige Definition zur Festlegung eines Stauzustandes. Aufgrund der unterschiedlichen Ursachen und Auswirkungen sind unterschiedliche Definitionen für Staus möglich, bspw. kann Stau in Abhängigkeit von der Perspektive des Betrachters als ein verkehrstechnisches Problem, ein wirtschaftliches Problem oder einfach nur als eine Reduktion der Service-Qualität betrachtet werden [GEISTEFELDT & LOHOFF 2011].

Der Begriff Stau wird häufig als Synonym für Überlastung gesehen und ist die Auswirkung eines Verkehrszusammenbruchs [FELLENDORF & NEUHOLD 2013]. Bei einem überlasteten Straßenabschnitt überschreitet die aktuelle Verkehrsnachfrage die maximal aufnehmbare Verkehrsmenge. Das Überschreiten dieses Kapazitätswertes geht einher mit dem Übergang von fließendem in gestauten Verkehr und wird als Zusammenbruch des Verkehrsflusses bezeichnet. Die Geschwindigkeit sinkt unter definierte Grenzgeschwindigkeiten und die Verkehrsdichte steigt deutlich an. Die Verkehrsnachfrage kann jedoch während der Überlastung nicht vollständig abgewickelt werden und es bildet sich Stau.

Die Entstehung eines Staus ist sehr wahrscheinlich, wenn sich die Verkehrsnachfrage der verfügbaren Kapazität der Autobahn nähert oder übersteigt und ist üblicherweise mit einem plötzlichen Rückgang der Geschwindigkeiten verbunden. Daher lässt sich ein Stau im Allgemeinen mit einem deutlichen Unterschied zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und der Geschwindigkeit bei frei fließendem Verkehr definieren [HOPPE 2017]. Neben einem hohen Verkehrsaufkommen können Staus auch durch vorübergehende Verringerung der Kapazität durch Engstellen (z. B. Baustelle), Fahrstreifenreduktionen oder aufgrund einer lokalen Störung im Verkehrsfluss (z. B. fehlerhafte Fahrstreifenwechsel) zustande kommen. Stautentstehung und deren Ausbreitung verlaufen wellenförmig. Ein einmal entstandener Stau kann sich in Form einer oder mehrerer Stauwellen stromaufwärts ausbreiten. Sogenannte Stop-and-Go-Wellen entstehen durch Reaktionszeiten der Fahrer sowie durch die endliche Beschleunigungs- und Bremsfähigkeit der Fahrzeuge [KESTING & TREIBER 2010].

Es gibt verschiedene Ansätze zur Definition von Stau. Meist handelt sich dabei um die Unterschreitung eines bestimmten Schwellenwertes der gefahrenen Geschwindigkeit über ein festgelegtes Zeitintervall. Ferner lässt sich ein Stau anhand dieser Schwellenwerte in verschiedene Arten unterscheiden, z. B. stehenden oder stockenden Verkehr. Auch die Anzahl der Fahrzeuge je Fahrstreifen (Verkehrsstärke) bzw. je Kilometer (Verkehrsdichte) werden als mögliche Kriterien für eine Definition eines Staus genannt.

In [MARZ 2018] wird von einem Stau auf einer zweistreifigen Autobahn gesprochen, wenn die exponentiell geglättete Geschwindigkeit unter 30 km/h und die Verkehrsdichte dabei über 60 Kfz/km liegt. Das Bundesamt für Straßen in der Schweiz unterscheidet eine Verkehrsüberlastung auf Hochleistungs- oder Hauptstraßen außerorts in zwei Arten: Erstens in Stau, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit während mindestens einer Minute unter 10 km/h liegt und es häufig zum Stillstand kommt, sowie zweitens in stockenden Verkehr, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit unter 30 km/h liegt und/oder es teilweise zu kurzem Stillstand kommt [ASTRA 2018]. In den Niederlanden wird Stau im Sinne der Verkehrsinformation als Sammelbegriff für drei Arten von gestautem Verkehr verwendet [RWS 2019]. Es wird unterschieden in (1) stockenden Verkehr (auf 2 km Strecke langsamer als 50 km/h aber im Durchschnitt schneller als 25 km/h), in (2) stillstehenden Verkehr (auf 2 km Strecke langsamer als 25 km/h) sowie in (3) stockender Verkehr mit Übergang zum stillstehenden Verkehr, wenn sich über eine längere Strecke „Gruppen“ mit stillstehendem Verkehr zeigen (Stauwellen). Auch in [EUROPEAN COMMISSION 2019] wird Stau in zwei Arten unterschieden, in (1) Stop-und-Go-Verkehr, wenn sich ein Ego-Fahrzeug über einen Zeitraum von

120 s mit weniger als 30 Km/h bewegt sowie in (2) stehenden Verkehr, wenn das Ego-Fahrzeug für über 30 s still steht (Fahrzeuggeschwindigkeit beträgt 0 km/h).

## 2.2 Definition Stauende

Auch für die Festlegung eines Stauendes gibt es keine allgemeingültige Definition. Mit dem Begriff Stauende (oder Staueinfahrt) werden die „letzten“ Fahrzeuge in einem Stau bezeichnet, also die Fahrzeuge, die gerade in den Stau fahren. Das Stauende stellt den Übergang zwischen verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen dar.

Die Schwierigkeit der Detektion eines Stauendes besteht darin, die (dynamische) Position der in einen Stau einfahrenden Fahrzeuge zu erfassen, die gerade eine Geschwindigkeit gleich oder unter einem bestimmten Schwellenwert haben. Beispielsweise wird gemäß [KRONJÄGER 2013] ein Stauende auf einem Straßenabschnitt dann erkannt, wenn das Geschwindigkeitsprofil eines auf dem Straßenabschnitt fahrenden Fahrzeugs  $v(t)$  nach einer Unterschreitung einer vorgegebenen Geschwindigkeit  $V_{\text{Stau1}}$  zu einer bestimmten Zeit länger als eine vorgegebene Mindstdauer  $T_{\text{Stau}}$  eine vorgegebene Geschwindigkeit  $V_{\text{Stau2}}$  nicht überschreitet, wobei gilt  $V_{\text{Stau1}} < V_{\text{Stau2}}$ .

In BOGENBERGER, K., ET AL. (2012) werden Stauenden unterschieden in ein „weiches“ und ein „hartes“ Stauende. Ein „weiches“ Stauende liegt bei zufließendem synchronisiertem Verkehr vor, wobei der Übergang vom synchronisierten zum gestauten Verkehr mit einer relativ geringen Geschwindigkeitsreduktion aus der Sicht des Ego-Fahrzeugs bei einer Annäherung an ein Stauende erfolgt (Geschwindigkeitsbereich: 0 bis 70 km/h). Diese Stauende-Art ist für den nachfolgenden Verkehr gut erkennbar und somit hinsichtlich möglicher Auffahrunfälle weniger kritisch (z. B. bei Stauenden auf gerader Strecke, sogenannte „unverdeckte Stauenden“). Ein „hartes“ Stauende liegt bei zufließendem freiem Verkehr vor, wobei der Übergang vom freien zum gestauten Verkehr mit einem plötzlichen Geschwindigkeitseinbruch (Geschwindigkeitsbereich: 0 bis 110 km/h) eintritt. Diese Stauende-Art ist für den nachfolgenden Verkehr nur schwer erkennbar und somit hinsichtlich möglicher Auffahrunfälle kritisch (z. B. bei Stauenden in Kurven, sogenannte „verdeckte Stauenden“).

Im [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] stand insbesondere das „harte“ Stauende als ein fließender Gefahrenbereich im Fokus der Betrachtung. In diesem Projekt wurden verschiedene Merkmale einer Definition für ein hartes Stauende aus der Literatur und bilateralen Gesprächen mit verschiedenen Dienstleistern zusammengetragen und ausgewertet. Das wichtigste Merkmal ist die Gefährdung durch einen hohen Geschwindigkeitsunterschied zwischen einzelnen Fahrzeugen (z. B.  $\Delta v \geq 50$  km/h) innerhalb einer bestimmten Zeit oder Distanz, wobei die vorausfahrenden Fahrzeuge eine deutlich niedrige Geschwindigkeit haben (z. B.  $v \leq 30$  km/h).

## 2.3 Möglichkeiten zur Erfassung von Stauenden

### 2.3.1 Erfassung von Stauenden auf Basis von Videodaten

Für die Erfassung von Stauenden auf Basis von Videodaten wurde z. B. mit dem Projekt REFEREE ein prototypisches Verfahren entwickelt, das mit Algorithmen zur automatischen Videoanalyse eine Stauanalyse durchführt [FELLENDORF & NEUHOLD 2013]. Eine Kombination aus Berechnung der Belegungsdichte und Geschwindigkeiten erwies sich als gut geeignet, um eine entstehende Staufront in Bilddaten zu erkennen. Für die Fahrstreifenbelegung und Geschwindigkeitsmessung wurde jeder Fahrstreifen in sich überlappende Segmente eingeteilt (z. B. mit einer Länge von 5 m bei einer Überlappung von 1 m). Für jedes Segment erfolgte eine Belegungsdetektion (Fahrzeug vorhanden / nicht vorhanden) und eine Geschwindigkeitsmessung.

Das System auf dem eingesetzten Smart-Kamera-Typ ist nahezu echtzeitfähig und kann online eingesetzt werden. Die Staulage konnte mit einer Taktzeit von ca. 10-12 Sekunden und über eine Fahrbahnlänge bis ca. 120 m in sehr guter Qualität berechnet werden. Die durchzuführenden Arbeitsschritte innerhalb eines Mess-Zyklus auf der verwendeten Smart-Kamera sind in [LIPETSKI ET AL. 2014] beschrieben.

### 2.3.2 Erfassung von Stauenden auf Basis kooperativer Systeme

Im Entwurf der delegierten Verordnung zu C-ITS sind verschiedene sogenannte „C-ITS Priority Services“ definiert, die zur Verkehrssicherheit oder zur Verkehrseffizienz beitragen. Der V2V-Dienst „Dangerous end of queue“ ist einer dieser C-ITS-Dienste und wird in einer nichtstädtischen Umgebung unter mehreren Auslösebedingungen spezifiziert, u. a. [EUROPEAN COMMISSION 2019].

Eine dieser Auslösebedingungen ist, dass ein Fahrzeug mit einer Anfangsgeschwindigkeit  $> 80$  km/h fährt und die anfängliche Verzögerung  $\leq 0,1$  m/s<sup>2</sup> ist. Der Fahrer reagiert auf das gefährliche Stauende, indem er die Geschwindigkeit auf 30 km/h oder weniger (Zielgeschwindigkeit) reduziert. Eine weitere Auslösebedingung ist, dass die Dauer der Geschwindigkeitsreduzierung von der Anfangsgeschwindigkeit zur Zielgeschwindigkeit höchstens 10 s beträgt. Eine unmittelbare Verzögerung zwischen Anfangs- und Zielgeschwindigkeit von mehr als 3,5 m/s<sup>2</sup> wird erkannt.

### 2.3.3 Erfassung von Stauenden auf Basis Floating Car Data

Im Allgemeinen sind FCD als fahrzeuggenerierte Daten eine sinnvolle Ergänzung zur Detektion mit lokalen Messeinrichtungen und statischen bzw. dynamischen Verkehrsmodellen. Fahrzeuggenerierte Daten zur Erfassung von Stauenden können beispielsweise für Zwecke des Verkehrsmanagements und der Verkehrsinformation eingesetzt werden.

Seit einigen Jahren bieten verschiedene private Diensteanbieter Systeme und Dienste an, die den Fahrzeuglenker vor einem auftretenden Stauende warnen [CLEMENTS & COHN 2016]. Diese Stauende-Warnungen werden generiert, wenn eine potenziell kritische Situation wahrscheinlich ist. Um Geschwindigkeitsänderungen schnell zu erkennen und präzise zu lokalisieren, werden hohe Anforderungen an die Positionsmessungen über die GPS-Geräte in den Fahrzeugen gestellt.

Ein Stau wird erkannt, wenn eine erhebliche Anzahl von Einzelmeldungen eine starke Verringerung der Geschwindigkeit anzeigt. Wenn die Geschwindigkeit einen bestimmten Grenzwert unterschreitet und der Verkehrsfluss erheblich beeinträchtigt wird, wird eine entsprechende Staumeldung generiert.

Neben der „normalen“ Stauerkennung müssen für die Erfassung eines Stauendes mehrere Faktoren berücksichtigt werden [CLEMENTS 2015]:

- Geschwindigkeitsreduzierung
- Länge des Stauendes
- Geschwindigkeit am Stauende
- Bewegungsrichtung des Stauendes

Bei der Erfassung potenziell gefährlicher Stauenden liegt der Fokus insbesondere auf starken Geschwindigkeitsreduzierungen innerhalb einer geringen räumlichen Distanz. Basierend auf Echtzeitdaten von mehreren Streckensegmenten (z. B. 100 m) werden potenziell gefährliche Geschwindigkeitseinbrüche berechnet, wobei das Delta der gefahrenen Geschwindigkeiten zwischen einem Zielsegment und dem stromaufwärtigen Segment betrachtet wird.

Die absolute Geschwindigkeit im hinteren Teil des Verkehrsstaus wird durch Betrachten der Straßensegmente in den letzten hundert Metern des Staus bestimmt. Wenn die beobachtete Geschwindigkeit unter einem festen Schwellenwert liegt, wird der Geschwindigkeitsabfall durch den Vergleich der Geschwindigkeit der sich dem Stau nähernden Fahrzeuge mit der Geschwindigkeit der Fahrzeuge am Stauende abgeglichen. Wenn eine gefährliche Geschwindigkeitsreduzierung beobachtet wird und das Stauende bewegt sich stromaufwärts, dann wird eine Stauende-Warnung erzeugt. Durch Extrapolation wird die sich ändernde Position des Stauendes ermittelt.

Ein mögliches Verfahren zur Erfassung des Stauendes wird beispielsweise in [MOLZAHN ET AL. 2017] beschrieben, welches basierend auf FCD und der dreiphasigen Verkehrstheorie von Kerner zum Identifizieren kritischer Stauenden verwendet wird. Insbesondere die Zustandsübergänge von F→S, F→J und S→J<sup>2</sup> sind hierbei relevant. Für einen Übergang vom freien Verkehr (F) zum synchronisierten Verkehr (S) muss ein Fahrzeug für mindestens 15 s langsamer als 60 km/h fahren und für einen Übergang vom

<sup>2</sup> F = free flow/freier Verkehr, S = synchronised flow/synchronisierter Verkehr, J = wide moving jam/sich bewegendes breiter Stau

freien Verkehr (F) zum sich bewegenden breiten Stau (J) für mindestens 25 s langsamer als 15 km/h fahren. Basierend auf den Zustandsübergängen werden Stauenden und Staufronten identifiziert.

## 2.4 Nutzung von Stauende-Daten

### 2.4.1 Wertschöpfungskette

Der gesamte Prozess der Erfassung eines Stauendes und die Übertragung einer Stauende-Warnung an Verkehrsteilnehmer kann durch die folgende Wertschöpfungskette für Verkehrs- und Reiseinformationen in einer vereinfachten Form dargestellt werden (siehe Bild 2-1). Die einfachste Darstellung umfasst zwei Schritte, in denen Informationen zu Ereignissen (Events) oder zur Verkehrslage (Traffic situation) als Inhalt (Content) der Meldung über einen Dienst (Service) dem Endnutzer (End user) zur Verfügung gestellt werden (HEINRICH, TH. ET AL. (2018)).

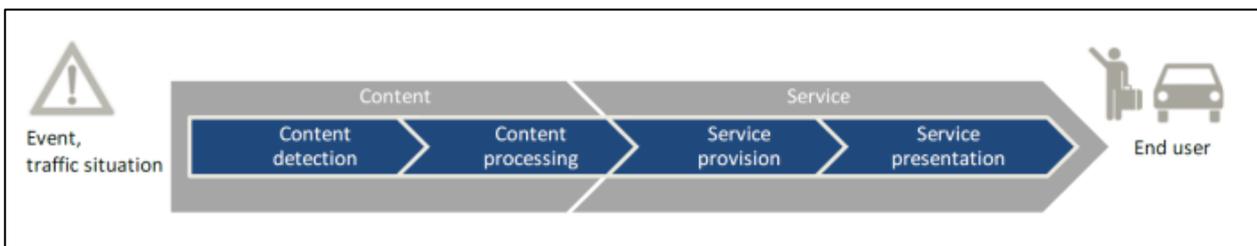


Bild 2-1: Wertschöpfungskette für Verkehrs- und Reiseinformationen [TISA 2012]

Aus End-to-End-Sicht sollten alle Schritte in der Prozesskette weitgehend optimiert und aufeinander abgestimmt sein, damit Stauende-Informationen auf bestmögliche Weise für die Autofahrer bereitgestellt werden können.

Im vorliegenden Projekt steht innerhalb der Wertschöpfungskette vor allem die Bausteine „Content detection“ und „Content processing“ auf der linken Seite innerhalb von Bild 2-1 im Fokus. Insbesondere zu nennen sind die Detektionsqualität von Stauende-Daten, also die Erfassung von Beobachtungen und Messungen des Verkehrs sowie die Verarbeitung und Interpretation der Daten, auf deren Grundlage Staus und Stauenden detektiert und bewertet werden.

Das neben der Verkehrssicherheit auch aus wirtschaftlichen Gründen ein grundlegendes Interesse von einer Vielzahl von Akteuren im Bereich der Stauende-Warnung besteht, zeigt eine kürzlich erschienene Marktanalyse des RWS in den Niederlanden. In [Kramer & Adams 2020] wurde eine umfassende Befragung relevanter Interessensgruppen, u. a. Straßenbehörden und OEMs, insbesondere von Datenanbietern, Navigations- und Kommunikationsdienstleistern sowie aus der Automobilbereich durchgeführt. Vor dem Hintergrund, dass Verkehrs- bzw. Stauinformationen von Datenanbietern und Navigationsdienstleistern immer mehr in Anspruch genommen werden, war Ziel dieser Studie, die grundlegende Bereitschaft für eine Zusammenarbeit zwischen den OEMs und der öffentlichen Hand zu prüfen, sich über Rollen und Verantwortlichkeiten zu verständigen sowie ein mögliches Vorgehen für die Zukunft zu erarbeiten, um in den kommenden zwei Jahren bis 2022 eine mögliche Anwendung eines Warndienstes für Stauenden in bisher nicht überwachte Autobahnabschnitte in den Niederlanden zu implementieren. Zwischen RWS und den OEMs verabredete man sich auf weitere Sondierungsgespräche, um die gemeinsame Zusammenarbeit unter Führung des RWS zu forcieren und die teils verschiedenen Interessen auszuloten. Es liegt auf der Hand das die OEMs zunächst ihre Produkte und Systeme auf Basis der eigenen FCD auf den Markt bringen möchten und sich entsprechend vom Wettbewerb abgrenzen wollen. Allerdings sehen die Datenanbieter auch verschiedene Möglichkeiten, sich innerhalb der o. g. Wertschöpfungskette zu platzieren und somit Teil einer öffentlich-privaten Partnerschaft zu sein. Damit dies gelingt sind noch viele offene Fragen zu beantworten, wie z. B. die Sicherstellung der Qualität und Güte der Daten, die Abgrenzung von einzelnen Leistungsbestandteilen innerhalb der Wertschöpfungskette aber auch Fragen hinsichtlich des Datenschutzes und der Datensicherheit sowie der Mensch-Maschine Interaktion innerhalb des Fahrzeuges, um eine Stauwarnung zu kommunizieren.

## 2.4.2 Interessen der Akteursgruppen

Grundsätzlich lassen sich aus der dargestellten Wertschöpfungskette vier Aktivitäten (Rollen) ableiten: Datenerfasser, Datenprovider, Serviceprovider und Endnutzer (VON DER RUHREN, ST. ET AL. (2015)). Die Aufgaben können von einem oder mehreren Akteuren ausgeübt werden. Akteure sind organisatorische Einheiten mit bestimmten Ressourcen und Zielen, die innerhalb der Prozesskette Anbieter und/oder Empfänger einer Leistung sein können. Für Zwecke des Verkehrsmanagements und der Verkehrsinformation kann die in Tab. 2-1 angegebene Abgrenzung vorgenommen werden.

Aktivitäten (Rollen)	Akteursgruppen
<b>Datenerfasser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Straßenverkehrsbehörden</li> <li>• Verkehrsinfrastrukturbetreiber</li> <li>• Polizei</li> <li>• Staumelder</li> <li>• Private Datenanbieter</li> <li>• Automobilhersteller</li> <li>• Flottenbetreiber</li> </ul>
<b>Datenprovider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsinfrastrukturbetreiber</li> <li>• Landesmeldestellen des Verkehrswarndienstes</li> <li>• Private Datenanbieter</li> <li>• Automobilhersteller</li> </ul>
<b>Serviceprovider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsinfrastrukturbetreiber</li> <li>• Rundfunkanstalten</li> <li>• Private Dienstanbieter</li> <li>• Automobilhersteller</li> <li>• Verkehrsclubs</li> </ul>
<b>Endnutzer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Logistikunternehmen</li> </ul>

Tab. 2-1: Aktivitäten (Rollen) und deren Wahrnehmung durch Akteursgruppen

Bei der Realisierung und beim Betrieb von Verkehrsmanagementmaßnahmen und Verkehrsinformationsdiensten sind im Wesentlichen folgende Akteure mit ihren Interessen beteiligt:

Akteursgruppen	Interessen
<b>Straßenverkehrsbehörden / Verkehrsinfrastrukturbetreiber</b>	Gewährleistung einer optimalen Nutzung des bestehenden Straßennetzes durch die Verkehrsteilnehmer bei gleichzeitig höchstem Sicherheitsniveau sowie minimaler negativer Auswirkungen auf die Umwelt. Durchführung des Betriebs von u. a. telematischen Einrichtungen, Zentralen etc. und Erhebung verkehrsrelevanter Daten auf dem Straßennetz. Die Nutzung von Echtzeit-Daten oder -Diensten privater Anbieter bietet eine Möglichkeit zur Unterstützung ihrer Aufgaben.
<b>Private Datenanbieter</b>	Entwicklung und Bereitstellung eigener erhobener Daten durch z. B. Navigationsdienstanbieter, App-Entwickler und insbesondere Anbieter von FCD, die ihre Daten für eigene Zwecke nutzen, aber auch Dritten entgeltlich zur Verfügung stellen.
<b>Automobilhersteller</b>	Entwicklung von sicheren Fahrzeugen und Integration von Geräten im Fahrzeug (z. B. fest verbautes Navigationsgerät, V2X-Komponente). Die Nutzung von Echtzeit-Daten oder -Diensten anderer Anbieter bietet eine Möglichkeit zur Verbesserung ihrer Produkte.

<b>Landesmeldestellen des Verkehrswarndienstes</b>	Sammlung von Verkehrsinformationen aus unterschiedlichen Quellen (Verkehrszentralen, Polizei, Stauemelder); Konsolidierung und Verteilung von unentgeltlichen Verkehrsinformationen an die Rundfunkanstalten und weitere Anbieter (kein Endkundendienst).
<b>Öffentlich-rechtliche Rundfunkanstalten</b>	Entwicklung und Bereitstellung der erforderlichen Infrastruktur zur Versendung von Verkehrsinformationen; Generierung und Verbreitung von Verkehrsinformationen, unentgeltlich über den öffentlich-rechtlichen Kanal.
<b>Private Dienstanbieter</b>	Entwicklung und Betrieb von Informationsdiensten (z. B. Apps auf mobilen Endgeräten).
<b>Verkehrsclubs</b>	Mitgliederorganisationen, wie ADAC, die ihre Mitglieder z. B. im Internet und per App über die aktuelle Verkehrslage (Staumeldungen, Baustellen, Gefahrenmeldungen) informieren.
<b>Verkehrsteilnehmer / Logistikunternehmen</b>	Bedürfnis um insbesondere sicher und schnell ans Ziel zu kommen.

Tab. 2-2: Akteursgruppen und mögliche Interessen an Stauende-Informationen

### 2.4.3 Anwendungsbeispiele von Stauende-Daten

Stauende-Daten können als Echtzeitdaten über potenziell gefährliche Stauenden betrachtet werden, die kommerzielle Anbieter zur Verfügung stellen. Die größte Bedeutung von Stauende-Daten kommt den Endnutzern zu. Stauende-Informationen sollen die Fahrzeuge im nachfolgenden Verkehr auf die bevorstehende Verkehrsstörung aufmerksam machen, damit das Fahrverhalten an die zu erwartende Verkehrslage zeitgerecht angepasst werden kann. Beispiele für diese Art der Verkehrsinformation gibt es viele, die sich jedoch hinsichtlich des betreffenden Straßennetzes, der Information der Verkehrsteilnehmer oder anlassbezogen unterscheiden. So werden z. B. in Belgien [CLEMENTS 2015] und den Niederlanden [DE VERKEERSONDERNEMING 2017] Verkehrsinformationen über Stauenden auf Basis von FCD für das übergeordnete Netz ausgegeben. Gleiches kann auch für den städtischen Verkehr getätigt werden [CLEMENTS & COHN 2016]. Zudem wird in POLHUIS, J., METSELAAR, R.-J. (2017) beschrieben, wie auf Basis hochfrequenzierter FCD Stauentwicklungen während Straßenarbeiten detektiert wurden.

Durch die zeitliche Überwachung von Stauende-Warnungen ist ein interessanter Einblick in die Verkehrssituation auf der Straße gegeben. Die zugrundeliegenden Daten über Stauenden können in verschiedenen Bereichen zur Anwendung kommen. Nachfolgende Tabelle (Tab. 2-3) zeigt einen Überblick über mögliche Anwendungen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Im vorliegenden Projekt sind vor allen Anwendungen in der Verkehrsinformation und des Verkehrsmanagements relevant.

Anwendungsbereich	Anwendungen
<b>Verkehrsinformation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Eigene“ private, kommerzielle Verkehrsinformationsdienste, z. B. Stauende-Warnungen in Geräten, Apps, etc. vom Datenanbieter selbst.</li> <li>• Ergänzende Quelle für private, kommerzielle Verkehrsinformationsdienste anderer privater Anbieter, z. B. Automobilhersteller, App-Entwickler (z. B. Flitsmeister).</li> <li>• Ergänzende Quelle für öffentliche, unentgeltliche Verkehrsinformationsdienste, z. B. Rundfunkanstalten (z. B. Radio, Verkehrsmeldung auf Navigationsgeräten).</li> </ul>
<b>Verkehrsmanagement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ergänzende Quelle für Steuerung von festen Verkehrsbeeinflussungsanlagen, z. B. Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA), dynamischen Wegweisern mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ergänzende Quelle für Steuerung von dynamischen Verkehrsbeeinflussungsanlagen, z. B. mobilen Stauwarnanlagen, Textwagen.</li> <li>• Als Ersatz von traditioneller Detektion für automatische Störfallerkennung (AID = Automatic Incident Detection) z. B. [SCHREUDER 2016] und [GREFHORST 2018].</li> </ul>
<b>Verkehrsanalyse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heat Map für die Erkennung von „black spots“ um problematische Stellen zu identifizieren, die auf gefährliche Staustellen hinweisen z. B. [CLEMENTS 2015].</li> <li>• Monitoring der aktuellen Verkehrslage.</li> <li>• Anschlussanalysen (z. B. Prüfung der Wirksamkeit von Stauende-Warnungen, Abgleich mit Software Euska zur weitergehenden Analyse von Schwerpunkten und Unfallbrennpunkten).</li> <li>• Historische Analysen (z. B. Stauentwicklung, Wettereinfluss).</li> </ul>
<b>C-ITS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ergänzende Quelle für C-ITS-Dienste auf Basis von insbesondere V2V-Kommunikation (z. B. Dangerous end of queue) oder I2V-Kommunikation (z. B. Hazardous location notification – Traffic jam ahead) z. B. [SMIT ET AL. 2017].</li> </ul>
<b>Automatisiertes Fahren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktive Unterstützung des Fahrers durch das Fahrzeug bei der Annäherung von Stauenden, indem das Fahrzeug bspw. automatisch seine Geschwindigkeit anpasst, sobald relevante Stauende-Informationen eintreffen [VAN DRIEL 2007, STERN ET AL. 2017].</li> </ul>

Tab. 2-3: Mögliche Anwendungen von Stauende-Daten

## 2.5 Qualitätsanforderungen an Stauende-Daten

### 2.5.1 Ausgangslage

Verkehrsdaten bilden die Grundlage für Verkehrsinformationen und viele Anwendungen im Verkehrsmanagement. Die Qualität dieser Anwendungen wird maßgeblich durch die Qualität der verwendeten Verkehrsdaten beeinflusst. Dies trifft auch auf Stauende-Daten und deren Verwendung zu. Im Hinblick auf Qualitätskennzahlen für Verkehrsinformationen bilden die Arbeiten der European ITS Plattform (EU EIP) eine wichtige Grundlage. Die letzte Version des „Qualitätspakets“ enthält aktualisierte Definitionen und Empfehlungen zu Qualitätskriterien, Mindestanforderungen und Qualitätsbewertungsmethoden für RTTI- und SRTI-Dienste<sup>3</sup> (KULMALA, R. ET AL. (2019)).

Auch in HEINRICH, TH. ET AL. (2018) sind verschiedene Qualitätskriterien für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste beschrieben. Wesentlich erscheinen insbesondere die Kriterien Verfügbarkeit, Aktualität, Korrektheit und Genauigkeit. Darüber hinaus aber auch die Qualitätskriterien Konsistenz und Vollständigkeit. Im Vergleich dazu gibt es für die Qualitätskriterien Konsistenz und Vollständigkeit im EU EIP-Qualitätspaket keine äquivalenten Qualitätsbegriffe. Die Konsistenz und Vollständigkeit von Daten werden in EIP grundsätzlich vorausgesetzt, d. h. Fehler bei der Konsistenz und Vollständigkeit können nur indirekt festgestellt werden.

Zu Stauende-Daten finden sich bisher kaum definierte und allgemeingültige Verfahren, Kriterien oder Kenngrößen. Erste Ansätze sind in [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] enthalten, für deren Inspiration eine frühere Version des „Qualitätspakets“ der EIP die Ausgangsbasis war. Aus Fahrersicht sollten Stauende-Warnungen plausibel, rechtzeitig, genau, ortsrelevant und nicht ablenkend sein [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016]. Diese Aspekte haben als Input für die Ableitung verschiedener Qualitätskriterien für die Erfassung eines Stauendes und die Übertragung einer Stauende-Warnung gedient (siehe Tab. 2-4). Bei der

<sup>3</sup> RTTI = Real-Time Traffic Information / Echtzeit-Verkehrsinformationen, SRTI = Safety-Related Traffic Information / sicherheitsrelevante Verkehrsinformationen.

Ausarbeitung wurden Erkenntnisse und Hinweise aus der Praxis einbezogen. Die grundsätzliche Verfügbarkeit von FCD wurde als Voraussetzung angenommen und nicht als Qualitätskriterium dargestellt.

Kriterium	Beschreibung
<b>Plausibilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trefferrate: Prozentsatz der tatsächlich auftretenden Stauende-Ereignisse, die richtig erkannt wurden.</li> <li>Fehlerrate<sup>4</sup>: Prozentsatz der fälschlich als Stauende-Ereignis erkannten Ereignisse.</li> </ul>
<b>Rechtzeitigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechtzeitigkeit (Start und Detektion): Verzögerung zwischen Auftreten eines Stauendes und der ersten Bereitstellung der Stauende-Daten an den Service Provider.</li> <li>Rechtzeitigkeit (Update): Verzögerung zwischen detektierten Änderungen eines Stauendes und der Bereitstellung der neuen Stauende-Daten an den Service Provider.</li> </ul>
<b>Genauigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ortungsgenauigkeit: Genauigkeit der gemeldeten Stauende-Position in Bezug auf die Position des tatsächlichen Stauendes.</li> </ul>

Tab. 2-4: Qualitätskriterien von Stauende-Daten nach [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016]

Für die Bewertung der Qualität von FCD-Rohdaten können GPS-Kenngrößen (z. B. Anzahl empfangener Satelliten, vom GPS angegebene Genauigkeit), Plausibilitätsprüfungen (z. B. Schwellenwerte für Geschwindigkeiten), Formatprüfungen (Zeitstempel, Koordinaten) und Prüfung auf Duplikate (gleicher Datensatz mit unterschiedlicher ID) verwendet werden (HEINRICH, TH. ET AL. (2018)). Zur besseren objektiven Prüfung der Qualität von FCD-Reisezeiten hat z. B. die NDW einen Testrahmen festgelegt, der die Besonderheiten von FCD berücksichtigt [UENK-TELGEN 2017]. Der Testrahmen besteht aus einer Reihe von Tests u. a. auch zu folgenden Qualitätsaspekten:

- Aktualität (zeitlicher Versatz zwischen Ereignis (Referenz) und Meldung (FCD))
- Angemessenheit (Vergleich gemeldeter Staubereich (FCD) mit tatsächlichem Staubereich (Referenz))
- Genauigkeit (numerischer Vergleich zwischen Referenz- und FCD-Reisezeiten)
- Verfügbarkeit (zeitliche und räumliche Abdeckung)

Zur Vorbereitung des o. g. Testrahmens für FCD-Reisezeiten, wurden in einem Pilotprojekt für die Referenz-Daten und FCD verschiedene Definitionen von Stau für die Detektionsrate und Fehlalarmrate verwendet (60 % vs. 70 % siehe Tab. 2-5) [UENK-TELGEN 2016]. Dies erfolgte aus dem Grund, damit sowohl die Referenzmessung als auch die FCD-Messung die gleiche Störung erfassen. Somit wurde verhindert, dass z. B. die Referenzmessung mit 59 % schon einen Stau und die FCD mit 61 % noch freien Verkehr detektieren. Solche Differenzen von wenigen Prozentpunkten sind leicht auf Unterschiede der Datenquellen zurückzuführen.

	Definition Stau Referenz	Definition Stau FCD
<b>Detektion</b>	Geschwindigkeit <60 % der Geschwindigkeit im freien Verkehr für mindestens drei aufeinander folgende 5-Min-Intervalle	Geschwindigkeit <70 % der Geschwindigkeit im freien Verkehr für mindestens drei aufeinander folgende 5-Min-Intervalle
<b>Fehlalarm</b>	Geschwindigkeit <70 % der Geschwindigkeit im freien Verkehr für mindestens drei aufeinander folgende 5-Min-Intervalle	Geschwindigkeit <60 % der Geschwindigkeit im freien Verkehr für mindestens drei aufeinander folgende 5-Min-Intervalle

<sup>4</sup> Auch Fehlalarmrate genannt

Tab. 2-5: Verschiedene Grenzwerte für Detektion und Fehlalarm in den Definitionen für Referenz- und FCD (Auszug)

Für die Durchführung der Tests wurden durch NDW Mindestanforderungen definiert (z. B. Umfang der Daten, Dauer, Anzahl Teststrecken). Die erreichten Ergebnisse potenzieller Anbieter von FCD werden anschließend in Ausschreibungsverfahren bei der Bewertung von FCD-Angeboten mitberücksichtigt.

### 2.5.2 Konkretisierung möglicher Qualitätskriterien

Grundsätzlich ist zu beachten, welche Qualitätskriterien für die Durchführung eines Praxistests zur Erfassung von Stauenden mittels FCD zu berücksichtigen sind. Aufbauend auf neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen können die in [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] vorgeschlagenen Qualitätskriterien für Stauende-Daten wie folgt präzisiert bzw. ergänzt werden.

Die damals wichtigsten Qualitätskriterien Plausibilität, Rechtzeitigkeit und Genauigkeit haben sich bestätigt, werden allerdings in Anlehnung an HEINRICH, TH. ET AL. (2018) umformuliert. Die wichtigsten Qualitätskriterien für Stauende-Daten lauten somit:

- Korrektheit
- Aktualität
- Genauigkeit

Diese drei Qualitätskriterien werden in der Folge näher spezifiziert (vgl. Kapitel 2.5.3).

Zwar geht aus der Literatur hervor, dass die „Verfügbarkeit“ ein Qualitätskriterium innerhalb von Pilotprojekten und Ausschreibung war, jedoch ist dieses Kriterium innerhalb des vorliegenden Projektes bzw. für die Durchführung des Praxistests weniger relevant. Die Verfügbarkeit von FCD wird daher vorausgesetzt. Weiter wird angenommen, dass die in HEINRICH, TH. ET AL. (2018) vorgeschlagene Qualitätskriterien „Konsistenz“ und „Vollständigkeit“ für das vorliegende Projekt und die Durchführung des Praxistests nicht notwendig sind und als fakultativ angesehen werden können.

Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass für den Fall einer öffentlichen Ausschreibung und des Ankaufs von FCD durch die öffentliche Hand weitere Qualitätskriterien an die FCD selbst formuliert werden müssen. In diesem Fall werden die genannte Kriterien Verfügbarkeit, Konsistenz und Vollständigkeit als weitere Qualitätsmerkmale zu berücksichtigen sein.

### 2.5.3 Spezifikation der Qualitätskriterien für den Praxistest

Nachfolgend werden die Qualitätskriterien mit ihren möglichen Qualitätskenngrößen für die Durchführung eines Praxistests näher spezifiziert.

In den Beschreibungen bezieht sich der Begriff „tatsächlich“ auf die tatsächliche Erfassung der Referenzdaten und die Begriffe „gemeldet“ bzw. „Meldung“ auf die gemeldete Erfassung auf Grundlage von FCD der Datenanbieter.

Die absoluten Werte der Qualitätskenngrößen (Ist) können durch einen Vergleich mit festzulegenden Schwellenwerten (Soll) als Mindestanforderung umgewandelt werden. Hierfür werden mögliche Mindestanforderungen genannt, welche auf Basis von [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] um ergänzende Erkenntnisse aus der Praxis erweitert wurden. Es ist zu berücksichtigen, dass die zu stellenden Mindestanforderungen stark von der jeweiligen Anwendung abhängen. Innerhalb des vorliegenden Projektes sind Stauende-Daten als zusätzliche Datenquelle für das Verkehrsmanagement von Interesse, auf Basis derer entsprechende Verkehrsinformationen an die Verkehrsteilnehmer einen Beitrag zu Verkehrssicherheit leisten sollen.

## Korrektheit

Qualitätskriterium	Korrektheit
<b>Kenngroße(n)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurde ein tatsächliches Stauende gemeldet? Ist ein gemeldetes Stauende tatsächlich vorhanden?</li> <li>• Entspricht: Trefferrate, Präzision<sup>5</sup></li> </ul> <p>Für die weitere Ausarbeitung der Trefferrate und der Präzision<sup>6</sup> sind folgende Kategorien wichtig (siehe auch Tab. 2-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Richtig positiv <math>r_p</math> (Hits): Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.</li> <li>• Falsch negativ <math>f_n</math> (Misses): Es gibt ein Stauende, aber es wurde nicht erfasst.</li> <li>• Falsch positiv <math>f_p</math> (Ghosts): Es gibt kein Stauende, aber es wurde eins erfasst.</li> </ul> $TR = r_p / (r_p + f_n) * 100 \%$ <p>mit:</p> <p>TR = Trefferrate  <math>r_p</math> = richtig positiv (Hits)  <math>f_n</math> = falsch negativ (Misses)</p> $PR = r_p / (r_p + f_p) * 100 \%$ <p>mit:</p> <p>PR = Präzision  <math>r_p</math> = richtig positiv (Hits)  <math>f_p</math> = falsch positiv (Ghosts)</p> <p>Trefferrate beschreibt den Anteil aller relevanten Meldungen (Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.) an der Gesamtzahl Stauende-Ereignisse (Es gibt ein Stauende, aber es wurde nicht immer erfasst.) und entspricht dem Maß für die Vollständigkeit einer Trefferliste.</p> <p>Präzision bezeichnet den Anteil aller relevanten Meldungen (Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.) an der Gesamtzahl Meldungen (Es wurde ein Stauende erfasst, aber es gab nicht immer eins.) und entspricht dem Maß für die Relevanz einer Trefferliste.</p>
<b>Mindestanforderung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Trefferrate der Meldung muss mindestens 85 % sein, d. h. die Meldung muss mit Zuverlässigkeit 85 % ein Stauende erfassen, wenn es eins gibt.</li> <li>• Die Präzision der Meldung muss mindestens 95 % sein, d. h. die Meldung muss mit einer Zuverlässigkeit von 95 % tatsächliche Stauenden erfassen.</li> </ul>

Tab. 2-6: Kenngroßen und Mindestanforderung Qualitätskriterium „Korrektheit“

<sup>5</sup> Ursprünglich wurde die Fehlerrate vorgeschlagen. Da in der Praxis nicht festzustellen ist, wie viele nicht-aufgetretene Stauenden von der Meldung korrekt abgelehnt wurden (Correct rejections  $r_n$ ), erscheint die Kenngröße Präzision sinnvoller.

<sup>6</sup> Statt Präzision & Trefferrate wird in der Literatur auch vom Duo „Precision & Recall“ aus dem Gebiet des Information Retrieval gesprochen.

Ob eine Meldung über ein Stauende mittels FCD im Vergleich zur Referenz korrekt erfasst wurde, lässt sich durch nachfolgende Wahrheitsmatrix beschreiben.

		Referenz / Ground truth	
		Stauende	Kein Stauende
Meldung	Erfasst	Richtig positiv $r_p$ (Hits)	Falsch positiv $f_p$ (Ghosts)
	Nicht erfasst	Falsch negativ $f_n$ (Misses)	Richtig negativ $r_n$ (Correct rejections)

Tab. 2-7: Wahrheitsmatrix einer Stauende-Detektion

### Aktualität

Qualitätskriterium	Aktualität
<b>Kenngröße(n)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktualität (Start und Detektion): Verzögerung zwischen Auftreten eines Stauendes (Referenz) und der ersten Bereitstellung der Stauende-Daten durch z. B. FCD =&gt; Aufzeichnung/Protokollierung</li> <li>• Aktualität (Update) = Aktualisierungsfrequenz: Verzögerung zwischen detektierten Änderungen eines Stauendes und der Bereitstellung der neuen Stauende-Daten =&gt; Aufzeichnung/Protokollierung</li> </ul>
<b>Mindestanforderung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Aktualität (Start und Detektion) der Meldung darf in 95 % der Fälle nicht größer sein als 2 Minuten, d. h. die Stauende-Daten müssen in 95 % der Fälle innerhalb 2 Minuten nach dem Auftreten eines Stauendes zur Verfügung stehen.</li> <li>• Die Meldung muss die Stauende-Daten regelmäßig und mindestens 1 mal pro Minute aktualisieren, d. h. die aktualisierten Stauende-Daten müssen mindestens minütlich zur Verfügung stehen.</li> </ul>

Tab. 2-8: Kenngrößen und Mindestanforderung Qualitätskriterium „Aktualität“

Bei der Aktualisierungsfrequenz kann zwischen der generellen (mit dem Datenanbieter vereinbarten) und der tatsächlichen Aktualisierungsfrequenz unterschieden werden. Die tatsächliche Aktualisierungsfrequenz kann ex-post aus der Protokollierung von direkt aufeinanderfolgenden Meldungen eines Stauendes ermittelt werden.

## Genauigkeit

Qualitätskriterium	Genauigkeit (Raum und Zeit)
<b>Kenngroße(n)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagegenauigkeit des Stauendes<sup>7</sup>: Genauigkeit der gemeldeten Stauende-Position (FCD) in Bezug auf die Position des tatsächlichen Stauendes (Referenz)</li> <li>• Genauigkeit der Startzeit des Stauendes: Differenz zwischen der tatsächlichen Startzeit (Referenz) und der gemeldeten Startzeit (FCD)</li> </ul> $LG = x_{ref} - x_{fcd} [m]$ <p>mit:</p> <p>LG = Lagegenauigkeit  <math>x_{ref}</math> = Position des tatsächlichen Stauendes  <math>x_{fcd}</math> = Position des gemeldeten Stauendes</p> <p>Im Idealfall sollte das gemeldete Stauende mit dem tatsächlichen Stauende zusammenfallen. In der Praxis ist es aber üblich, dass folgende Situationen auftreten (vgl. Bild 2-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das laut der Meldung angezeigte Stauende wird erreicht, jedoch verbleibt noch eine Distanz zum Stauende (positive Abweichung).</li> <li>• Das Stauende wird erreicht, jedoch zeigt die Meldung noch eine verbleibende Distanz zum Stauende an (negative Abweichung).</li> </ul> <p>Die Prüfung der Genauigkeit der Startzeit kann als Ergänzung zur Aktualität (Start und Detektion) betrachtet werden.</p> $SZ = t_{ref} - t_{fcd} [s]$ <p>mit:</p> <p>SZ = Genauigkeit der Startzeit  <math>t_{ref}</math> = Startzeit des tatsächlichen Stauendes  <math>t_{fcd}</math> = Startzeit des gemeldeten Stauendes</p>
<b>Mindestanforderung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die von der Meldung generierte / angezeigte Stauende-Position muss sich in 90 % der Fälle innerhalb einer definierten Abweichung von <math>-200 \leq LG \leq 700</math> m befinden, d. h. die von der Meldung generierte / angezeigte Stauende-Position liegt in 90 % der Fälle maximal 700 m vor dem realen Stauende und 200 m hinter dem realen Stauende.</li> <li>• Die von der Meldung generierte/angezeigte Stauende-Position muss sich in 50 % der Fälle innerhalb einer definierten Abweichung von <math>-100 \leq LG \leq 400</math> m befinden, d. h. die von der Meldung generierte/angezeigte Stauende-Position liegt in 50 % der Fälle maximal 400 m vor dem realen Stauende und 100 m hinter dem realen Stauende.</li> <li>• Die Mindestanforderung für Startzeit wird indirekt über die Mindestanforderung für Aktualität (Start und Detektion) abgedeckt.</li> </ul>

Tab. 2-9: Kenngrößen und Mindestanforderung Qualitätskriterium „Genauigkeit“

<sup>7</sup> In [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016]: 90 %:  $-750 \leq LG \leq 1.000$ m; 50 %:  $-300 \leq LG \leq 500$ m.

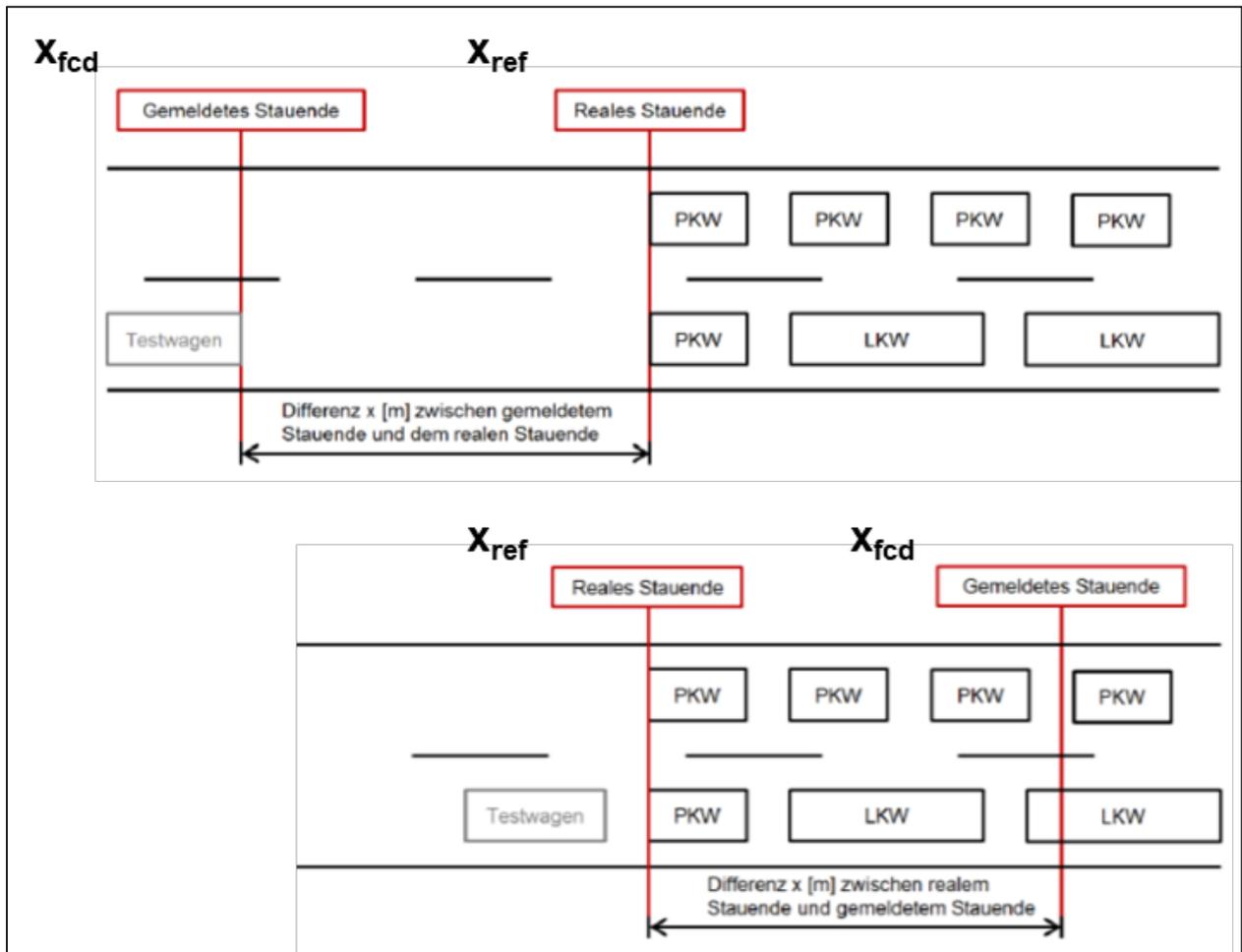


Bild 2-2: Lagegenauigkeit: das gemeldete Stauende befindet sich vor (oben) oder nach dem tatsächlichen Stauende (unten)

Das Stauende ist als ein Übergangsbereich zwischen verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen zu verstehen und stellt ein sehr dynamisches Ereignis dar. Abhängig von der Dynamik ist damit unmittelbar eine räumliche Verlagerung des Stauendes verbunden. Nahezu alle raumzeitlichen Stauwellen breiten sich mit einer einheitlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca.  $-15$  km/h aus [KESTING & TREIBER 2010]. Das heißt, dass ein Stauende mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ca.  $15$  km/h bzw.  $250$  m/min. stromaufwärts wandert. Bei der Aktualisierung der Stauende-Position auf Basis von FCD wird die Wanderung des Stauendes<sup>8</sup> in der Regel berücksichtigt (z. B. durch Extrapolation).

Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit wird angenommen, dass eine negative Abweichung der Lagegenauigkeit kritischer als eine positive Abweichung einzustufen ist. Anders formuliert: Es ist kritischer, wenn das tatsächliche Stauende erreicht wird und die Meldung noch eine verbleibende Distanz zeigt, als wenn das laut der Meldung angezeigte Stauende erreicht wird und noch eine Distanz zum tatsächlichen Stauende verbleibt.

Da sich Geschwindigkeitseinbrüche auf Basis von FCD in der Regel mit sehr hoher räumlicher Genauigkeit ( $< 100$  m) lokalisieren lassen [vgl. KRAMPE 2014], wird vorgeschlagen, die Intervalle enger zu definieren. Da insbesondere eine negative Abweichung als kritisch gesehen wird (z. B. wenn Verkehrsteilnehmer sich nur auf ihr Endgerät verlassen) sollte hier ein Maximalwert von  $200$  m gelten.

<sup>8</sup> Für Meldungen eines Stauendes über die Endgeräte der Verkehrsteilnehmer muss der Bereich ermittelt werden, in welchem sich das Stauende tatsächlich befindet (z. B. anhand der Geschwindigkeit der Stauausbreitung, der Zeiten zwischen den Erfassungen (oder Abtastungen) und den Latenzzeiten).

### 2.5.4 Spezifikation weiterer Qualitätskriterien

Nachfolgend werden in Ergänzung zu den Spezifikationen der Qualitätskriterien für den Praxistest weitere Merkmale beschrieben, welche später z. B. in einer öffentlichen Ausschreibung zum Ankauf von FCD zu berücksichtigen sind.

#### Verfügbarkeit

Die generelle Verfügbarkeit von Stauende-Daten kann ex-ante gemessen werden (z. B. durch eine Zusage des Datenanbieters über die geografische Abdeckung). Die tatsächliche Verfügbarkeit von Stauende-Daten kann ex-post gemessen werden (z. B. in einem Praxistest von Meldungen in einem Testgebiet). Die räumliche und zeitliche Abdeckung von Stauende-Daten ist die wichtigste Kenngröße für die generelle und tatsächliche Verfügbarkeit von Stauende-Daten, in Tab. 2-10 für einige Beispiele angelehnt an HEINRICH, TH. ET AL. (2018).

Ex-ante (z. B. Zusage des Datenanbieters)	Ex-post (z. B. Praxistest)
Sind Stauende-Daten für Deutschland bzw. in einem bestimmten Bundesland generell vorhanden? <sup>9</sup>	Waren Stauende-Daten für Deutschland bzw. in einem bestimmten Bundesland tatsächlich vorhanden? <sup>10</sup>
Sind Stauende-Daten für bestimmte Autobahnen und Autobahnabschnitte generell vorhanden?	Waren Stauende-Daten für bestimmte Autobahnen und Autobahnabschnitte tatsächlich vorhanden?
Sind Stauende-Daten für einzelne Fahrstreifen generell vorhanden?	Waren Stauende-Daten für einzelne Fahrstreifen tatsächlich vorhanden?

Tab. 2-10: Beispiele der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit von Stauende-Daten

Die grundsätzliche Verfügbarkeit von FCD ist allein nicht ausschlaggebend um Aussagen über Stauenden treffen zu können. Innerhalb der Verfügbarkeit sind es insbesondere die Unterkriterien Durchdringungsrate und Datendichte, welche eingehende Analysen erlauben und entsprechende Aussagen zulassen.

#### Durchdringungsrate und Datendichte

Da Stauende-Daten auf FCD beruhen, sind für die Kenngrößen Durchdringungsrate und Datendichte in Tab. 2-11 für einige Beispiele in Anlehnung an HEINRICH, TH. ET AL. (2018) genannt.

Ex-ante (z. B. Zusage des Datenanbieters)	Ex-post (z. B. Praxistest)
Wie viele Fahrzeuge mit FCD stehen durchschnittlich zur Verfügung (ggf. örtlich und zeitlich differenziert)? [Fzg/km*h]	Wie viele Fahrzeuge mit FCD waren tatsächlich für das Weg-Zeit-Element vorhanden?
Wie hoch ist der zeitliche Abstand [s] bzw. die Meldefrequenz [1/s] der Trackpoints?	Wie hoch war der tatsächliche zeitliche Abstand [s] bzw. die tatsächliche Meldefrequenz [1/s] der Trackpoints?
Wie groß ist der durchschnittliche Anteil an Fahrzeugen mit FCD an allen Fahrzeugen? [%]	Wie groß war der durchschnittliche Anteil der Fahrzeuge mit FCD an allen Fahrzeugen (durch Vergleich der Anzahl Fahrzeuge mit FCD mit Zählwerten aus der Referenzmessung)? [%]

Tab. 2-11: Beispiele von Durchdringungsrate und Datendichte von FCD

<sup>9</sup> D.h. es ist theoretisch möglich, dass in Deutschland bzw. in einem bestimmten Bundesland ein Stauende-Ereignis stattfindet und vom Datenanbieter erfasst wird.

<sup>10</sup> Es kann vorkommen, dass die Referenzmessung ein Stauende-Ereignis aufzeichnet und aufgrund anderer Algorithmen durch den Datenanbieter kein Stauende-Ereignis erfasst wird. Eine detaillierte Prüfung muss über das Kriterium Korrektheit vorgenommen werden.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Verkehrsstärke ist aufgrund der Durchdringungsrate einschätzbar, inwiefern verkehrliche Auffälligkeiten (z. B. Stau, Stauende) mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (zeitlich und örtlich) erkannt werden können. Die Durchdringungsrate ist allerdings sehr unterschiedlich (pro Land, Bundesland, Autobahn, usw.) und fluktuiert stark (Tag-Nacht, Wochentag, usw.).

### Konsistenz und Vollständigkeit

Für den Ankauf von FCD muss festgelegt werden, wie die Daten des Datenanbieters zur Verfügung gestellt werden sollen, z. B. als XML-Datei gemäß DATEX II Standard und ggf. Geschwindigkeitsprofile. Zur Messung der Konsistenz bzw. der Vollständigkeit sollte ebenfalls festgelegt werden, welche Elemente pro Datei zwingend erforderlich sind und was die Vorgaben für jedes Element sind (z. B. hinsichtlich des Datentyps, der Einheit, des Formates). Zur Konsistenz wird überprüft, ob jede Datei die erforderlichen Elemente beinhaltet. Zur Vollständigkeit wird überprüft, ob die Elemente den erforderlichen Vorgaben entsprechen.

## 3 Detailkonzept für einen Praxistest

### 3.1 Definition des Stauendes für das Referenzsystem

Als Ausgangsbasis für die Definition des „wahren“ Stauendes für das Referenzsystem wurde der Ansatz aus [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] aufgenommen und auf Basis relevanter Ergebnisse aus den letzten Jahren präzisiert und ergänzt. Die wichtigsten Merkmale der Stauende-Definition und die meisten Werte der verschiedenen Parameter konnten auf Basis der Literatur (vgl. Kapitel 2.2) bestätigt werden.

#### 3.1.1 Diskussion und Entwicklung des „wahren“ Stauendes

Bild 3-1 veranschaulicht die Definition des Stauendes für ein Referenzsystem, die unter Mitwirkung von Experten der Bundesanstalt für Straßenwesen, des forschungsbegleitenden Betreuerkreises sowie externer Partner auf Seiten der Datenanbieter und Infrastrukturbetreiber innerhalb eines Diskussionsprozesses als geeignet festgelegt wurde, jedoch unter der Voraussetzung, dass für ein Referenzsystem eine Teststrecke mit ausreichender Länge und mit einer lückenlosen Videoüberwachung über mehrere Kilometer für die Durchführung eines Praxistests verwendet werden kann.

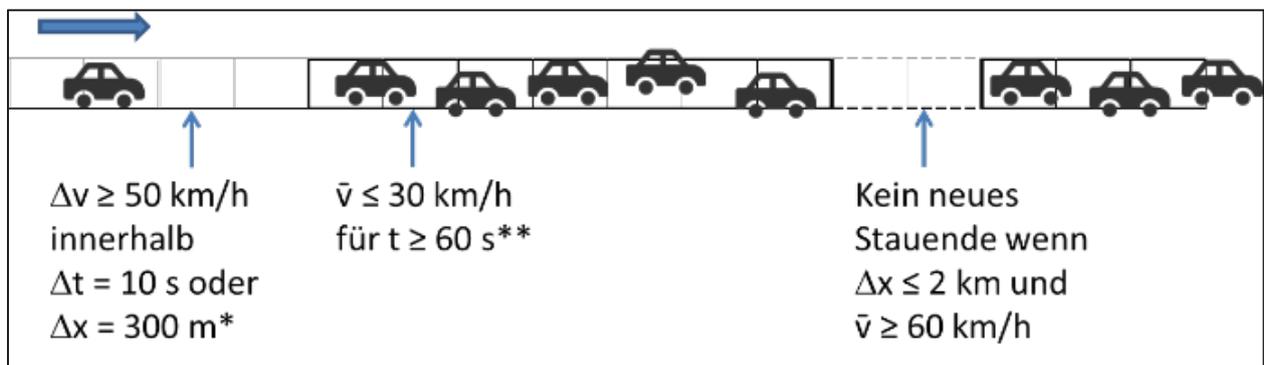


Bild 3-1: Definition des "wahren" Stauendes für einen Praxistest

Die Festlegung der oben genannten Definition des „wahren“ Stauendes unterlag einem Entwicklungsprozess auf Grundlage der Literatur, in dem die Hinweise der beteiligten Partner und Experten Berücksichtigung fanden. Die nachfolgenden Anmerkungen beinhalten die wesentlichen Parameter, die im Laufe des Entwicklungsprozesses eine Anpassung erfahren haben.

Das wichtigste Merkmal eines Stauendes ist die Gefährdung durch eine starke Geschwindigkeitsreduktion  $\Delta v$  innerhalb einer bestimmten Zeit  $\Delta t$  bzw. Distanz  $\Delta x$ , wobei die vorausfahrenden Fahrzeuge eine deutlich niedrige Geschwindigkeit  $\bar{v}$  haben (vgl. Bild 3-1).

- \* Der Wert für ein zu betrachtendes Segment lag ursprünglich bei  $\Delta x = 100 \text{ m}$ . In Anbetracht der Informationen von Datenanbietern und der Zeitangabe von  $\Delta t = 10 \text{ s}$ , erscheint dies zu wenig, da

bspw. ein Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h innerhalb von 10 s bereits über 200 m Weg zurücklegt (bei 130 km/h ca. 360 m). Für die Länge des zu betrachtenden Segments wurde daher der Wert  $\Delta x = 300$  m vorgesehen.

- \*\* In [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] blieb für die letzten Fahrzeuge eines Staus offen, über welche Zeitdauer mit einer geringen Geschwindigkeit gefahren wird, bevor die Situation als Stauende erfasst wird. Angelehnt an die Staudefinitionen in Kap. 2.2 wurde festgelegt, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit  $\bar{v} \leq 30$  km/h über mindestens 60 s andauern muss ( $t \geq 60$  s). Dies setzt jedoch voraus, dass für die Ermittlung der Durchschnittsgeschwindigkeit ein Fahrzeug mit  $\bar{v} \leq 30$  km/h über 60 s erfasst werden müsste, was eine räumliche Erfassung über eine Weglänge von 500 m bedeutet. Auch im Hinblick auf die Verkehrssicherheit erscheint es sinnvoll, den Wert für  $t$  zu reduzieren um Stauenden früher, also nicht erst nach 60 s, zu erfassen.

Zudem wurden innerhalb des Entwicklungsprozesses folgende allgemeingültige Kriterien für das Referenzsystem zur Erfassung eines Stauendes diskutiert. Diese sollten wenn möglich im durchzuführenden Praxistest berücksichtigt werden.

- Es sollen Schockwellen in der Definition berücksichtigt werden. Es soll kein „zweites“ Stauende stromabwärts detektiert werden, wenn der Abstand zwischen beiden Stauenden weniger als 2 km und die Durchschnittsgeschwindigkeit in diesem Bereich größer als 60 km/h ist.
- Die Stauausbreitungsgeschwindigkeit soll nicht berücksichtigt werden. Alle potenziell gefährlichen Stauenden sollen für die Erfassung von Stauende-Daten in Betracht gezogen werden, egal in welche Richtung sie sich bewegen.
- Die Definition sollte möglichst pro Fahrstreifen angewandt werden, damit Stauenden für jeden Fahrstreifen erfasst werden und somit auch Situationen, wie z. B. Stau im rechten Fahrstreifen, detektiert werden können. Für die Qualitätsanalyse von Stauende-Daten sollte jedoch weiterhin von Angaben je Fahrbahn ausgegangen werden.
- Als mögliche weitere Merkmale der Definition sind die Verzögerung und Geschwindigkeitsvarianz der Fahrzeuge zu nennen. Beide Kenngrößen sagen viel über die Dynamik des Verkehrs aus bzw. wie sich die Geschwindigkeit über die Zeit ändert. In [EUROPEAN COMMISSION 2019] wird für den V2V-Dienst „Dangerous end of queue“ von einer Verzögerung  $> 3,5$  m/s<sup>2</sup> ausgegangen. Die Geschwindigkeitsvarianz könnte herangezogen werden, um nach Feststellung eines Geschwindigkeitseinbruchs zu ermitteln, ob sich ein Stau bildet. Dies ähnelt dem Vorgehen in [MARZ 2018], wobei die Standardabweichung der Geschwindigkeit als Kenngröße für die Feststellung „Unruhe im Verkehr an einem Messquerschnitt“ verwendet wird (z. B. bei Überschreitung eines Schwellenwerts von 20 km/h auf einer Autobahn mit zwei Fahrstreifen). Zunächst wurden beide Kenngrößen jedoch nicht berücksichtigt. Sie könnten allerdings später verwendet werden, um eine Gefahrenstufe abzuschätzen (z. B. je stärker eine Verzögerung bzw. je größer die Geschwindigkeitsvarianz, desto gefährlicher ist das Stauende).

### 3.1.2 Verwendete Definition des „wahren“ Stauendes im Praxistest

Die Definitionen für das „wahre“ Stauende in Bild 3-1 bedeuten, dass sowohl für das Kriterium des Geschwindigkeitsabfalls von mindestens 50 km/h als auch für das Kriterium eines langsamen Vorgängerverkehr von höchstens 30 km/h für mindestens 60 Sekunden eine Beobachtung/Messung der Verkehrsszene über eine Strecke von mindestens 300 Metern notwendig ist. Diese Kriterien für das „wahre“ Stauende mussten während der Durchführung des Praxistests – nachdem Videomaterial mit entsprechenden Szenen harter Stauenden verfügbar waren – adaptiert werden. Es stellte sich heraus, dass eine Geschwindigkeitsmessung durch automatische Videoanalyse aufgrund der relativ geringen Videoqualität und -auflösung nur entlang einer Strecke von 10-90 m möglich ist.

Bild 3-2 illustriert die für den Praxistest verwendeten Definitionen zum „wahren“ Stauende: Geschwindigkeitsabfall von mehr als 30 km/h innerhalb von 2 Sekunden, sowie im Vorgängerverkehr von mindestens 3 langsamen Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit kleiner als 30 km/h für mehr als 30 Sekunden. Das dritte „Neuigkeitskriterium“ von Bild 3-1 rechts kommt aufgrund der kurzen Strecke bei der automatischen Videoanalyse nicht zum Tragen.

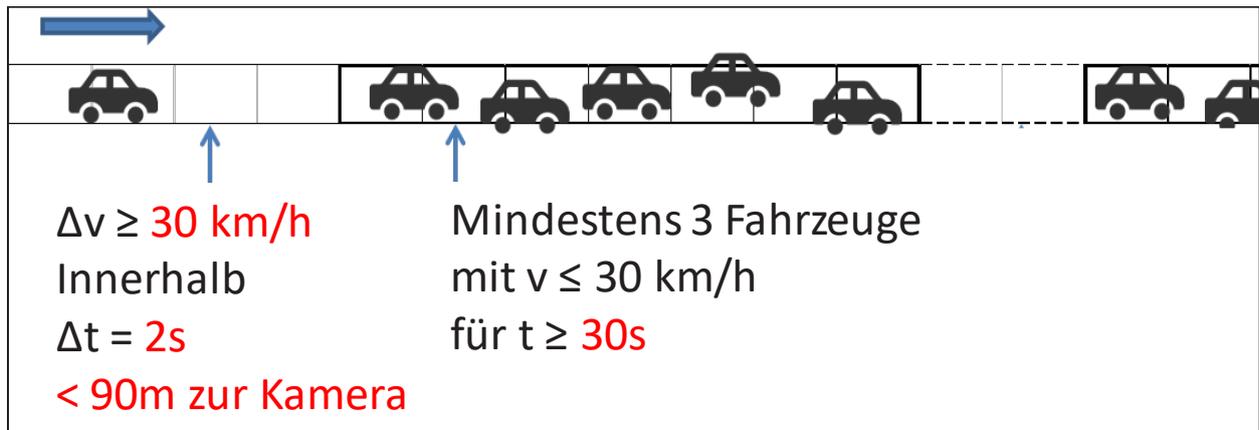


Bild 3-2: Verwendete Definition des „wahren“ Stauendes im Praxistest

## 3.2 Auswahl potenzieller Teststrecken

### 3.2.1 Ausgangslage

Es war vorgesehen, den Praxistest auf einer Bundesautobahn (BAB) in Deutschland durchzuführen. Für die Auswahl einer oder mehrerer möglicher Teststrecken zur Durchführung des Praxistests wurden zu Beginn der Projektbearbeitung verantwortliche Personen der Verkehrszentralen in ausgewählten deutschen Bundesländern (Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg) kontaktiert und um Mitwirkung gebeten.

Die grundlegenden Voraussetzungen für eine mögliche Teststrecke wurden für das Autobahnnetz im Hoheitsgebiet der genannten Bundesländer durch Abfrage von bekannten Stauabschnitten, dem Vorliegen von (Verkehrs-) Daten, der vorhandenen Streckenausrüstung mit Kameras und Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) erhoben. Weiter waren für die Konzeption des Referenzsystems die Speichermöglichkeiten von Videodaten, die Möglichkeit eines Echtzeit Zugriffs auf Videodaten, zu berücksichtigende Belange des Datenschutzes und notwendiger Genehmigungen von Interesse.

Folgende Kriterien waren für die Durchführung des Praxistests obligatorisch:

1. Es müssen im betrachteten Streckenabschnitt regelmäßig Stauerscheinungen auftreten.
2. Es muss eine lückenlose Überwachung durch Verkehrskameras (mit fixiertem Sichtfeld) über mehrere Kilometer vorliegen.
3. Es sollte eine hohe Kameraauflösung, idealerweise Full HD (1920x1080 px) zur Verfügung stehen.
4. Die Bildrate sollte mindestens 12 Bilder pro Sekunde für eine automatisierte Auswertung betragen (idealerweise aber 20-30 Bilder / Sekunde).
5. Es können nur fixe bzw. fixierte Kameras aufgrund der notwendigen Kalibrierung, Georeferenzierung und automatischer Auswertung der Trajektorien betrachtet werden.
6. Es soll eine mit dem Datenschutz abgestimmte Übermittlung von gespeicherten Videostreams oder ein Echtzeit Zugriff möglich sein.

Jedes der vier genannten Bundesländer hat mehrere Autobahnabschnitte mit regelmäßig auftretenden Stauerscheinungen, an denen bereits temporäre Seitenstreifenfreigaben (TSF) in Betrieb sind. Zur Überwachung kommen dort meist Schwenk-Neige-Zoom (SNZ) Kameras mit hoher Auflösung zum Einsatz. Operatoren in den Verkehrszentralen nutzen diese SNZ Kameras zur Prüfung der Streckenabschnitte vor Schaltung der TSF, insbesondere zur Überwachung des Seitenstreifens um Gegenstände oder Pannenfahrzeuge zu identifizieren. Nach positiver Kontrolle wird die Strecke freigegeben und während der Freigabe permanent in Bezug auf Unfälle oder Pannen überwacht. Die SNZ Kameras sind daher während eines Staus nicht fixiert, sondern müssen im Betrieb bewegt werden können. Zugriff auf die Kameras haben dabei meist die Operatoren der Verkehrszentralen und die Exekutive. Dieser Zugriff kann auch nicht mittels vordefinierter Home Positionen bzw. zeitlich begrenzter Fixierung der Kameras abgefangen werden, da die Kameras für die Sicherstellung der Verkehrssicherheit jederzeit geschwenkt werden müssen.

### 3.2.2 Verkehrskamera-Infrastruktur

In den genannten Bundesländern wird für die Verkehrskamera-Infrastruktur wie folgt unterschieden. Einerseits gibt es Webcams, die keinen dauerhaften Videostream erzeugen, in der Auflösung geringer und nur punktuell im Straßennetz angebracht sind. Zudem gibt es SNZ-Kameras, die eine deutlich höhere Auflösung besitzen und im Bereich von TSF und in Tunneln eine lückenlose Überwachung sicherstellen.

#### Bayern

Es besteht ein Netz von ca. 150 Webcams, die vornehmlich zur Verkehrsinformation genutzt werden. Diese Kameras haben große Abstände zueinander. Eine lückenlose Überwachung ist nicht gegeben. Die Kameras liefern Einzelbilder alle 15-60 Sekunden. Die Einzelbilder werden in einem Videoarchiv für 6 Monate gespeichert.

Im Bereich der Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA), insbesondere in Streckenabschnitten mit TSF und in Tunneln gibt es ein Netz hochauflösender Kameras für Operatoren mit Schwenk-Neige-Zoom-Technik.

#### Hessen

Die in Hessen vorhandenen Webcams geben immer nur einen Überblick über einen größeren Streckenabschnitt. Die Kameras zeichnen etwa alle 3-6 Minuten einen 15 Sekunden langen Stream auf, welcher zur eigenen Verkehrslagedarstellung<sup>11</sup> veröffentlicht wird oder auch Externen für deren Verkehrsinformationen überlassen wird.

In Bereichen mit TSF gibt es eine lückenlose Videoüberwachung. Insgesamt erstrecken sich die TSF-Anlagen auf eine Gesamtlänge von fast 90 km. Bei den vorhandenen Kameras handelt es sich generell um SNZ-Kameras, die in diesen Bereichen maximal 1 km voneinander entfernt sind, und eine Sichtweite bis zu 500 m haben: Die Lückenlosigkeit ist damit nur durch Schwenken der Kameras gegeben, aber zeitlich daher nicht möglich. Die Auflösung im Bereich der TSF liegt bei 4 CIF (704 x 576 px). Neuere Kameras besitzen bereits eine HD-Auflösung (1280 x 720 px). Die Videostreams werden für 24 Stunden in einem Ringspeicher gespeichert und anschließend überschrieben. Ein Echtzeitzugriff ist nicht möglich. Die Herausgabe gespeicherter Videodaten erfolgt nur über einen Datenüberlassungsvertrag.

#### Nordrhein-Westfalen

Es gibt ca. 200 Webcams, die für die Verkehrslagedarstellung genutzt werden. Die vorhandenen Webcams sind prinzipiell auch zoom- und schwenkbar. Eine Archivierung der Bilder findet grundsätzlich nicht statt und ist für die Beobachtung von Stausituationen nicht vorgesehen.

Es gibt vier Streckenabschnitte mit TSF und einer hohen Dichte an SNZ-Kameras. Die Abstände der Kamerastandorte werden zwischen 350 m und 600 m beziffert. Ausgenommen davon ist ein ca. 2 km langer Abschnitt auf der BAB 4, wo 17 starre Verkehrskameras mit einem Kameraabstand von rund 100 m positioniert sind. Da es sich um eine veraltete analoge Videoüberwachungsanlage handelt, ist die Auflösung der vorhandenen Kameras deutlich geringer als die moderner SNZ-Kameras. Eine Speicherung und Archivierung der Videodaten findet für diese Anlage nicht statt. An TSF-Strecken mit modernen SNZ-Kameras werden Videodaten über 48 Stunden gespeichert und anschließend überschrieben (Ringspeicher).

#### Baden-Württemberg

Analog zur Ausrüstung der bisher genannten Bundesländer gibt es auch in Baden-Württemberg Webcams für die Darstellung der Verkehrslage<sup>12</sup>.

Im Bereich von TSF-Anlagen ist eine lückenlose Erfassung der Strecke möglich. Die verwendeten Kamerasysteme sind allesamt mit SNZ-Technik ausgestattet. Auf einem Streckenabschnitt der BAB 81, in dem bereits die Kamerasysteme für eine TSF installiert sind, die TSF aber noch nicht aktiv betrieben wird, besteht die Möglichkeit die Kameras in einer gewünschten Position für längere Zeit zu fixieren. Der Bereich zwischen der AS Ludwigsburg-Nord und AS Ludwigsburg-Süd der BAB 81 kann daher zeitlich begrenzt in

---

<sup>11</sup> <https://verkehrsservice.hessen.de/>

<sup>12</sup> Die einzelnen Standorte können unter <https://www.svz-bw.de/verkehrslage.html> eingesehen werden.

einer mit der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg abgestimmten „Home Position“ betrieben werden.

### **3.2.3 Datenschutz**

Bei der Nutzung von Videodaten von Verkehrskameras sind die Belange des Datenschutzes zwingend zu berücksichtigen. In Deutschland sind aufgrund des Föderalismus die zu berücksichtigenden Vorgaben zum Datenschutz durch die Bundesländer vorgegeben und werden dadurch teilweise unterschiedlich gehandhabt. Grundsätzlich ist die Weitergabe von Videodaten unabhängig vom Zweck stark eingeschränkt und nur unter bestimmten Ausnahmeregelungen möglich.

#### **Bayern**

Die Bilder der Webcams sind datenschutzrechtlich nicht relevant, da mit der gewählten Auflösung keine Nummernschilder oder Gesichter erkennbar sind.

Videodaten der SNZ Kameras dürfen aus Gründen des Datenschutzes nur für den internen Gebrauch (zugelassene Stellen in den Verkehrs- und Betriebszentralen Nürnberg und München und bei der Polizei) verwendet werden. Es ist nicht erlaubt die Bilder zu speichern oder für Forschungszwecke weiterzugeben. Es erfolgt auch keine Archivierung.

#### **Hessen**

Die Überlassung dieser o. g. kurzen Videostreams wird mittels Datenüberlassungsvertrag geregelt. Der Datenüberlassungsvertrag untersagt jedoch eine längerfristige Aufzeichnung des Streams.

Die Videos der SNZ-Kameras dürfen in der Verkehrszentrale Hessen max. 24 Stunden aufgezeichnet werden. Eine Herausgabe dieser Videos ist aus Datenschutzgründen nicht möglich (eine Ausnahme bildet hier lediglich die Herausgabe an Polizei und Staatsanwaltschaft).

Auch in Nordrhein-Westfalen und in Baden-Württemberg konnten hinsichtlich der vorhandenen und genutzten Verkehrskameras (v. a. der Kameras mit SNZ-Technik an Streckenabschnitten mit TSF) keine neuen Erkenntnisse hinsichtlich des Datenschutzes erlangt werden. Daher rückten der Abschnitt auf der BAB 4 in Nordrhein-Westfalen (TSF-Strecke mit veralteter Videoüberwachung) sowie der Abschnitt auf der BAB 81 in Baden-Württemberg (noch nicht in Betrieb stehenden TSF-Strecke mit modernen SNZ-Kameras) in den Vordergrund als potenzielle Teststrecken für die Durchführung des Praxistests.

#### **Nordrhein-Westfalen**

Aus Sicht des Datenschutzes darf das Videomaterial der Kameras auf der BAB 4 nach Abstimmung mit dem Datenschutzbeauftragten des Landesbetriebs im Rahmen des Forschungsprojektes genutzt werden. Hierfür muss eine schriftliche Zusicherung vorgelegt werden, dass die Kennzeichen und Personen auf eine nicht rekonstruierbare Weise unkenntlich gemacht werden (Anonymisierung). Dazu wird die Angabe der verwendeten Software und eine technische Beschreibung der Verarbeitungskette benötigt. Eine gesonderte Freigabe durch den Landesdatenschutzbeauftragten ist in diesem Fall nicht erforderlich, so dass entsprechende Fristen unerheblich sind. Für Forschungszwecke wird der datenschutzrechtlichen Nutzung relevanter Sachverhalte erfahrungsgemäß zugestimmt.

#### **Baden-Württemberg**

Nach Aussagen des Landes Baden-Württemberg ist die Nutzung der angefragten Kameras auf der BAB 81 für das Forschungsprojekt möglich. Ein Datenüberlassungsvertrag ist jedoch entsprechend zu unterzeichnen. Die Kameras sind in ihrer Einstellung so gewählt, dass keine personenspezifischen Merkmale erkennbar sind. Die Standorte und die Nutzung der Videostreams sind mit dem Landesdatenschutzbeauftragten des Landes Baden-Württemberg abgestimmt, sollten aber als vertrauensbildende Maßnahme trotzdem vorab dem Datenschutzbeauftragten angezeigt werden. Eine weitere Genehmigung ist nicht notwendig. Aus Datenschutzgründen müssen die Videos jeweils nach spätestens fünf Tagen gesichert werden, da sie sonst nicht mehr verfügbar sind.

### 3.2.4 Detailanalyse der potenziellen Teststrecken

Um einen besseren Eindruck der Autobahnabschnitte und ihrer Kameraausrüstung zu erhalten, wurden bei den zuständigen Straßenverkehrsbehörden Testvideos bzw. Testbilder angefragt. Zudem wurden die Streckenabschnitte hinsichtlich der technischen Ausrüstung und ihrer Streckencharakteristika näher analysiert und eine Bewertung der Erkenntnisse der präliminären automatisierten Analyse der Testvideos inkl. der ortsabhängigen Rahmenbedingungen durchgeführt.

#### BAB 81 AS Ludwigsburg Nord – AS Ludwigsburg Süd

Der ca. 4 km lange Abschnitt mit TSF liegt zwischen der AS Ludwigsburg Nord und der AS Ludwigsburg Süd in Fahrtrichtung Stuttgart (Süd). Aufgrund regelmäßiger Stauerscheinungen ist hier eine TSF-Strecke<sup>13</sup> geplant und ist bereits mit Kameras bestückt. Die Anlage ist jedoch noch nicht aktiv, so dass die SNZ-Kameras für den Praxistest zeitlich begrenzt auf eine fixierte Home Position ausgerichtet und genutzt werden können.

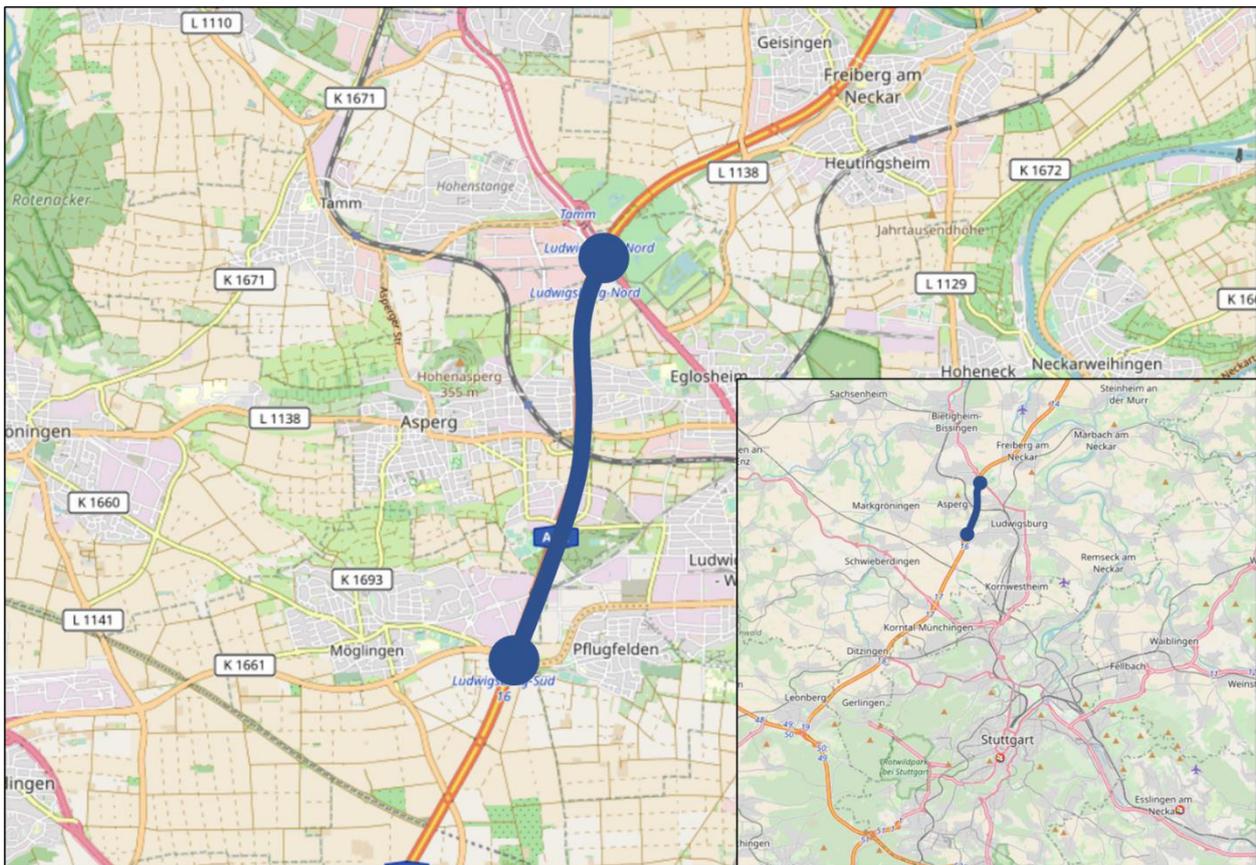


Bild 3-3: TSF-Strecke BAB 81 Baden Württemberg (eigene Darstellung auf Basis <https://www.openstreetmap.de/karte.html>; © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)

Auf dem Abschnitt gibt es insgesamt acht Kameras, mit einem Abstand der Kameraquerschnitte von jeweils ca. 500 m (siehe Bild 3-4: Videoframe). Die Videoauflösung ist mit einer PAL Codierung (d. h. 720 x 576 Pixel interlaced (Halbbilder)) vergleichsweise gering. Die Kameras sind jeweils an eigenen Masten in großer Höhe montiert um Abschattung und Sichteinschränkungen so gering wie möglich zu halten.

<sup>13</sup> <https://www.svz-bw.de/verkehrsbeeinflussungsanlagen/temporaere-seitenstreifenfreigabe/anlagen/>



Bild 3-4: Videoframe der K8158 auf der BAB 81 bei km 567,38

Aus der Analyse eines testweise zur Verfügung gestellten Videos der Kamera K8158 konnten folgende Erkenntnisse getroffen werden:

- Aufgrund der vergleichsweise geringen Video-Auflösung kann eine automatische videobasierte Erfassung der Geschwindigkeiten nur entlang einer Strecke von ca. 80 m durchgeführt werden. Somit können pro Kamera Stauende-Referenzdaten nur entlang von 80 m langen Abschnitten gemessen werden. Die restlichen ca. 400 m bis zur nächsten Kamera können nicht (automatisiert) ausgewertet werden.
- Obwohl die Kameras auf hohen Masten montiert sind, kam bei der automatisierten Auswertung der Probevideos bei starkem LKW Verkehr am ersten Fahrstreifen aufgrund der Perspektive zu zahlreichen Abschattungen der Fahrzeuge, v.a. auf dem mittleren und linken Fahrstreifen.

Nach Aussagen seitens der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg (SVZ BW), konnten – um den Datenaufwand und die Datenmenge seitens der SVZ BW handhabbar zu halten – die Videos von maximal drei Kameras gespeichert und mittels externer Festplatte übermittelt werden. Dabei erfolgt seitens der SVZ BW im Praxistest ein Direktzugriff auf das Videosystem. Die Speicherung der Videos auf zwei externe Festplatten erfolgte ebenfalls durch die SVZ BW. Die Festplatten wurde anschließend dem Projektteam zur Verfügung gestellt. Die zur Verfügung gestellten Videos haben keinen Zeitstempel, jedoch ist im Dateinamen die Startzeit der Videosequenz angegeben, so dass in den einzelnen auf knapp 35 Minuten geschnittenen Videos trotzdem für jeden Frame ein korrekter Zeitstempel berechnet werden kann.

Das Blickfeld von Kamera 8157 (vierte Kamera von Süden gesehen) erfasst auch die Überkopf-Anzeige der VBA, wodurch eine direkte Betrachtung von sich ändernden Anzeigen möglich ist. Die von dieser Überkopf-Anzeige mit Radar kontinuierlich erfassten Querschnittsdaten (Anzahl Kraftfahrzeuge pro Fahrstreifen und Geschwindigkeiten) wurden durch die SVZ BW dem Projekt für weitere Analysen zur Verfügung gestellt. Somit konnte eine Validierung der aus der automatischen Videoanalyse berechneten Geschwindigkeiten durchgeführt werden (siehe Kapitel 4.1.3).

#### **BAB 4 in Nordrhein-Westfalen**

Bei der zweiten potenziellen Teststrecke handelt es sich um einen ca. 2 km langen Abschnitt auf der BAB 4 zwischen der AS Refrath und der AS Köln Merheim in Fahrtrichtung Köln (West) (siehe Bild 3-5). Bei dieser Strecke handelt es sich um eine veraltete TSF-Strecke, deren Kamerasysteme nicht mehr zum Zweck einer temporären Seitenstreifenfreigabe genutzt werden.

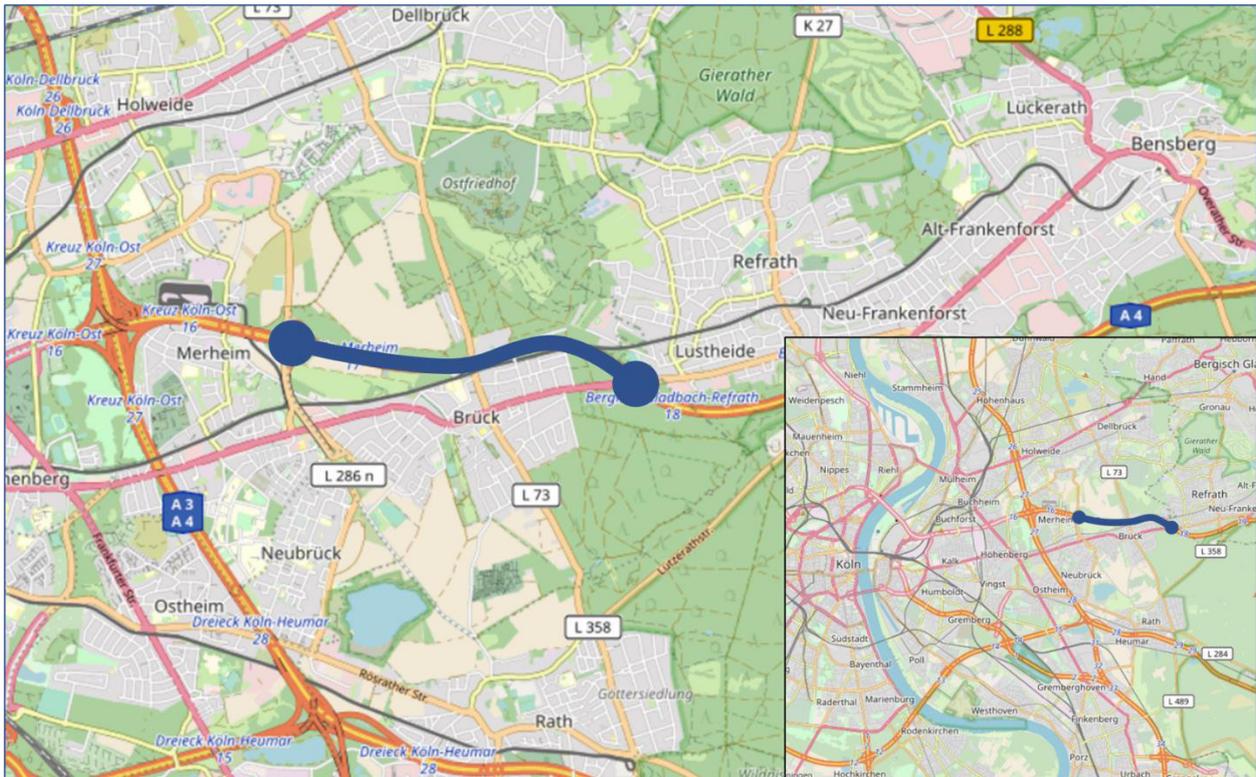


Bild 3-5: Abschnitt BAB 4 Nordrhein-Westfalen (eigene Darstellung auf Basis <https://www.openstreetmap.de/karte.html>; © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)

Insgesamt befinden sich 18 Kameras auf dieser Strecke, die alle einen Abstand von ca. 100 m haben. Die Anlage ist technisch veraltet und wird daher nur noch zu Visualisierung des Verkehrsgeschehens verwendet. Aufgrund des technisch hohen Alters der analogen Videoüberwachungsanlage (ca. 20 Jahre) besteht derzeit ausschließlich ein Zugriff auf die Echtzeit-Kamerabilder im Kontrollraum der Verkehrszentrale Leverkusen, eine Speicherung (digitale Archivierung der analogen Videosignale) erfolgt nicht. Eine komplette Erneuerung ist vorgesehen, jedoch nicht innerhalb der Laufzeit des vorliegenden Projektes. Durch Straßen.NRW konnte der Projektbearbeitung eine Videosequenz zur Verfügung gestellt werden, die durch Videoaufnahme eines speziell geschalteten Monitors erfasst wurde: im Normalbetrieb werden Kameras zeitlich alternierend auf die Monitore geschaltet. Bild 3-6 illustriert einen Frame des Testvideos und die aus der Kameraperspektive durch automatische Videoanalyse detektierten Fahrzeuge (grüne Linien).



Bild 3-6: Videoframe eines abgefilmten Monitors, Kamerabild 12 und zwei automatisch detektierte Fahrzeuge (Video: Straßen.NRW)

Nach Rücksprache mit Straßen.NRW müsste für die digitale Archivierung der Videostreams eine Wandlung und Speicherung des Videosignals vor Ort (an der Video-Anlage im Betonhaus an der BAB 4) erfolgen. Die technische Umsetzbarkeit im Zusammenhang mit der veralteten Technik wurde durch die Projektbearbeitung überprüft. Dabei galt es zu beachten, dass Beeinträchtigungen der operativen Nutzung der Videoanlage ausgeschlossen sind. In der Folge wurde der technische und organisatorische Aufwand

für eine Nutzung dieses Abschnittes bzw. der Videoanlage abgeschätzt. Zwar wurde grundsätzlich eine technische Lösung<sup>14</sup> gesehen, doch der damit verbundene hohe technische und organisatorische Aufwand für die Software-Implementierung der digitalen Archivierung einer analogen Videoüberwachungsanlage sowie das hohe Risiko der Fehleranfälligkeit bei der kontinuierlichen Digitalisierung und Archivierung von Videoströmen über mehrere Wochen, führte zur Entscheidung, den Abschnitt auf der BAB 4 als mögliche Teststrecke für die Durchführung des Praxistests zu verwerfen.

### BAB 9 in Bayern

Mit dem Ziel, den Praxistests an einem weiteren möglichen Streckenabschnitt durchzuführen, bot sich eine potenzielle Teststrecke aus dem Projekt „Providentia: Proaktive Videobasierte Nutzung von Telekommunikationstechnologien in innovativen Autobahn-Szenarien“ an. Der jeweils ca. 600 m lange Streckenabschnitt (in beiden Fahrtrichtungen in Summe ca. 1,2 km) auf der BAB 9 in Bayern gehört zum „Digitalen Testfeld Autobahn A9“ und befindet sich zwischen der AS Garching Süd und dem Autobahnkreuz München-Nord. Die Zielsetzung von Providentia<sup>15</sup> ist es, dem Fahrer – und im Fall von hochautomatisierten Fahrzeugen dem Fahrzeug selbst – eine umfassende Vorausschau auf die Strecke zu geben. Dazu wurden im Rahmen des Projektes der Streckenabschnitt mit Kamertechnik und Radarsensoren an bestehenden Schilderbrücken ausgerüstet, deren Videodaten für einen weiteren Praxistest interessant erschienen.

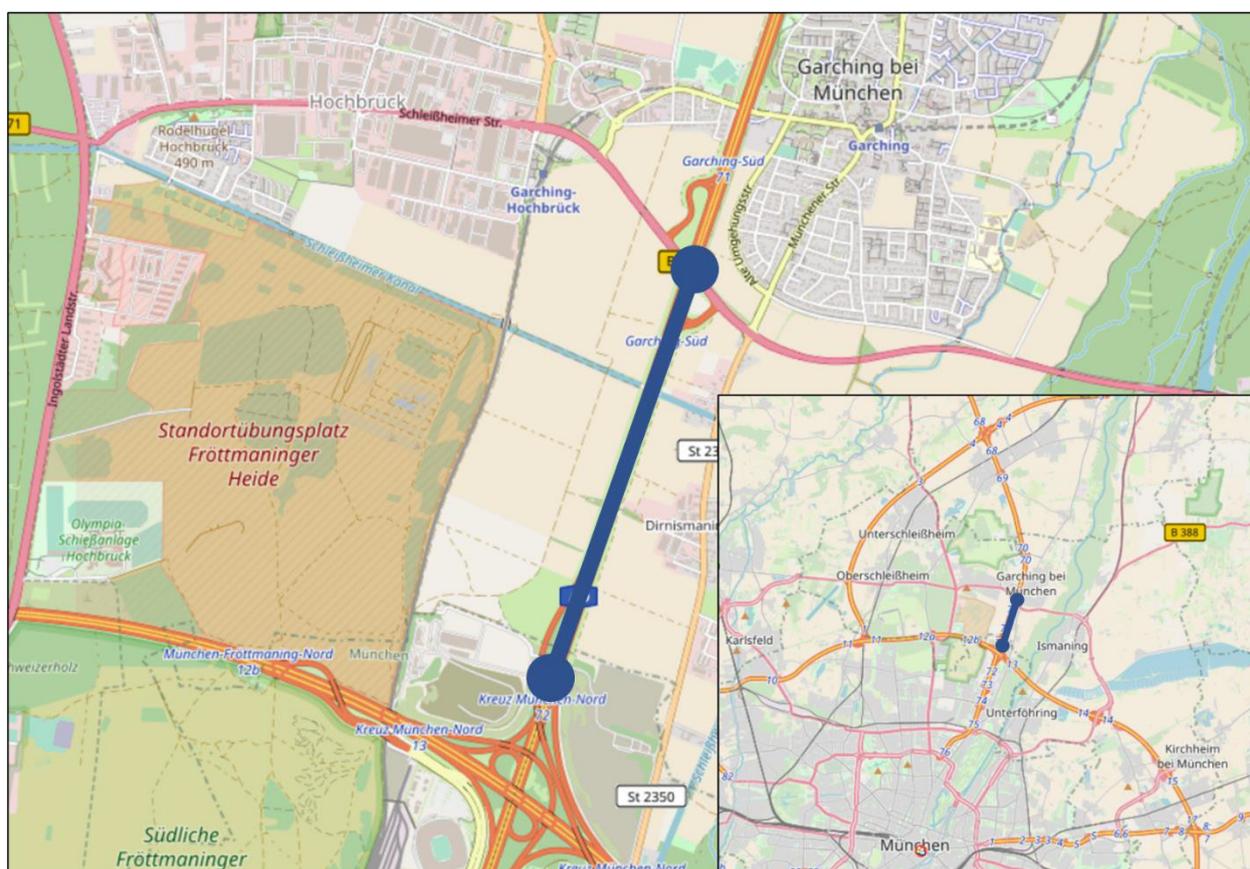


Bild 3-7: Abschnitt BAB 9 Bayern (eigene Darstellung auf Basis <https://www.openstreetmap.de/karte.html>; © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)

<sup>14</sup> Um die analogen Videosignale der Kameras abgreifen zu können, muss mittels PCs, Framegrabber-Karten zur Digitalisierung (inkl. einer vom Konsortium zu erstellenden Software zur Archivierung in Videodateien) und Festplatten das System hochgerüstet und vor Ort installiert werden. Um ein notwendiges Monitoring der Systeme zu gewährleisten, muss durch Mobilfunk (SIM-Karten, evtl. Antenne außerhalb des Betonhauses an der Strecke) eine remote Internetverbindung eingerichtet werden. Weiter muss beim Abgreifen der Videos auch der Zeitstempel mitaufgezeichnet werden, da dies derzeit nicht erfolgt. Da der Platz im Betonhaus auf der Strecke sehr begrenzt ist, darf die technische Lösung für das Abgreifen der Streams nur sehr klein dimensioniert sein. Zudem muss der technische Ausrüster seitens Straßen.NRW in das Projekt involviert werden, um zu garantieren, dass während des Tests die Kameras weiterhin Straßen.NRW zur Verfügung stehen.

<sup>15</sup> <https://www.fortiss.org/forschung/projekte/detail/providentia>

Nach mehrfachem Austausch mit der fortiss GmbH, dem Forschungsträger des Projektes Providentia gab es berechtigten Optimismus, dass die Providentia-Daten für das vorliegende Stauende-Projekt wertvoll sein könnten. Für den Fall keiner datenschutzrechtlichen Einschränkungen könnten Providentia-Daten an Dritte weitergegeben werden. Die in Providentia erzeugten Videodaten boten eine vergleichsweise hohe Auflösung an und waren auch hinsichtlich ihrer Positionierung auf dem Mittelstreifen in großer Höhe, als eine neue Perspektive für das zu entwickelnde Referenzsystem für den Praxistest interessant. Allerdings zeigte sich im Laufe der Gespräche, dass aufgrund der hohen Videoauflösung die Belange des Datenschutzes in den Vordergrund rückten. Eine Weitergabe originaler Videosequenzen an Dritte wurde somit durch fortiss und dem verantwortlichen Datenschutzbeauftragten widersprochen, auch wenn diese durch automatische Unkenntlichmachung des Kfz-Kennzeichens vorverarbeitet würde: Eine visuelle Erkennung von Fahrzeuginsassen ist grundsätzlich möglich. Einzig verblieb die Option, durch eine zu entwickelnde Software aus den speziell gespeicherten Einzelbildern der Anlage (so genannte ROS Bags) Videosequenzen zu erzeugen, die vor Weitergabe an Dritte in ihrer Auflösung durch fortiss stark reduziert werden. Für die Durchführung des geplanten Praxistests stand somit ein erhöhter Aufwand einem deutlich geringeren Nutzen gegenüber, so dass auf eine Nutzung der Providentia-Daten und die Durchführung des Praxistestes auf dem Abschnitt der BAB 9 verzichtet wurde.

### 3.3 Kooperation mit Datenanbietern

#### 3.3.1 Kooperationsbasis

Für die Durchführung des Praxistests konnten noch vor Projektbeginn vier namenhafte Anbieter von FCD als Projektpartner gewonnen werden. Neben der Rolle als FC-Datenlieferant bzw. von Daten über potenziell gefährliche Stauenden für einen noch festzulegenden Untersuchungsabschnitt und für eine noch festzulegende Untersuchungsdauer, wurde sich im Einvernehmen darauf verständigt, dass die Datenlieferanten auch sehr nah am Projektfortschritt Anteil nehmen sollten und als Mitglieder des forschungsbegleitenden Ausschusses der Projektbearbeitung und Fachbetreuung beratend begleiten.

Zudem wurde sich darauf verständigt, dass aus den Ergebnissen des Praxistests keine Rückschlüsse auf die Güte und Qualität der Daten der jeweiligen Anbieter zu schließen sind. Es soll anhand der gelieferten Daten kein Benchmark erfolgen. Folgende Unternehmen beteiligten sich am Projekt:

- TomTom Traffic B.V.
- HERE Technologies B.V.
- BE-MOBILE NV/SA
- INRIX UK Limited

Die im Projekt involvierten Datenanbieter bieten aktuelle Verkehrsinformationen als (Live-)Dienst an, der von einem Software-Client abgerufen werden kann, um Datenübertragungen von Rechnern des Datenbieters zum Client zu ermöglichen. Wo notwendig, wurden Lizenzvereinbarungen unterzeichnet.

Die Datenformate der Dienste sind sehr unterschiedlich:

- TomTom offeriert den „Jam Ahead Warning“ Dienst, mit einer Übermittlung von XML-(eXtensible Markup Language) Dateien gemäß Datex II Standard.
- HERE bietet den „TrafficML“ feed an, mit einer Übermittlung von XML-Dateien gemäß eigener Spezifikation.
- INRIX offeriert den „Dangerous Slowdowns“ Dienst, mit einer Übermittlung von XML-Dateien gemäß eigener Spezifikation.
- Be Mobile liefert „Jam Events“ im JSON (JavaScript Object Notation) Format, Stauende-Information wurden im Sommer 2019 noch nicht angeboten.

Ein Abgriff der Live-Dienste der Datenanbieter durch jeweils eigene Software-Implementierungen war für das Projekt grundsätzlich nicht notwendig, da die Evaluierung der Stauende-Meldungen im Praxistest offline erfolgte: Die Videostreams einer Teststrecke werden im Testzeitraum zuerst aufgezeichnet, übermittelt und zu einem späteren Zeitpunkt analysiert.

Es wurde angestrebt, dass die Datenanbieter die Stauende-Informationen für den Praxistest in Dateien zur Verfügung stellen, die die wesentliche Kerninformation über Stauenden enthalten:

- ID (Identifikationsnummer) des Stauendes

- Ort des Stauende in GPS Koordinaten (WGS84)
- Zeitpunkt des Stauendes

Diese Kerninformationen bildeten die Basis für die Evaluierung im Praxistest. Zusätzliche Informationen wie Geschwindigkeitsprofile bieten für die Ziele des Praxistests keinen Mehrwert, da nur die Stauende-Meldungen die Basis der Auswertung sind. Es war also nur von Interesse, ob relevante Stauende-Ereignisse im Rahmen der definierten Toleranzen gemeldet wurden oder nicht gemeldet wurden. Nach dem Blackbox-Prinzip soll nur das äußere Ergebnis beobachtet werden, und nicht das innere Verhalten. Geschwindigkeitsprofile oder andere Informationen als Basis für Stauende-Ereignisse und die darauf basierenden Algorithmen sind zudem in der Regel Betriebsgeheimnisse, die von den Datenanbietern nicht weitergegeben werden.

Nachdem absehbar war, dass für die Durchführung des Praxistests wohl ausschließlich der Abschnitt auf der BAB 81 bei Ludwigsburg in Baden-Württemberg zur Verfügung stehen würde, meldeten bereits einzelne Datenanbieter zurück, dass auch anhand ihrer Daten dort regelmäßig Stauende-Meldungen erzeugt werden. Insofern zeigte sich auch aus Sicht der Datenanbieter dieser Abschnitt als günstige Teststrecke für die Durchführung des Praxistests.

### **3.3.2 Anonymisierung**

Die Evaluierung der Qualität von Stauende-Meldungen erfolgte für jeden Datenanbieter durch den individuellen Vergleich mit den extrahierten Informationen aus dem verfügbaren Videomaterial. Die Ergebnisse dieser individuellen Evaluierungen der Datenanbieter unterliegen der Geheimhaltung und werden nicht veröffentlicht. Eine Gesamtbetrachtung der Evaluierungsergebnisse wird nur in anonymisierter Form an die Bundesanstalt für Straßenwesen als Forschungsgeber und an die Datenanbieter weitergegeben, die keinerlei Rückschlüsse auf die individuellen Datenanbieter ermöglicht. Der Praxistest im Rahmen dieser Beauftragung dient dem Machbarkeitsnachweis einer Evaluierung im Rahmen einer zukünftigen Ausschreibung, eine Rangliste wird erst im Rahmen dieser Ausschreibung relevant sein.

## **3.4 Detailkonzept für das Referenzsystem**

Allgemein benötigen Qualitätsanforderungen an Stauende-Daten eine Referenz als Vergleichsbasis. Die Referenz sollte der Realität entsprechen und das „wahre“ Stauende repräsentieren. Die Qualität von über FCD erfassten Stauende-Daten wird stichprobenhaft durch Vergleichsmessungen geprüft. Die dazu erforderlichen Referenzdaten werden aus zeitlich synchronisierten Videoaufzeichnungen heraus gewonnen.

### **3.4.1 Organisatorisches Konzept**

Die Zusammenarbeit mit den Infrastrukturbetreibern und den Datenanbietern wurde im Vorfeld der Durchführung des Praxistests abgestimmt und der grundsätzliche Untersuchungsansatz vorgestellt. Bild 3-8 skizziert den Untersuchungsansatz.

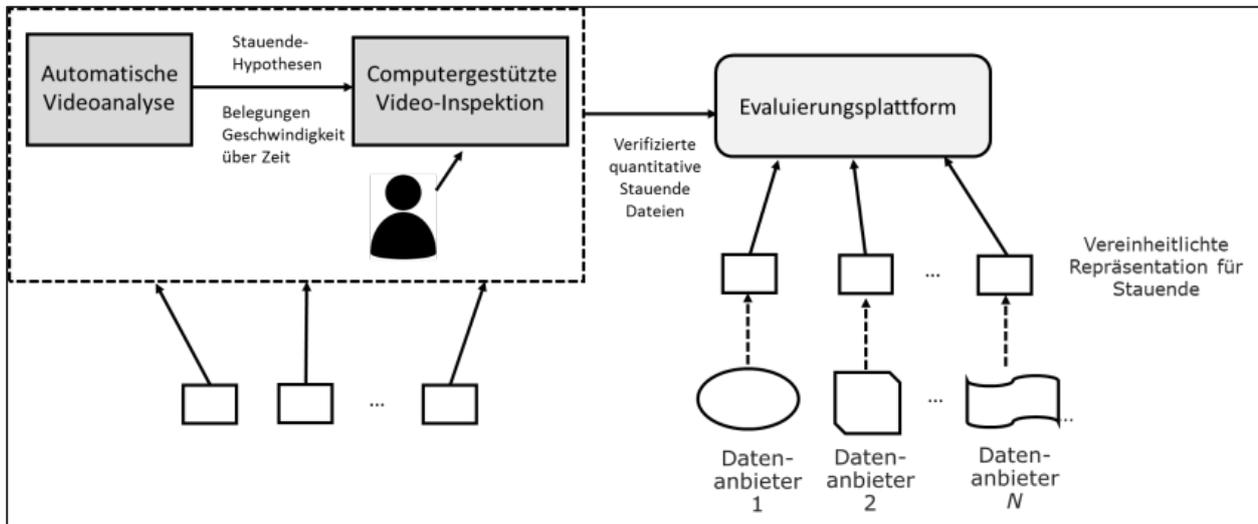


Bild 3-8: Konzept des Untersuchungsansatzes

Innerhalb der Zusammenarbeit wurde sich auf ein Vorgehenskonzept verständigt, welches sich mit folgenden Aufgaben und Verantwortlichkeiten zusammenfassen lässt.

### Analyse Videodaten der Infrastrukturbetreiber

Als Grundlage für die Stauende-Berechnung dienten Videoaufzeichnungen mehrerer Kameras an der Teststrecke der BAB 81. Nach Festlegung drei aufeinanderfolgender Kameraquerschnitte erfolgte durch die SVZ BW für den festgelegten Untersuchungszeitraum die Aufzeichnung der Videostreams und das Erzeugen entsprechender Videodateien. Diese wurde auf mehreren Festplatten abgelegt und durch die SVZ BW der Projektbearbeitung zu Verfügung gestellt. Durch die Projektbearbeitung erfolgte anschließend eine automatische Analyse der Videodateien, um potenzielle Stauenden zu ermitteln. Daran anschließend folgte in einem zweiten Analyseschritt eine computergestützte Videoinspektion zur Betrachtung der automatisch ermittelten Zeitpunkte mit potenziellen Stauenden, so dass über die visuelle Betrachtung ein hartes Stauende bestätigt oder verworfen werden konnte.

### Stauende-Meldungen der Datenanbieter

Die Meldungen über Stauenden auf der Teststrecke, insbesondere die Kerninformationen (Ort, Zeit, Stau-ID), wurden von Seiten der Datenanbieter im Nachgang des Untersuchungszeitraums der Projektbearbeitung in unterschiedlichem Aufbereitungsgrad durch digitale Kommunikationswege zur Verfügung gestellt: entweder Textdateien mit den aufbereiteten gewünschten Kerninformationen oder Sammlung der Herstellermeldungen des Untersuchungszeitraums im jeweils proprietären Format, aus dem durch die Projektbearbeitung die relevanten Kerninformationen mittels automatischer Verarbeitung extrahiert wurden.

### Evaluierungsplattform

Durch die Projektbearbeitung wurden die Stauende-Informationen der Datenanbieter mit den Stauende-Informationen aus der Videoinspektion verschnitten, um die in Tab. 2-6 ff definierten Qualitätsindikatoren zu berechnen. Die Evaluierung erfolgte durch Verarbeitung der Stauende-Meldungen der Datenanbieter und der Dateien aus der visuellen Inspektion mit der Programmiersprache Python.

#### 3.4.2 Vorgehen und Technologie zur Referenzprüfung

Für die Erzeugung von Referenzdaten werden die Bilder der Verkehrskameras entlang der Teststrecke automatisiert ausgewertet und manuell verifiziert. Die Referenzdaten zur Stauende-Detektion werden mittels eines semiautomatischen Verfahrens gewonnen:

- Eine automatisierte Videoanalyse extrahiert aus aufgezeichneten Videodaten der Teststrecke mögliche Kandidaten für sogenannte „harte“ Stauenden (vgl. Kap. 3.1). Dadurch können die vielen Stunden Videoaufzeichnung auf wenige kompakte Zeitabschnitte reduziert werden, was die manuelle Kontrolle vereinfacht.

- Eine Software zur visuellen Annotation der eingangs berechneten Stauende-Daten dient einem Operator zur visuellen Kontrolle. Der Operator erzeugt so eine gesicherte verifizierte Referenz an Stauende-Daten. Die Software zur manuellen Kontrolle wurde aus einer bestehenden Anwendung der Projektbearbeitung abgeleitet, welche bereits für sehr ähnliche Aufgabenstellungen eingesetzt wurde. Zur Sicherstellung der Kompatibilität mussten lediglich die importierten Datenformate angepasst werden.

Die von der SVZ BW erhaltenen Videodaten sind von niedriger Auflösung und daher bezüglich des Datenschutzes unkritisch, da weder Personen noch Kennzeichen erkannt werden können. Der Nachteil dieser Videodaten ist jedoch eine eingeschränkte Messgenauigkeit. Die praktische Grenze für Referenzmessungen liegt bei ca. 100 m Abstand zur Kamera und ist abhängig vom Blickwinkel auf die Fahrbahn bzw. dem Blickfeld der Kamera. Zudem musste berücksichtigt werden, dass die Kameras die Teststrecke nicht durchgehend abdecken. Es können also Lücken in den Messdaten auftreten. In diesen Lücken können die Daten der Datenanbieter nicht zu einem Vergleich verwendet werden.

Die folgenden Arbeitsschritte beinhalten die Vorgehensweise bei der automatisierten Stauende-Detektion und werden nachfolgend im Detail beschrieben:

1. Offline Kalibration der Kameras – Georeferenzierung aller Kamerabilder auf eine Karte.
2. Aufzeichnung der Testdaten von 18. Oktober 2019 bis zum 08. Dezember 2019.
3. Offline Videoanalyse der Videodaten – Fahrzeugdetektion, Tracking und Geschwindigkeitsmessung. Das Tracking erfolgte nicht kameraübergreifend.
4. Analyse der Geschwindigkeitsprofile der Fahrzeuge, um Kandidaten für harte Stauenden zu ermitteln.
5. Manuelle Kontrolle und Bewertung der berechneten Daten – Referenzmessungen durch Videoinspektion.

### Kamera Kalibration

Die Kalibration der Kameras diente dem Zweck, das Bild jeder Kamera entlang der Teststrecke zu verorten um absolute Messungen durchführen zu können. Dafür wurden anhand von Bildmerkmalen (bspw. den Fahrbahnmarkierungen) Korrespondenzen zwischen Kamerabild und einem Satellitenbild hergestellt. Für die Tests wurden durchgehend Luftbildaufnahmen durch Google Maps als Referenz herangezogen. Alle verwendeten Kameras werden für die Tests in dieselbe Satellitenkarte verortet.

Bild 3-9 zeigt ein Videobild der Teststrecke BAB 81. Die Videodaten besitzen eine Auflösung von 720 x 576 Bildpunkten. Mit dieser Auflösung ist eine sichere Verortung auf maximal ca. 100 m Distanz möglich. Für größere Abstände werden die Ungenauigkeiten bei der Geschwindigkeitsmessung aufgrund der geringen Bildqualität zu groß.



Bild 3-9: Kamerabild der Teststrecke BAB 81 (Quelle SVZ BW)

### Fahrzeugdetektion und Tracking

Im Anschluss an die Kalibration der Kamera werden aus den aufgezeichneten Videodaten vollautomatisch in jedem Videoframe die Fahrzeuge detektiert und über die Zeit verfolgt (Tracking). Der Detektor kann grundsätzlich Fahrzeugtypen unterscheiden (PKW, LKW, Bus, Lieferwagen, Motorrad).

Für jedes Fahrzeug wird ein umschreibendes Rechteck berechnet (Bild 3-10). Die Mitte der Unterkante dieses Rechtecks wird als gemessene Position registriert. Die gemessene Position wird für die Berechnung der Kartenkoordinaten in allen weiteren Schritten verwendet.

Die im Video aufeinanderfolgenden Fahrzeugpositionen werden zu Trajektorien verbunden (Bild 3-10 zeigt typische Trajektorien auf der BAB 81). Über die Bewegung des Fahrzeugs und mittels Mustervergleich wird versucht, Verdeckungen zu erkennen und auszuschließen. Vor allem LKW auf dem rechten Fahrstreifen können links fahrende Fahrzeuge verdecken (Abschattung) und für einige Sekunden ausblenden.

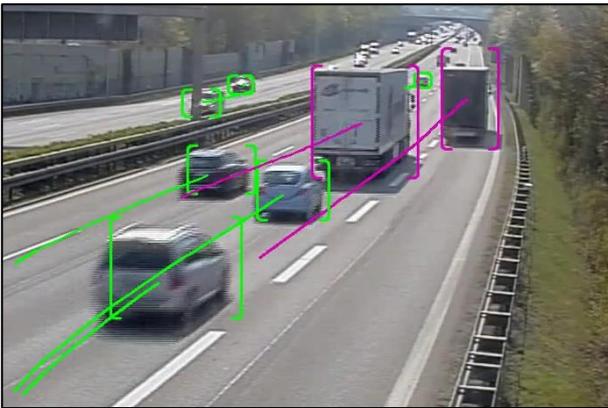


Bild 3-10: Fahrzeugtrajektorien nach dem Tracking – die Farbcodes stehen für unterschiedliche Fahrzeugtypen

Die Detektion und Position der Fahrzeuge sind durch die Abschattung nicht vollkommen fehlerfrei (siehe Bild 3-11). Dies erschwert die automatische Videoanalyse zusätzlich zu den bereits genannten Schwierigkeiten aufgrund der geringen Auflösung, vor allem in größeren Distanzen zur Kamera. Plausibilitätsprüfungen während der Berechnungen und Messungen waren daher zwingend erforderlich, um bereits vor der Verarbeitung der Rohtrajektorien fehlerhafte Detektionen zu erkennen und zu verwerfen.



Bild 3-11: Okklusionen durch LKW können für mehrere Sekunden Messdaten verfälschen bzw. invalidieren

### Geschwindigkeitsmessung

Die gefundenen Trajektorien konnten mit Hilfe der Kamera-Kalibration direkt in den Luftbildern verortet werden. Damit wurden Positionsdaten in metrischen Koordinaten innerhalb der Karte verfügbar. Nachdem die Bildrate der Kamera sehr gut definiert ist, kann für jede Position auch ein exakter relativer Zeitpunkt berechnet werden. In Summe wurde somit eine Geschwindigkeitsmessung aus den Bildkoordinaten, dem bekannten Timing und der Kalibration möglich. In der Auswertesoftware konnten anschließend für jedes Kamerabild alle Fahrzeuge, deren Position und deren Geschwindigkeit erzeugt und gespeichert werden.

Für die Videos aus dem Untersuchungsbereich wurde über das beschriebene Verfahren eine umfassende Sammlung an Messdaten in einem 40 Millisekunden Zeitraster erfasst, d. h. für jedes sichtbare Fahrzeug

werden in diesem Zeitraster Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet und analysiert. Pro Kamera und Tag ergeben sich so Millionen an Messpunkten, die im Projekt ausgewertet wurden.

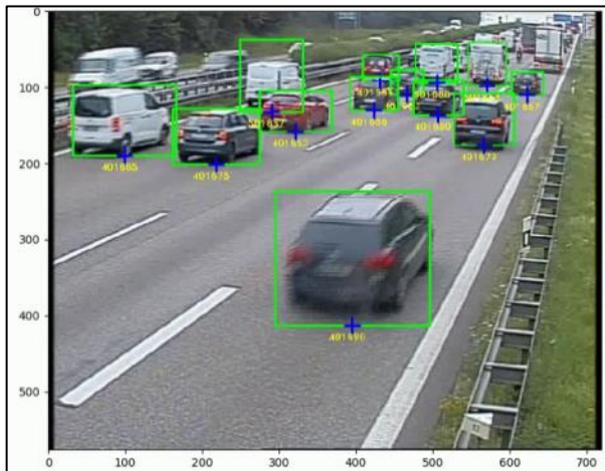


Bild 3-12: Fahrzeugdetektion für die Verortung und Geschwindigkeitsmessung Jedes Fahrzeug erhält eine eindeutige (anonymisierte) Identifikationsnummer. Die oben dargestellten Visualisierungen zeigen die Detektionsregion in Grün, den für die Geschwindigkeitsmessung verwendeten Punkt am Fahrzeug in Blau, und die Fahrzeug ID in Gelb. Diese Daten sind nach der Berechnung auch offline für weitergehende Analysen verfügbar.

### Stauende-Detektion

Die Detektion von harten Stauenden erfolgt anhand der (offline) berechneten Messdaten der Fahrzeuge. Zwischen den Fahrzeugklassen wurde nicht unterschieden. Im Sinne der Definition des „wahren“ Stauendes (siehe Kap. 3.1) zeigte sich die direkte Analyse von Geschwindigkeitsprofilen als das günstigste Verfahren, insbesondere auch weil diese Methode Abbremsvorgänge direkt erkennt und somit die Detektion eines harten Stauendes am besten umgesetzt werden konnte.

### Analyse von Geschwindigkeitsprofilen

Für jedes getrackte Fahrzeug waren Positionen und dazugehörige Geschwindigkeiten bekannt. Dieses Profil wurde auf die Kriterien für harte Stauenden untersucht (insbesondere eine starke Geschwindigkeitsreduktion innerhalb einer bestimmten Zeit bzw. Distanz, wobei die vorausfahrenden Fahrzeuge eine deutlich niedrige Geschwindigkeit haben mussten). Wurden in einem Zeitraum mehrere kritische Geschwindigkeitsprofile detektiert, stellte dies einen deutlichen Hinweis auf ein hartes Stauende dar.

Bild 3-13 illustriert das implementierte Verfahren für Erkennung von kritischen Geschwindigkeitsprofilen. Die maximale Differenz der Geschwindigkeit eines Fahrzeuges über den beobachteten Zeitraum wurde berechnet. Bei Überschreitung eines Grenzwertes wurde das Geschwindigkeitsprofil als starkes Bremsmanöver erkannt und vermerkt.

Als zusätzliches Filterkriterium wurde ein Bremsmanöver nur dann vermerkt, wenn in einem Zeitraum von 30 s vor dem Bremsmanöver mindestens drei Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit < 30 km/h beobachtet wurden.

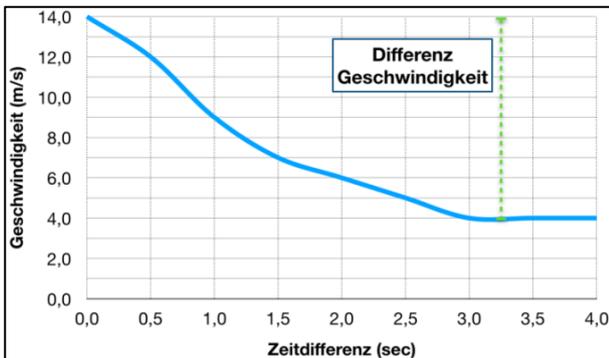


Bild 3-13: Analyse des Geschwindigkeitsprofils von Fahrzeugen

Vor dem endgültigen Einsatz des oben beschriebenen Verfahrens wurde ein 30-minütiges Test-Video einer Kamera der Teststrecke auf der BAB 81 ausgewählt und durchgerechnet. Die Ergebnisse dieses Testlaufes wurden dazu verwendet, die Verfahrensschritte im Detail zu verbessern und die Methodik zu verifizieren.

Mit der endgültig definierten Algorithmik wurde anschließend die Referenzvideos der Kameras K56, K57 und K58 durchgerechnet. Der aus den Roh-Videos extrahierte Datensatz enthält nur mehr wenige detektierte Ereignisse pro Tag und reduziert so den Arbeitsaufwand der manuellen Verifikation drastisch.

### Manuelle Kontrolle und Bewertung – Ground Truth durch Videoinspektion

Für die computergestützte Videoinspektion wurde ein Annotationstool bzw. Event Viewer entwickelt. Dabei handelt es sich um eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) mit Kalibrationsinformation in der Google-Maps Karte, mit der die berechneten Events (d. h. Kandidaten für ein hartes Stauende) einfach und schnell angesehen werden können (siehe Bild 3-14). Der Viewer erlaubt dem Benutzer:

- Schnelles Navigieren in den Videodaten
- Das schnelle Springen zu allen detektierten Ereignissen
- Vermessung von Positionen innerhalb der Google-Maps Karte für die Verortung von Ereignissen
- Bestätigung oder Verwerfen von Ereignissen

Tracker ID	Frame	Acceleration, m/s <sup>2</sup>	Delta V, km/h	Lane	Hypothese state
1 403614	21168	-8,98084	34,9175	lane_3	Videoanalyse
2 408697	49670	-7,28764	30,4332	lane_1	Videoanalyse

Bild 3-14: Screenshot des Annotationstools: beliebiges Scrollen im Video ist möglich, Anzeige aller Ereignisse (Bremsvorgänge und Detektionen) als rotes Kreuz; Distanzen und metrische Koordinaten können vermessen werden

## 4 Durchführung des Praxistests

### 4.1 Vorbereitende Maßnahmen

#### 4.1.1 Kamerastandorte und Videoaufzeichnung

Um den Aufwand bezüglich Datenmenge und -speicherung für den Straßenbetreiber handhabbar zu halten, wurde von der SVZ BW in der Konzeptphase für den Praxistest darauf hingewiesen, dass von den acht vorhandenen Kameras für den Praxistest nur drei der Kameras verwendet werden können. Es wurden drei aufeinanderfolgende Kameras K8156, K8157 und K8158 ausgewählt, deren Blickfelder in Bild 4-1 bis Bild 4-3 zu sehen sind. Im Folgenden werden die Kameras auch als K56, K57 und K58 bezeichnet. Da die Überwachungskameras sichtbares Licht erfassen (und nicht etwa thermisches Infrarot für Aufnahmen bei Dunkelheit), wurden als Untersuchungszeitraum die Sommermonate 2019 geplant, um die täglichen Auswertezwischenräume zu maximieren und auch Hauptverkehrszeiten in den Morgenstunden und Abendstunden auswerten zu können. Da jedoch bis September 2019 mehrere Baustellen im Untersuchungsabschnitt eingerichtet waren, verzögerte sich die Videoaufzeichnung bis zum Oktober 2019.



Bild 4-1: Blickfeld Kamera K8156



Bild 4-2: Blickfeld Kamera K8157



Bild 4-3: Blickfeld Kamera K8158

Im Blickfeld von Kamera 8157 (Bild 4-2) ist auch die Überkopf-Anzeige AQ S09, deren aus Radarsensoren gemessene Verkehrsdaten und geschaltete Anzeigen im Projekt verwendet werden konnten. Für den Test wurden die Kameras auf einer für das Projekt optimierten „Home Position“ ausgerichtet.

Die Videostreams der Kameras wurden durch einen Direktzugriff auf das Videosystem digital archiviert und jeweils nach einer Woche auf einer externen Festplatte gespeichert und der Projektbearbeitung, nachdem die Festplatte voll war, übermittelt und damit zur Verfügung gestellt. Zu diesem Zweck wurden zwei externe 4 TB große Festplatten für die SVZ BW angeschafft. Die Videostreams jeder Kamera wurden in jeweils 1GB große Dateien à 34:56 Minuten aufgeteilt. Im Dateinamen ist der Zeitstempel zur Startzeit der Videosequenz angegeben, sodass für jedes Video-Einzelbild (Frame) ein korrekter Zeitstempel berechnet werden konnte.

Die Kameraeinstellungen (vor allem Bildauflösung) sind im operativen Betrieb bereits so gewählt, dass keine personenspezifischen Merkmale erkennbar sind. Die Standorte und die Nutzung der Videostreams für das Projekt wurden durch die SVZ BW mit dem Landesdatenschutzbeauftragten des Landes Baden-Württemberg abgestimmt. Alle datenschutzrechtlichen Aspekte wurden mit einem unterzeichneten Datenüberlassungsvertrag geregelt.

Die Autobahnmeisterei und die Polizei wurden seitens der SVZ BW informiert, dass die Kameras im Untersuchungszeitraum für ein Forschungsvorhaben Daten aufzeichnen und daher eine möglichst wenig anderweitige Nutzung der Kameras in Stauzeiten erfolgen sollte.

Um von der Teststrecke auch die Verkehrsmeldungen zu erhalten, wurden die zuständigen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der „Landesmeldestelle für den Verkehrswarndienst“ in Baden-Württemberg kontaktiert, um Warnmeldungen über Stauerscheinungen zu erhalten. Diese Verkehrsmeldungen wurden nach dem Ende des Testzeitraums geliefert und ergänzten die videobasierte Erhebung von Referenzdaten.

Eine interessante Informationsquelle konnte auch durch die Anschaffung der Daten der SBA gewonnen werden. Da die Kamera 57 eine direkte Sicht auf diesen Querschnitt hat (vgl. Bild 4-2) konnten die Anzeigen der SBA und die durch Radar gemessenen Verkehrsdaten (Fahrzeugzählungen und Geschwindigkeiten pro Fahrstreifen) in die Auswertung inkludiert werden, insbesondere zur Validierung von Geschwindigkeitsmessungen durch die automatische Videoanalyse.

Die Datenaufzeichnung wurde in der KW42/2019 am Freitag, 18.10.2019 gestartet und dauerte mehr als sieben Wochen bis Sonntag, 08.12.2019, also insgesamt 52 Tage.

Aufgrund technischer Probleme funktionierte die Datenaufzeichnung der Kamera 8156 nur selten. Somit konnten für diese Kamera nur an 15 von 52 Tagen die Videos ausgewertet werden. Bei den anderen Kameras wurden – bis auf wenige Ausnahmen – vollständige Daten übermittelt und somit an allen Tagen an Zeiträumen mit Tageslicht analysiert.

#### 4.1.2 Lieferung der Stauende-Meldungen durch die Datenanbieter

Durch regelmäßigen Austausch mit den Datenanbietern und deren Vertretern im forschungsbegleitenden Betreuerkreis wurden sämtliche Aspekte rund um die Datenlieferung (z. B. Datenformat, Teststrecken, Zeitfenster) festgelegt. Gegenwärtig arbeitet jeder Datenanbieter mit eigenen Standards, die eine einheitliche Verfahrensweise (z. B. Datex II) nicht zulassen.

Es wurde vereinbart, dass jeder Datenanbieter die Kern-Informationen seiner Stauenden (Ort, Zeit, Stau-ID) für den relevanten geographischen Bereich im Evaluierungszeitraum in eine oder mehrere Dateien überführt und diese dem Auftragnehmer übermittelt.:

- **HERE** lieferte die aufbereiteten „TrafficML“ Informationen Anfang 2020 in einer csv-Textdatei.
- **INRIX** lieferte ihre „Dangerous Slowdown“ Events in einzelnen JSON-Dateien<sup>16</sup>. Da archivierte Informationen von INRIX das betreffende Straßensegment beschreiben, nicht aber den genauen Ort (GPS-Koordinaten) des Ereignisses, wurde für die Dauer des Praxistests von INRIX eine eigene Archivierung durchgeführt, die die für eine Evaluierung notwendige Ortsinformation enthalten.
- **TomTom** archiviert Informationen für jedes ihrer Produkte für zwei Jahre, sodass im Nachhinein für wenige Strecken die relevanten Informationen in einem einfachen Format zur Verfügung gestellt werden können. Die „Jam Ahead Warnings“ wurden Anfang 2020 in einer csv-Textdatei zur Verfügung gestellt.
- **Be Mobile** hat im dritten Quartal 2019 mit der Entwicklung von plötzlichen Stauende-Warnungen begonnen, daher konnten sie nur herkömmliche „normale“ Stau-Informationen übermitteln (einzelne JSON-Dateien). Im Rahmen des Praxistests wurden daher die Enden der BeMobile Staumeldungen berücksichtigt.

Bild 4-4 bietet einen (anonymisierten) Überblick der Meldungen der vier Datenanbieter auf der gesamten Teststrecke im zeitlichen Verlauf (die Reihenfolge entspricht nicht obiger Auflistung). Dreiecke symbolisieren den Meldungsverlauf mit eigener Stau-ID. Ein Datenlieferant hat keine explizite ID geliefert, diese lässt sich jedoch implizit durch zeitliches Clustern bestimmen.

---

<sup>16</sup> JavaScript Object Notation, Austauschformat, [https://de.wikipedia.org/wiki/JavaScript\\_Object\\_Notation](https://de.wikipedia.org/wiki/JavaScript_Object_Notation)

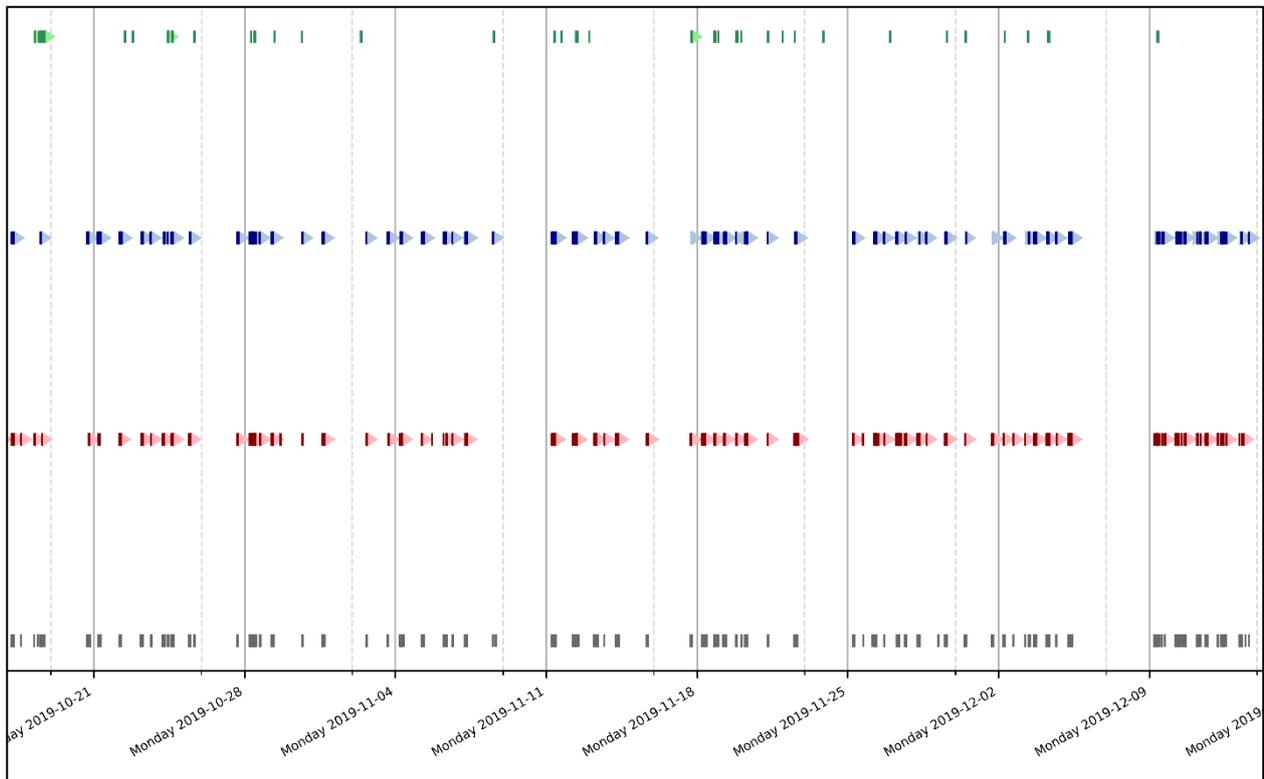


Bild 4-4: Zeitlicher Überblick der Datenanbieter-Meldungen auf der gesamten Teststrecke. Bereiche zwischen vertikalen strichlierten Linien und durchgehenden Linien sind jeweils Wochenendzeiträume Samstag-Sonntag.

### 4.1.3 Automatische Videoanalyse

Die Fahrzeug-Geschwindigkeitsmessung der automatischen Videoanalyse zwecks Berechnung von Kandidaten für das „wahre“ Stauende gemäß den Kriterien in Bild 3-2 wurde im Rahmen der Vorbereitungsphase optimiert, um möglichst genaue und konsistente Messwerte zu erhalten und Fehldetektionen durch Verdeckungen von Fahrzeugen im Kamerablickfeld so früh wie möglich herausfiltern zu können. Im Rahmen dieser Optimierung wird jede erfasste Fahrzeugtrajektorie mit folgenden Plausibilitätskriterien auf Gültigkeit untersucht:

1. Distanz zur Kamera zwischen ca. 10-90 m
2. Eine kontinuierliche Fahrzeugtrajektorie von mindestens 2 Sekunden
3. Keine Ausreißer im Geschwindigkeitsprofil (unrealistisch hohe Beschleunigungswerte als Hinweis auf Verdeckungen)
4. Mindestgeschwindigkeit von 20 km/h
5. Nur PKW werden berücksichtigt; keine LKW, da keine saubere Fahrzeugdetektion von LKW möglich durch Einschränkungen im Sichtfeld der Kamera

Um die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessungen durch die automatische Videoanalyse zu validieren, wurden die Messdaten aus dem Videomaterial von Kamera 57 mit Referenzdaten aus einer unabhängigen Datenquelle verglichen: im Blickfeld von Kamera K57 befindet sich eine VBA (Bild 4-2), deren Radar-Messdaten Geschwindigkeitsprofile und Zählungen jeweils getrennt für PKW und LKW mit 15 Sekunden Auflösung liefern.

Die Messdaten der VBA konnten direkt mit den Videomesstungen synchronisiert und abgeglichen werden. Für den Vergleich der Geschwindigkeitsmessungen wurden die Differenzen zwischen den Radarmessungen und Videomesstungen analysiert und gegenübergestellt.

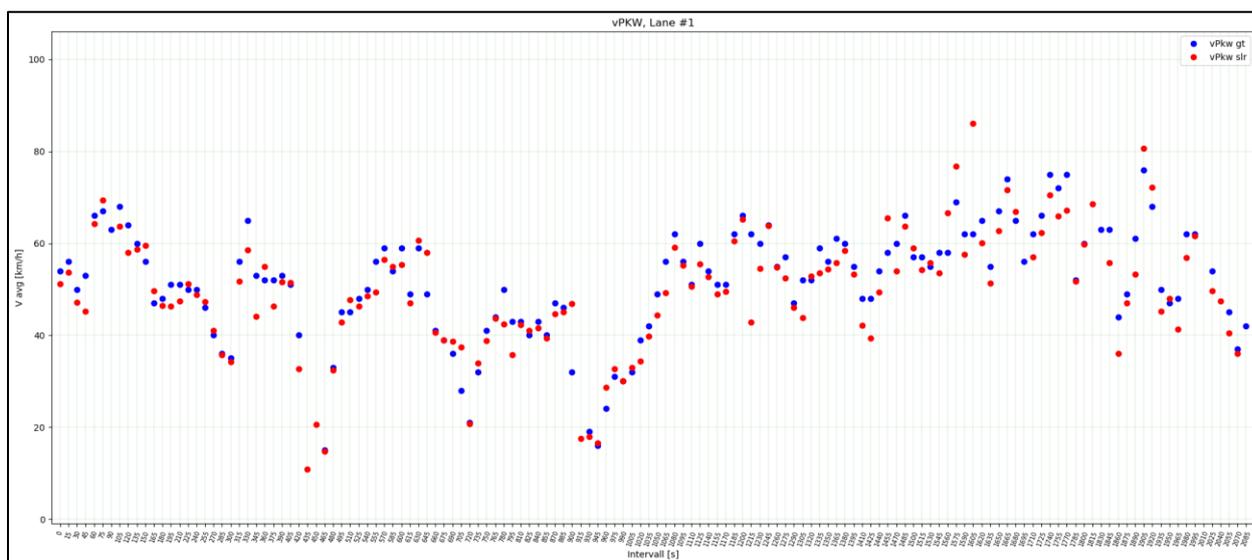


Bild 4-5: Geschwindigkeitsmessung an der VBA für Fahrstreifen 1, Radarmessung (blau) und Videomessung (rot) für einen Zeitraum von 34 Minuten.

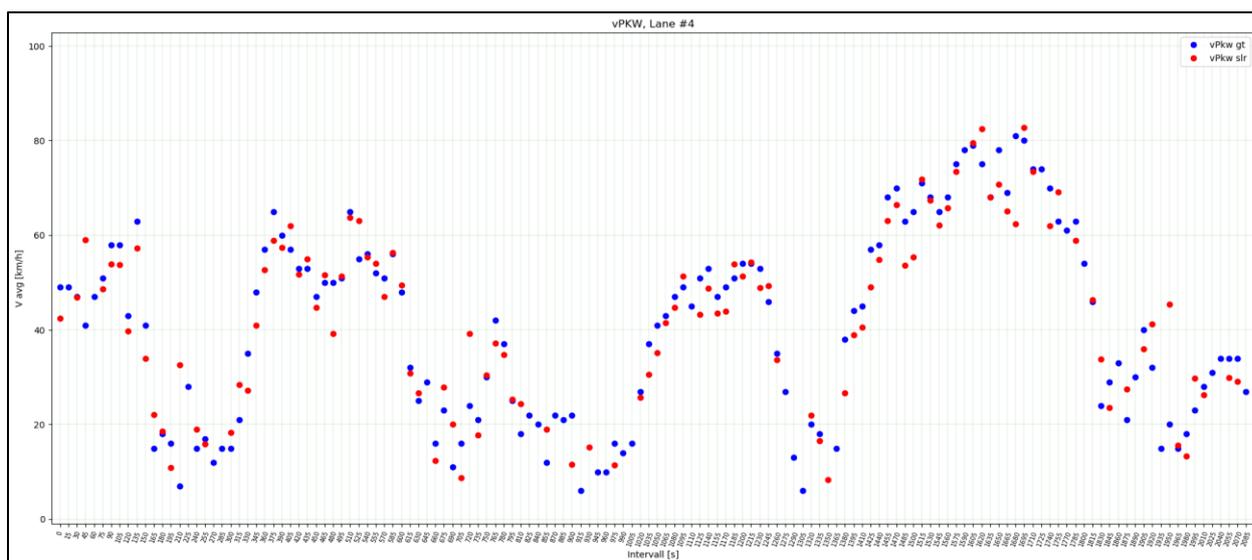


Bild 4-6: Geschwindigkeitsmessung an der VBA für Fahrstreifen 4, Radarmessung (blau) und Videomessung (rot) für einen Zeitraum von 34 Minuten.

Bild 4-5 und Bild 4-6 vergleichen die beiden Geschwindigkeitsmessungen in einem Zeitraum von 34 Minuten. Die Abweichung der Messwerte liegt in einem Bereich von ca.  $\pm 7$  km/h. In Anbetracht der relativ geringen Qualität und Auflösung der Videodaten ist diese Abweichung akzeptabel und für die Messung von Bremsvorgängen ausreichend. Allerdings ist zu beachten, dass die oben aufgelisteten Filterkriterien den Umfang der Referenzdaten trotzdem reduzieren, insbesondere Kriterium 1 (Analyse nur entlang einer Strecke von 80 m) und Kriterium 4 (Berücksichtigung nur von PKW).

#### 4.1.4 ADAC-FCD

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde durch den ADAC angeboten, ADAC-FCD als zusätzliche Datenquellen den Teststrecken zur Verfügung zu stellen. Die FCD könnten evtl. als Ergänzung zu den Videodaten dienen, insbesondere in den Bereichen, die nicht von Kameras erfasst wurden. Im August 2019 wurden der Projektbearbeitung Testdaten im Gebiet der Gemeinden Ludwigsburg, Asperg und Möglingen für den Juli 2019 geschickt (.csv-Datei). Der Datensatz umfasste ca. 690.000 Positionsmeldungen zwischen 3. Juli bis 31. Juli, im Mittel daher eine Stichprobe des Verkehrs von 17 GPS-Positionsmeldungen pro

Minute auf der gesamten Teststrecke. Die Bestimmung eines harten Stauendes ist definiert durch einen starken Geschwindigkeitsabfall von Fahrzeugen innerhalb weniger Sekunden, kombiniert mit langsamem Vorgängerverkehr (vgl. Bild 3-1). Aufgrund der geringen Durchdringungsrate wurde die Entwicklung einer eigenen Stauende-Kandidatengenerierung auf Basis von ADAC-FCD daher verworfen. Zudem ginge bei der Entwicklung eines eigenen Verfahrens zur Stauende-Berechnung auf Basis FCD-Stichproben der Referenzdaten-Charakter aus einer unabhängigen Datenquelle verloren (z. B. als weiterer Eintrag in Bild 4-4), und die Bestimmung der Trefferrate (Anteil der von einem Datenanbieter gemeldeten Stauenden an der Menge der tatsächlich vorgekommenen harten Stauenden) wäre aus FCD nicht zuverlässig zu bestimmen. Weiter integrieren Datenanbieter auch vermehrt ergänzende, z. B. fahrzeugeitige Datenquellen in ihre FCD-basierten Algorithmen.

## 4.2 Erhebung von Stauende-Referenzdaten

Der Beobachtungszeitraum erstreckt sich von Fr, 18.10.2019 bis So, 08.12.2019 (siehe Abschnitt 4.1.1). Dieser Abschnitt beschreibt den Prozess der Gewinnung von Referenzdaten aus automatischer Videoanalyse, computergestützter Videoinspektion und ergänzenden Datenquellen.

### 4.2.1 Automatische Videoanalyse

Die automatische Videoanalyse berechnet in einer Videodatei die Fahrzeuggeschwindigkeiten und darauf basierend potenzielle Kandidaten für harte Stauenden: Stauende-Kandidaten sind definiert durch ein Ereignis, bei dem der vorausfahrende Verkehr eine **Geschwindigkeit von <30 km/h** aufweist, und die **Geschwindigkeitsdifferenz des Fahrzeugs  $v > 30$  km/h** ist (vgl. Bild 3-2). Für jede analysierte Videodatei werden als Ergebnis der automatischen Videoanalyse folgende Histogramme gespeichert:

- **Langsame Kfz pro Minute als Absolutzahl und als Prozentsatz:** Diese Histogramme illustrieren die auf Minuten aggregierte Anzahl bzw. den Prozentsatz an „langsamen“ Fahrzeugen pro Minute, also Fahrzeuge mit Geschwindigkeiten kleiner als 30 km/h **im Analysebereich von 80 m**. Langsame Fahrzeuge geben darüber Aufschluss, ob ein hartes Stauende (Auffahren von schnellen Fahrzeugen auf eine Vielzahl an langsamen Fahrzeugen) auf der Fahrtstrecke zu einem Zeitpunkt überhaupt möglich ist. Bild 4-7 zeigt ein Beispiel für ein Histogramm mit Absolutzahl an langsamen Fahrzeugen.
- **Anzahl an Kandidaten (pro Fahrstreifen und gesamt) pro Minute:** Diese Histogramme zeigen – auf Minuten aggregiert – alle Kandidaten in einem Video, die mit einer Geschwindigkeitsdifferenz von  $\Delta v \geq 30$  km/h auf einen entsprechend langsamen Vorverkehr aufgefahren sind. Bild 4-8 zeigt ein beispielhaftes Histogramm über alle Fahrstreifen: die zwei Einträge mit einer Kandidatenanzahl von 1 geben Aufschluss darüber, dass insgesamt zwei Zeitpunkte im knapp 35-minütigen Video visuell begutachtet werden müssen.

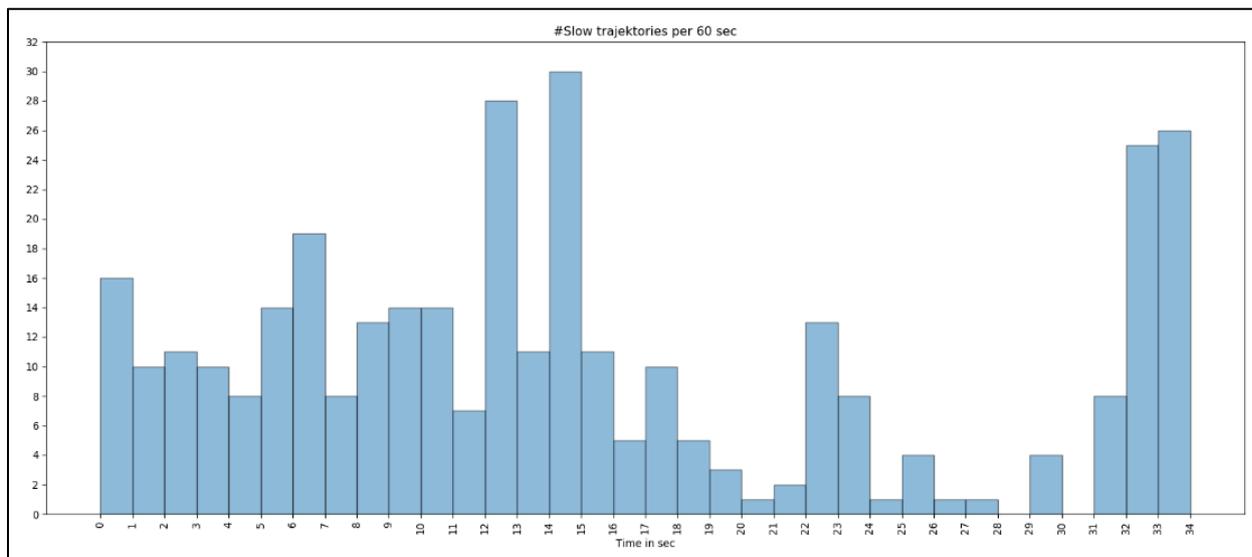


Bild 4-7: Beispielhistogramme als Ergebnis der automatischen Videoanalyse einer Videodatei, Kamera 57, 28.Oktober 2019, Video Nummer 17: Anzahl langsamer Fahrzeuge

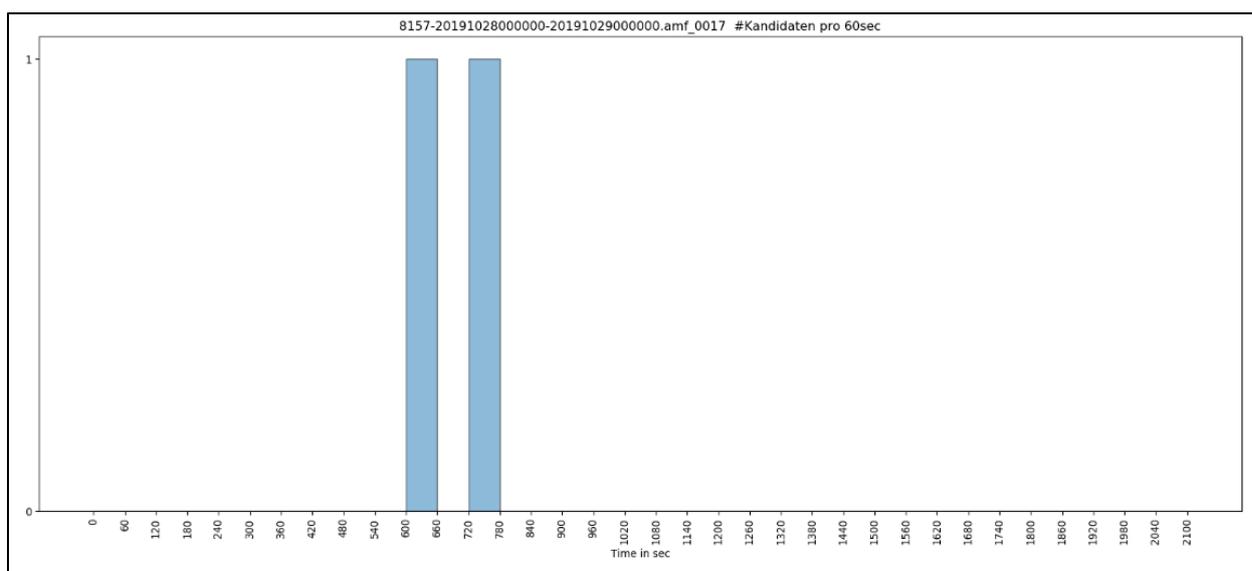


Bild 4-8: Beispielhistogramme als Ergebnis der automatischen Videoanalyse einer Videodatei, Kamera 57, 28.Oktober 2019, Video Nummer 17: Anzahl Kandidaten pro Minute

#### 4.2.2 Computergestützte Video-Inspektion

Für jede automatisch ausgewertete Videodatei der Kameras K56, K57 und K58 bildete das durch die Videoanalyse berechnete Histogramm der Stauende-Kandidaten über alle Fahrspuren – wie in Bild 4-8 beispielhaft dargestellt – die Grundlage dafür, für jeden angezeigten Kandidaten gezielt mit Hilfe des Video-Annotators (Bild 3-14) die Verkehrsszene des entsprechenden Zeitpunkts visuell zu beurteilen. Im Rahmen der visuellen Inspektion wurde entschieden und tabellarisch festgehalten, ob 1) ein Stauende vorliegt, ob 2) nur eine oder mehrere starke Einzelbremsungen stattfanden, oder 3) ob in der Szene kein Stauende zu beobachten war, d. h. die berechnete Stauende-Hypothese also verworfen werden musste.

Bild 4-9 und Bild 4-10 zeigen den zeitlichen Überblick über die computergestützte Inspektion der berechneten Kandidaten für harte Stauenden im Zeitraum des Praxistests an den Kameraquerschnitten der K57 und K58. Schwarze Linien repräsentieren Zeitpunkte, an denen ein oder mehrere Kandidaten für ein

hartes Stauende aus der automatischen Videoanalyse berechnet wurden. Rote Linien repräsentieren durch computergestützte Video-Inspektion visuell bestätigte Stauenden<sup>17</sup>.

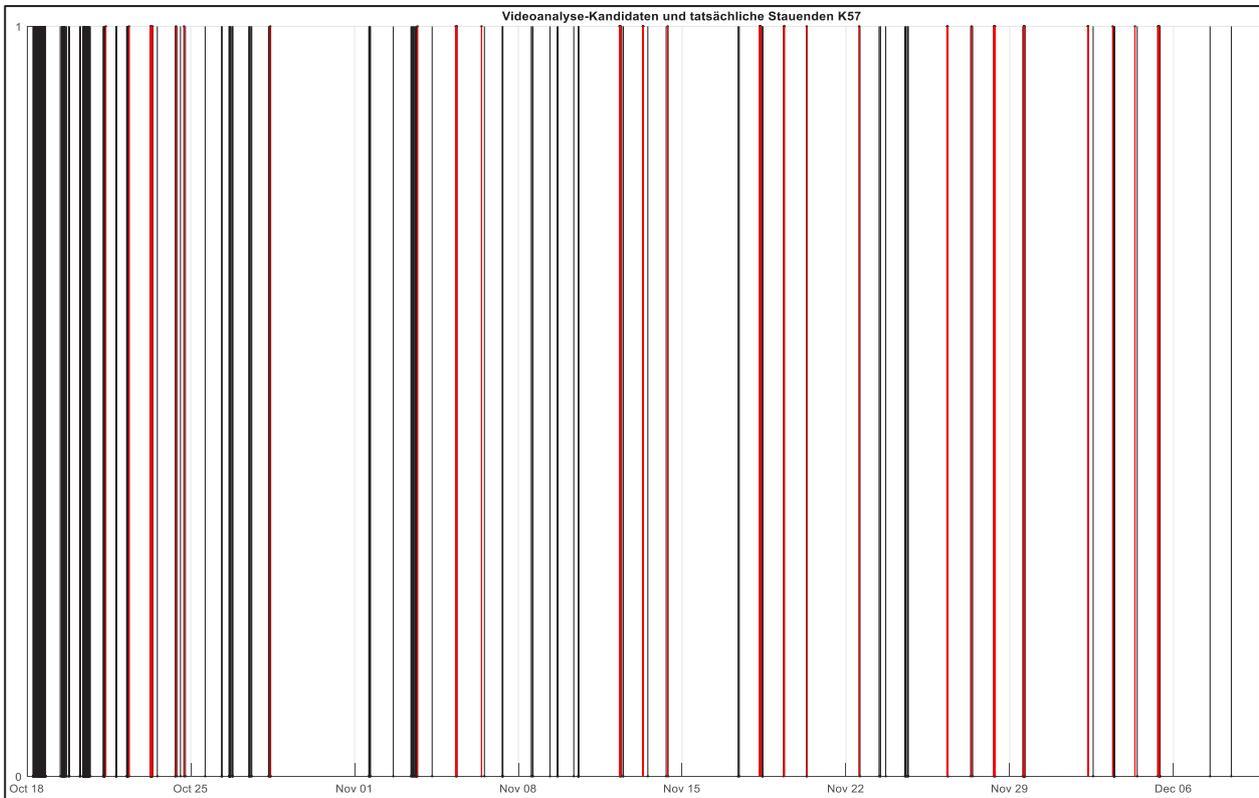


Bild 4-9: Zeitlicher Überblick für harte Stauenden im Zeitraum des Praxistests an K57

<sup>17</sup> Das Datum und die Uhrzeit der Ereignisse wurde – nachdem in den Videodateien keine Zeitstempel verfügbar waren – aus dem jeweiligen Dateinamen und der relativen Minutenanzahl der Videodateien berechnet, und stichprobenhaft durch visuellen Abgleich mit historischen Schaltplänen aus der VBA (vgl. Bild 4-2) verifiziert.

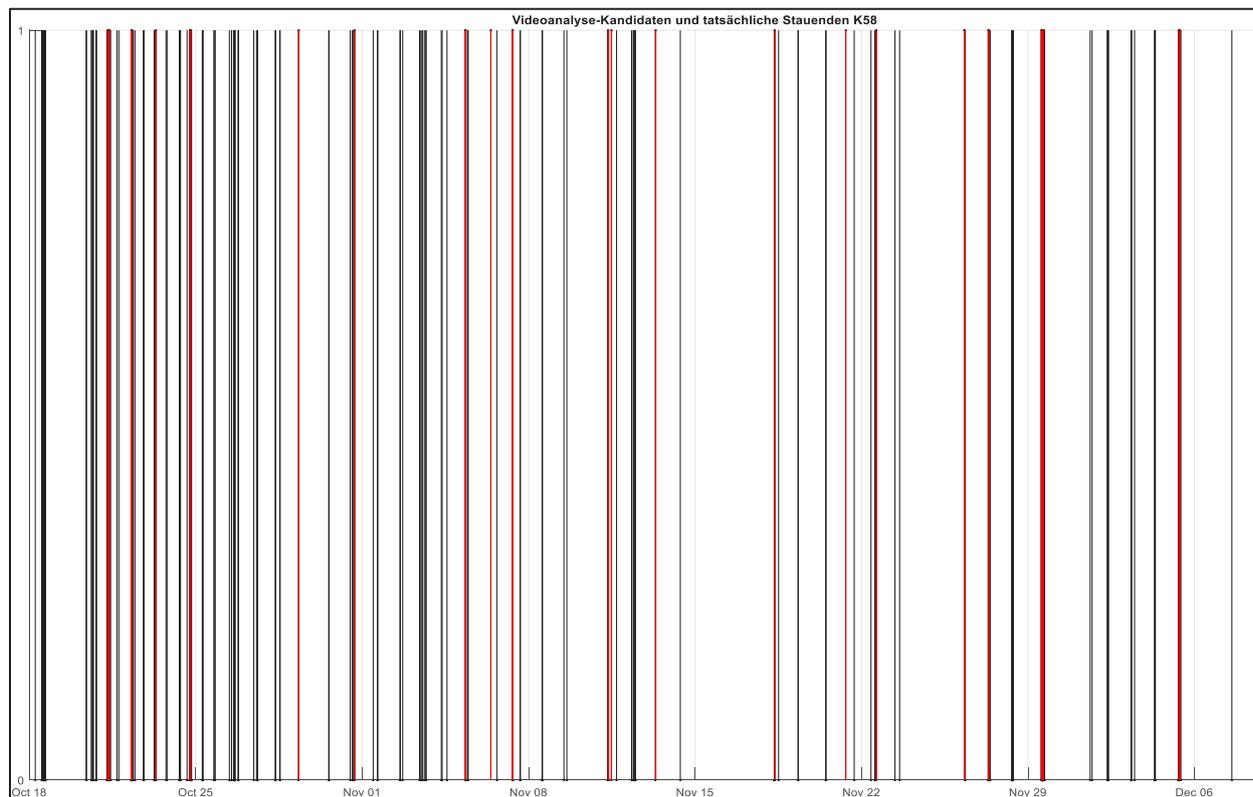


Bild 4-10: Zeitlicher Überblick für harte Stauenden im Zeitraum des Praxistests an K58

Während größere weiße zeitliche Bereiche in Bild 4-9 und Bild 4-10 durchaus jeweils auf fließenden Verkehr ohne potenzielle Stauenden hinweisen, muss folgendes beachtet werden:

- Ab dem 25. Oktober erfolgte die automatische Videoanalyse grundsätzlich nur für Videodateien mit Nummern 14-29 (täglich ab ca. 07:30 Uhr bis ca. 17:00 Uhr), da andere Videodateien in Tageszeiten während der Dämmerung bzw. Dunkelheit fallen.
- Für den 25. November 2019 sind fehlerhafterweise keine Videodaten vorhanden.

Bild 4-11 und Bild 4-12 illustrieren für die zwei Kameras K57 und K58 die Verteilung zwischen visuell bestätigten harten Stauenden und Szenen, die nur starke Bremsungen von Fahrzeugen beinhalten. In **Kamera K57** (Bild 4-11) sind von 538 Kandidaten, die durch automatische Videoanalyse berechnet wurden, **56 harte Stauenden** – das sind 10,4 % – bestätigt worden, und 117 Szenen – das sind 21,7 % – wurden als starke Bremsung von Einzelfahrzeugen identifiziert. Die x-Achse der Histogramme zeigt die Anzahl an Kandidaten, die in einer Minute gemeldet wurden<sup>18</sup>. In Kamera 57 gab es Histogramm-Einträge mit bis zu 14 Kandidaten, allerdings beschränkten sich die tatsächlichen Stauende-Meldungen auf eine Kandidatenanzahl von 1 oder 2 pro Minute, mit fast 90 % für Kandidatenanzahl 1.

In **Kamera K58** (Bild 4-12) sind von 280 Kandidaten, die durch automatische Videoanalyse berechnet wurden, **36 harte Stauenden** – das sind 12,8 % – bestätigt worden, und 36 Szenen – das sind 12,8 % – wurden als starke Bremsung von Einzelfahrzeugen identifiziert. In Kamera 58 gab es Histogramm Einträge mit bis zu 3 Kandidaten.

Die manuelle computergestützte Videoinspektion wurde in einem Excel-Tabellenblatt dokumentiert.

<sup>18</sup> im Beispiel in Bild 4-8 gab es zwei Histogramm-Einträge mit einem Kandidaten, so dass beide Kandidaten zum Histogramm-Bin mit der Nummer 1 gezählt werden.

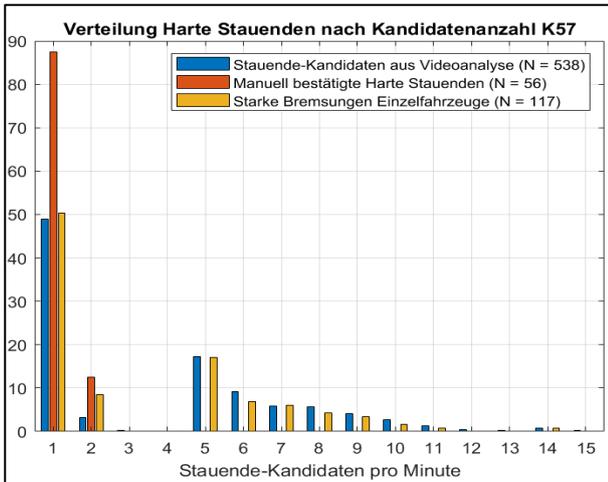


Bild 4-11: Verteilung der durch computergestützte Videoinspektion bewerteten Stauende-Kandidaten (K57)

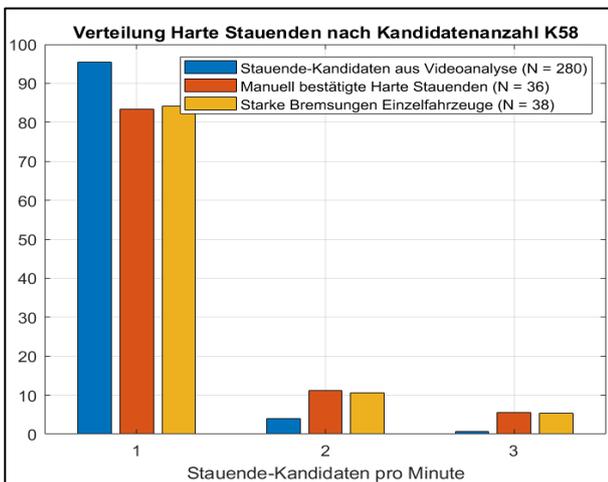


Bild 4-12: Verteilung der durch computergestützte Videoinspektion bewerteten Stauende-Kandidaten (K58)

### 4.2.3 Ergänzende Referenzdatenquellen

Der videobasierte Ansatz mit automatischer Videoanalyse und computergestützter Videoinspektion bildet den Kern des Projektkonzepts zur Evaluierung von Stauende-Meldungen aus einer unabhängigen Datenquelle. Um ggf. Zeitbereiche zu erfassen, an denen keine automatische Videoanalyse durchgeführt wurde (z. B. Tagesrand oder Nachtzeiten) wurden ergänzend noch weitere Datenquellen untersucht.

- **Querschnittsdaten von S09:** da die Kamera K57 die Überkopf-Anzeige AQ S09 erfasst, und auf dieser Überkopf-Anzeige mit Radarsensoren Verkehrsdaten erfasst werden, wurden diese Querschnittsdaten – neben der Validierung der videobasierten Geschwindigkeitsmessung in Bild 4-5 und Bild 4-6 – auch für die Referenzdatengewinnung verwendet: Aus den Geschwindigkeitszeitreihen wurden beginnende markante Geschwindigkeitsabfälle bestimmt, die ebenfalls mögliche harte Stauenden an diesem Querschnitt darstellen, und mit computergestützter Videoinspektion beurteilt.
- **SBA-Anzeigen:** die von Kamera K57 erfassten SBA Anzeigen des Querschnitts S09 wurden ebenfalls als Quelle für mögliche Stauenden eingesetzt. Die zur Verfügung gestellte Liste mit allen Stau- bzw. Verkehrsanzeigen umfasst Datum, Uhrzeit und die spezifische Anzeige für den jeweiligen Zeitraum und Fahrstreifen. Die Anzeigen mit „Stau“ wurden bei der Analyse ausgewertet.
- **Verkehrswarmmeldungen** im Bereich der Teststrecke: Auf Grundlage der gemeldeten Verkehrswarmmeldungen auf dieser Strecke wurden diese für die Fahrtrichtung Stuttgart gefiltert und auch für die Analyse von potenziellen Stauenden verwendet.

Die Daten von den **Verkehrswarmmeldungen im Bereich der Teststrecke, die gemessenen Querschnittsdaten von S09 und die geschalteten SBA Anzeigen** wurden zusammengefasst und zeitlich geordnet. Anschließend wurden die Daten mittels Videoanalyse manuell gesichtet und hinsichtlich einer Staubildung bewertet.

Tab. 4-1 fasst den Beitrag der alternativen Quellen zum Stauende-Referenzdatensatz zusammen. Von den Meldungen gesamt (Spalte 2) konnten je ergänzender Datenquelle an den Kameras K56 bis K58 die nachfolgend genannte Anzahl an harten Stauenden bestätigt werden (Spalte 3 bis 5).

	Meldungen gesamt	K56	K57	K58
<b>Stauanzeige auf VBA, S09</b>	150		13	10
<b>Einbrüche Geschwindigkeit bei S09</b>	46	1	28	24
<b>Verkehrsmeldungen auf Strecke</b>	26		11	10

Tab. 4-1: Beitrag ergänzender Datenquellen zu den Referenzdatensätzen für harte Stauenden der drei Kameras

#### 4.2.4 Visuelle Inspektion der Stauende-Meldungen von Datenanbietern

Für Meldungen eines Datenanbieters im jeweiligen Kamerasichtfeld (siehe Abschnitt 4.3) wurde protokolliert, ob ein hartes Stauende auch durch automatische Videoanalyse und computergestützte Videoinspektion oder durch andere Datenquellen bestätigt werden konnte. Falls kein Kandidat gefunden wurde, erfolgte in der entsprechenden Videodatei um den Zeitpunkt der Meldung ebenfalls eine visuelle Inspektion und ggf. eine Bestätigung. Somit wurde der Referenzdatensatz erweitert und die Präzision als eine von zwei Kenngrößen der Korrektheit (Tab. 2-6) – wie viele der gemeldeten Staumeldungen sind richtig? – kann zuverlässiger bestimmt werden.

### 4.3 Evaluierung der Stauende-Meldungen von Datenanbietern

Die von den vier Datenanbietern gelieferten Stauende-Meldungen (vgl. Bild 4-4) betreffen die gesamte Teststrecke zwischen AS Ludwigsburg Nord und AS Ludwigsburg Süd. Zur Berechnung von Qualitätskenngrößen zur Korrektheit (Tab. 2-6), Aktualität (Tab. 2-8) und Genauigkeit (Tab. 2-9) ist es für die Evaluierung grundsätzlich erforderlich, aus der Menge der von den Datenanbietern gemeldeten Stauende-Ereignisse nur diejenigen Meldungen zu verwenden, die im Sichtbereich der drei verwendeten Kameras K56, K57 und K58 verortet sind, da nur dort eine visuelle Inspektion auf Stauenden erfolgen kann. Die Stauende-Meldungen der Datenanbieter wurden daher räumlich dahingehend gefiltert, dass die Ortsinformation einer Stauende-Meldung jeweils in einem Halbkreis von 300 Metern (in Fahrtrichtung Stuttgart) um die Kameraposition liegen muss. Während die Möglichkeit einer visuellen Inspektion durch einen Menschen bis zu einer Entfernung von 300 Metern erwartet wurde, konnte aus technischen Gründen eine automatische Videoanalyse nur jeweils entlang einer Strecke von 80 Metern durchgeführt werden (Abschnitt 4.1.3).

Bild 4-14 bieten einen Überblick über den Umfang der Meldungen im Untersuchungszeitraum in den Kamerasichtbereichen K57 bzw. K58. Diese Statistiken umfassen alle Meldungen des jeweiligen Datensatzes, d. h. auch Meldungen mit gleicher Stauende-ID bzw. unmittelbarer zeitlicher Nähe. Bild 4-16 zeigt die Statistik nach Entfernung von Duplikaten nach dem ersten Auftreten. Diese Entfernung von Duplikaten erfolgt im Sinne des dritten Kriteriums für das wahre Stauende in Bild 3-1, dass innerhalb einer Distanz von 2 Kilometern kein neues Stauende identifiziert werden soll. Auffallend ist die gänzliche Abwesenheit von Meldungen zweier Datenanbieter im Bereich von Kamera K58.

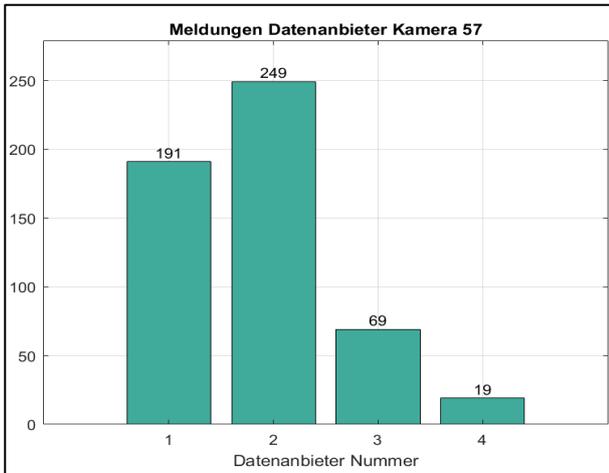


Bild 4-13: Gesamtanzahl von Meldungen, inklusiver Mehrfacher-Stau-IDs im Sichtbereich Kamera K57

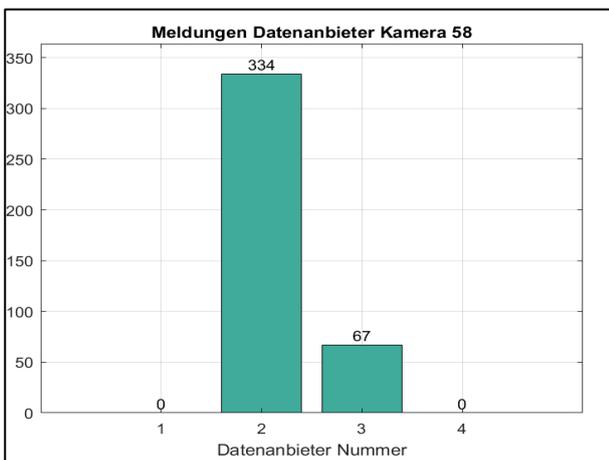


Bild 4-14: Gesamtanzahl von Meldungen, inklusiver Mehrfacher-Stau-IDs im Sichtbereich Kamera K58

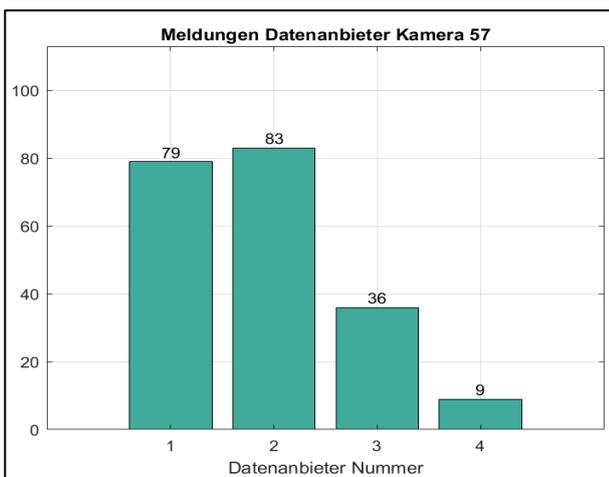


Bild 4-15: Gesamtanzahl Erstmeldungen ohne Duplikate von Stau-IDs Kamera K57

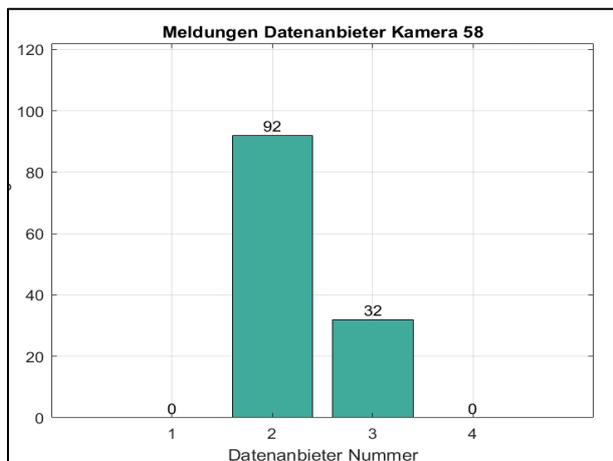


Bild 4-16: Gesamtanzahl Erstmeldungen ohne Duplikate von Stau-IDs Kamera K58

#### 4.3.1 Überblick und Fallbeispiele

Bild 4-18 bietet einen zeitlichen Überblick über alle Meldungen der Datenanbieter im Bereich von Kamera K57 und Kamera K58<sup>19</sup>. Die horizontalen Linien 1-4 repräsentieren die Zeitleisten eines Datenanbieters, die Punkte auf den horizontalen Linien repräsentieren jeweils Stauende-Meldungen des entsprechenden Datenanbieters. Blaue vertikale Linien repräsentieren jeweils eine Stauende-Meldung, die im Referenzdatensatz vorhanden war. Rote Linien repräsentieren Stauende-Ereignisse im Referenzdatensatz, für die es keine Meldungen der Datenanbieter gibt. Die computergestützte Video-Inspektion erfolgte auf der Gesamtmenge von Meldungen, die im Sichtbereich der Kameras lagen, d. h. auch Meldungs-Updates mit gleicher Stau-ID wurden analysiert.

Bild 4-19 illustriert die Daten im Bereich von Kamera K57 für einen einzelnen Tag (28.10.2019). Im Folgenden werden für diesen Tag zwei Fälle beschrieben.

<sup>19</sup> Da aufgrund technischer Probleme für Kamera K56 Videodaten an nur wenigen Tagen vorhanden sind, werden Daten aus dem Bereich K56 nicht berücksichtigt

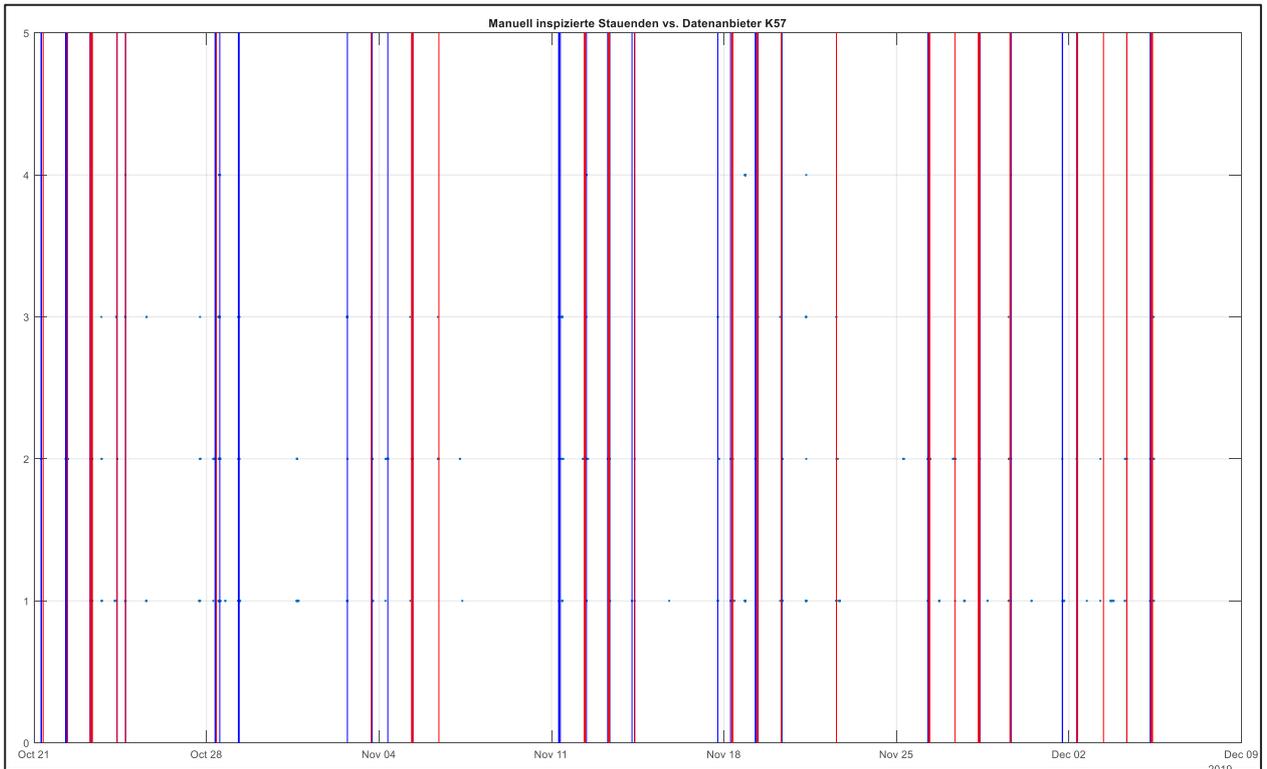


Bild 4-17: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern 1-4 im gesamten Untersuchungszeitraum für Kamera K57

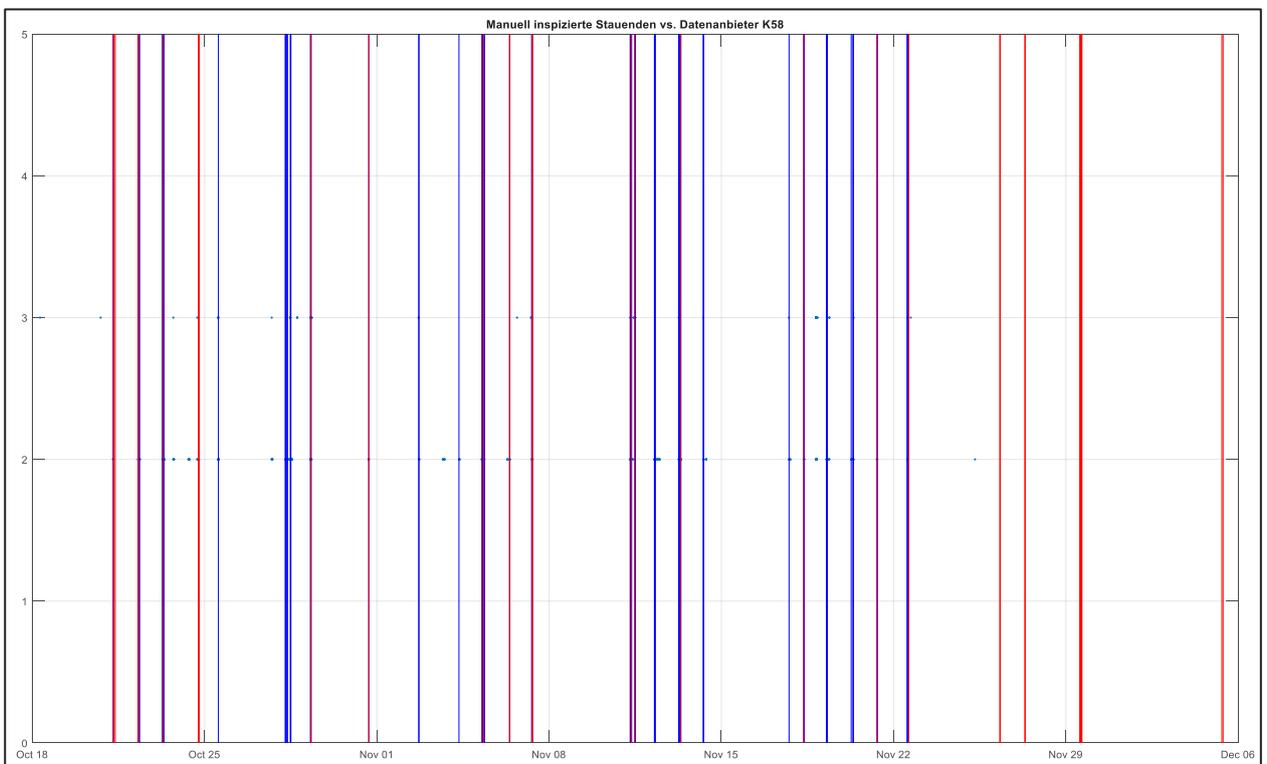


Bild 4-18: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern 1-4 im gesamten Untersuchungszeitraum für Kamera K58

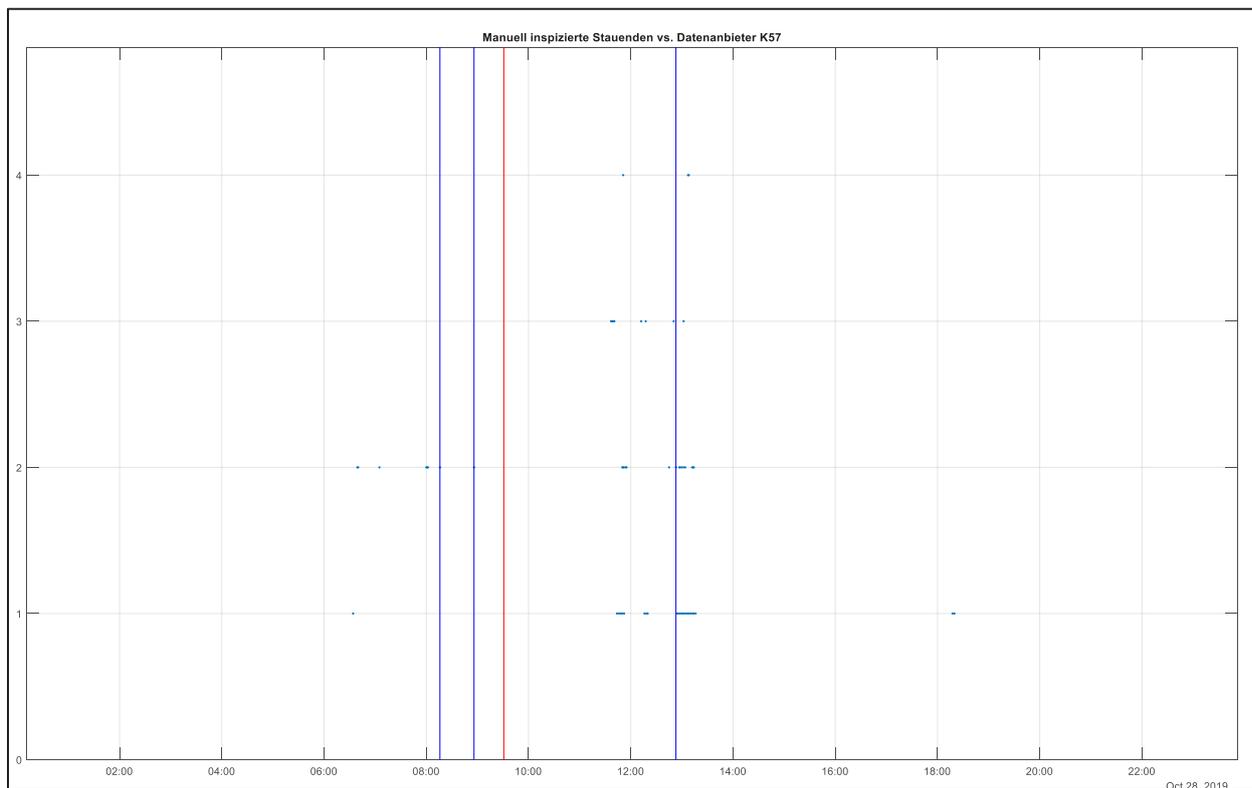


Bild 4-19: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern 1-4 am 28.10.2019 für K57

### Beispiel 1: Stauende in Referenzdaten, keine Meldungen von Datenanbietern

Im zeitlichen Bereich um 09:30 ist in Bild 4-19 eine rote vertikale Linie zu sehen, die auf ein relevantes Stauende im Referenzdatensatz hinweist, für das es aber keine entsprechende Datenanbieter-Meldung gibt. Die Histogramme, die von der automatischen Videoanalyse für die entsprechende Videodatei berechnet wurden, sind in Bild 4-7 und Bild 4-8 (Abschnitt 4.2.1) zu sehen. Der erste Kandidat in Bild 4-8 für ein hartes Stauende wurde verworfen (Urzeit 09:28), der zweite Kandidat um 09:30 wurde visuell bestätigt. Bild 4-20 illustriert beispielhaft, wenige Sekunden aufeinanderfolgende Videoframes von Kamera K57 bei der Entwicklung des harten Stauendes um 09:30. In jedem Frame leuchten die Bremslichter der Kfz-auf. Übersehene Stauenden dieser Art reduzieren beim Qualitätskriterium **Korrektheit** die **Trefferrate** eines Datenanbieters, da ein relevantes Stauende nicht gemeldet wurde (vgl. Definitionen in Tab. 2-6).



Bild 4-20: Wenige Sekunden aufeinander folgende Videoframes eines harten Stauendes am 29.10.2019 um ca. 09:30

### Beispiel 2: Zahlreiche Meldungen von Datenanbietern, ein nachträglich visuell bestätigtes Stauende

Im zeitlichen Bereich um 12:30 ist in Bild 4-19 eine blaue vertikale Linie zu sehen, die auf ein bestätigtes Stauende des Datenanbieters 2 im Referenzdatensatz hinweist. Bild 4-21 fokussiert weiter in diesen zeitlichen Bereich und verdeutlicht, dass es nach der bestätigten Meldung um ca. 12:53 weitere Meldungen von allen Datenanbietern gibt (insgesamt 25 Meldungen inkl. Updates).

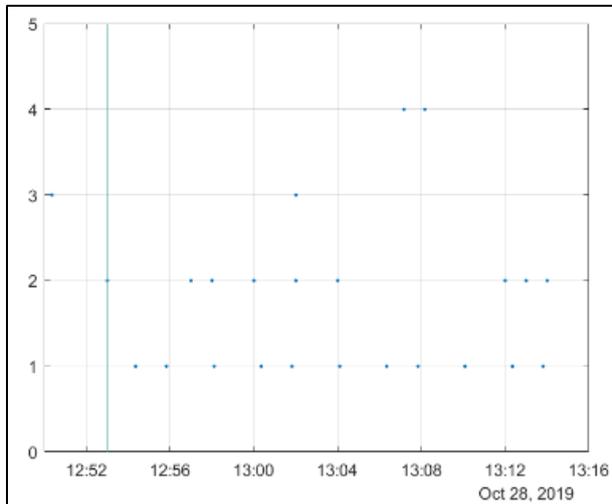


Bild 4-21: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern im Zeitraum von 35 Minuten: 25 Meldungen von Datenanbietern, nur eine visuell bestätigte Meldung (oben); Videoframe zur Entwicklung eines harten Stauendes außerhalb des Analysebereichs der automatischen Videoanalyse (mitte); Stauentwicklungssituation mit LKW-Spurwechsel (unten)

Eine genaue Inspektion dieses Fallbeispiels ergab folgende Erkenntnisse, die großen Einfluss auf die Interpretation bzw. die Berechnung von Qualitätsindikatoren haben:

- Die automatische Videoanalyse lieferte keine Kandidaten für harte Stauenden, und das von Datenanbieter 2 gemeldete harte Stauende wurde durch visuelle Inspektion der Verkehrsszene im zeitlichen Bereich der Stauende-Meldung (12 Uhr 53) bestätigt.
- Die zeitlich nachfolgenden Stauende-Meldungen der Datenanbieter bzw. deren Aktualisierungen in den Minuten nach 12 Uhr 53 wurden durch visuelle Inspektion nicht bestätigt. Die Ursache liegt möglicherweise darin, dass sich die entsprechende Verkehrsszene, die die jeweilige Staumeldung generiert hat, zwar im gefilterten Bereich von 300 Metern befindet, aber für die annotierende Person trotzdem nicht mehr gut interpretierbar ist (vgl. Horizont von Bild 4-21 (mitte)). Dies führt dazu, dass die beim Qualitätsindikator **Korrektheit** die **Präzision** nicht ‚gerecht‘ berechnet wird (vgl. Definitionen in Tab. 2-6). Zudem zeigt dieses Beispiel, dass der Qualitätsindikator **Aktualität** (vgl. Definition in Tab. 2-8) unter den geometrischen Rahmenbedingungen schwer zu bestimmen ist, da innerhalb von zwei Minuten starke Bremsvorgänge schon weit im Horizont sein können. Ebenso erfordert der Qualitätsindikator **Genauigkeit** (Tab. 2-9) einen größeren Erfassungsbereich als in diesem Praxistest.
- Die Ursache für die fehlenden Stauende-Kandidaten aus der automatischen Videoanalyse liegt wohl ebenso im beschränkten kurzen Auswertebereich von 80 Metern. Zudem könnte es in manchen Szenen nachteilig sein, dass **LKW-Trajektorien** bei der automatischen Geschwindigkeits- und Stauende-Berechnung aus Zuverlässigkeitsgründen derzeit **nicht berücksichtigt** werden (Abschnitt 4.1.3). In der Szene in Bild 4-21 (unten) erfolgt im Horizont ein Spurwechsel eines LKWs, und andere LKW fahren darauf auf, wobei nur wenige PKW vorhanden sind.

#### 4.3.2 Auswirkungen des beschränkten Analysebereichs auf die Evaluierung

Die Beschränkungen des Kamerasettings im Testgebiet – nicht lückenlose bzw. überlappende Erfassung mit relativ geringer Bildqualität bzw. -auflösung – haben folgende Konsequenzen für die Evaluierung von Stauende-Meldungen der Datenanbieter:

**Die im Referenzdatensatz erfassten Stauenden sind weniger hart als geplant:** Die in der Anfangsphase des Projektes definierten Kriterien zum „wahren“ Stauende (Bild 3-1) wurden noch aufgrund der geometrischen Bedingungen adaptiert (Bild 3-2): der minimale Geschwindigkeitsabfall als erstes Kriterium für ein hartes Stauende ist mit 30 km/h geringer als die ursprünglich definierte Geschwindigkeitsdifferenz von 50 km/h.

1. **Die Korrektheit der Stauende-Meldungen von Datenanbietern sinkt:**
  - Als Konsequenz aus Punkt 1 wird die Menge relevanter ‚wahrer‘ Stauenden im Referenzdatensatz steigen. Aufgrund des umfangreicheren Referenzdatensatzes ist grundsätzlich zu erwarten, dass der Anteil an übereinstimmenden Stauende-Meldungen von Datenanbietern sinken wird, mit der entsprechenden negativen Auswirkung auf die Qualitätsindikatoren der Präzision (Anteil der ‚wahren‘ Stauenden unter allen Stauende-Meldungen) und Trefferrate (Anteil der gemeldeten ‚wahren‘ Stauenden) gemäß Tab. 2-6.
  - wie im vorigen Abschnitt erwähnt, kann ggf. auch die manuelle Videoinspektion weiter von der Kamera entfernte Stauenden nicht mehr zuverlässig einschätzen, so dass die Präzision gemeldeter Stauende-Ereignisse der Datenanbieter sinkt.
2. **Berechnungen der Qualitätsindikatoren zur Aktualität und Genauigkeit sind nicht sinnvoll:** wie in Beispiel 2 in Abschnitt 4.3.1 erläutert, können die definierten Größen zur Aktualität (Tab. 2-8) sowie Genauigkeit (Tab. 2-9) nicht berechnet werden, da die räumlichen und zeitlichen Kriterien weit über den im Praxistest verfügbaren geometrischen Analysebereich hinausgehen.

### 4.3.3 Korrektheit der Stauende-Meldungen im Praxistest

Unter Vorbehalt der im vorigen Abschnitt 4.3.2 beschriebenen starken Auswirkungen der vorhandenen Kamerainfrastruktur auf die Berechnung von Qualitätsindikatoren werden in diesem Abschnitt berechnete Kennzahlen zur Korrektheit – gemäß Tab. 2-6 – präsentiert. Tab. 4-2 zeigt die für die Kennzahlenberechnung verwendeten absoluten Zahlen sowie die berechneten Prozentsätze zu Präzision und Trefferrate für die vier Datenanbieter im Sichtbereich von Kamera K57 und K58.

Anzahl bestätigte Stauenden aus autom. Videoanalyse	Kamera K57				Kamera K58			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Anzahl bestätigte Stauenden aus autom. Videoanalyse	56				36			
Datenanbieter								
Anzahl Meldungen (nur erste StauID verwendet)	79	83	36	9	0	92	32	0
True Positives (inkl. ergänzende Referenzdaten)	6	19	3	3	0	47	4	0
True Positives (bez. autom. Videoanalyse)	0	3	0	1	0	1	0	0
Präzision Datenanbieter	7,6%	22,9%	8,3%	33,3%	0,0%	51,1%	12,5%	0,0%
Trefferrate Datenanbieter (bez. autom. Videoanalyse)	10,7%	33,9%	5,4%	5,4%	0,0%	100%	11,1%	0,0%
Trefferrate Datenanbieter (inkl. ergänzende Referenzdaten)	9,7%	26,4%	5,1%	5,2%	0,0%	57,3%	10,0%	0,0%

Tab. 4-2: Berechnete Qualitätsindikatoren zur Korrektheit von Stauende-Meldungen der Datenanbieter für Kameras K57 und K58

Die erste Zeile in Tab. 4-2 wiederholt die Gesamtanzahl an harten Stauenden, die durch visuelle Inspektion nach der automatischen Videoanalyse bestätigt wurden (Abschnitt 4.2.2). Die Anzahl der Stauende-Meldungen von Datenanbietern entspricht den Zahlen nach Entfernung von Meldungen, die die gleiche ID haben (Bild 4-15 und Bild 4-16).

Die **True Positives (inkl. ergänzende Referenzdaten)** in Tab. 4-2 entsprechen jeweils der Anzahl von Meldungen eines Datenanbieters, die im Referenzdatensatz bestätigter Stauenden aus der automatischen Videoanalyse enthalten sind (Abschnitt 4.2.2) oder mit den ergänzenden Referenzdaten gemäß Abschnitt 4.2.3 visuell bestätigt wurden. Die **True Positives (bez. autom. Videoanalyse)** entsprechen der Anzahl von Meldungen eines Datenanbieters, die im Referenzdatensatz bestätigter Stauenden aus der automatischen Videoanalyse gefunden werden konnten: es gibt sehr wenig Übereinstimmung der Meldungen von Datenanbietern mit der Menge der automatisch berechneten Stauenden. Das liegt einerseits an gehäuften Meldungen an Tagesrandzeiten, an denen aufgrund der Lichtverhältnisse gar keine automatische Videoanalyse durchgeführt wurde (zwischen 56 – 75 % der Fälle), zeigt aber andererseits auch die Auswirkungen der adaptierten Kriterien gemäß Ausführungen in Abschnitt 4.3.2.

Die **Präzision** in Tab. 4-2 gibt den Anteil der True Positives (inkl. ergänzender Referenzdaten) an der Gesamtanzahl von Meldungen an, und hat in diesem Praxistest für Kamera 57 einen maximalen Wert von 33,3 %, d. h. nur eines von drei gemeldeten Stauenden ist relevant. In Kamera 58 beträgt der maximale Wert 51,1 %. Die Werte für Präzision sind generell sehr niedrig (vgl. Abschnitt 4.3.2), und in Kamera 58 liefern zwei Datenanbieter gar keine Meldungen.

Die **Trefferrate** in Tab. 4-2 gibt den Anteil an gemeldeten Stauende-Ereignissen, die im Referenzdatensatz vorhanden sind (‘Wie hoch ist der Anteil an vorhandenen harten Stauenden, die tatsächlich gemeldet wurden?’). Grundsätzlich führt eine große Anzahl an Stauende-Meldungen eines Datenanbieters tendenziell zu einer höheren Trefferrate: würde im theoretischen Extremfall beispielsweise jede Minute ein Stauende gemeldet werden, wären mit Sicherheit alle Stauenden erfasst (100 % Trefferrate), die Präzision der Meldungen jedoch sehr gering.

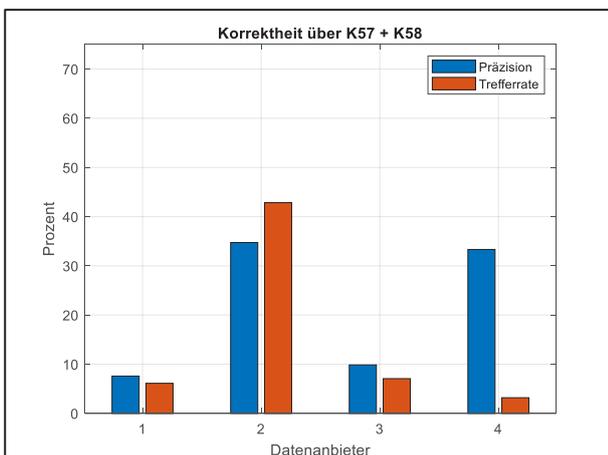
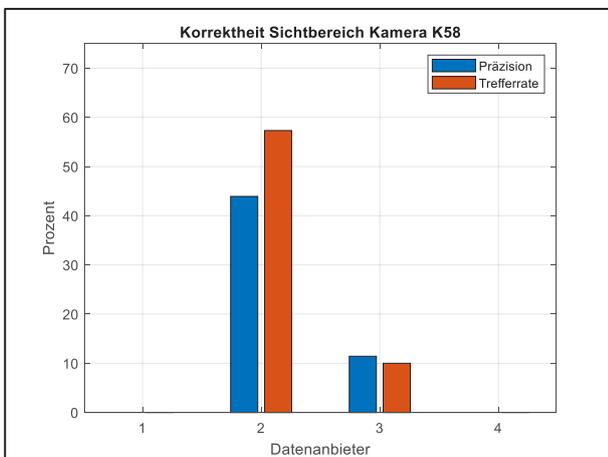
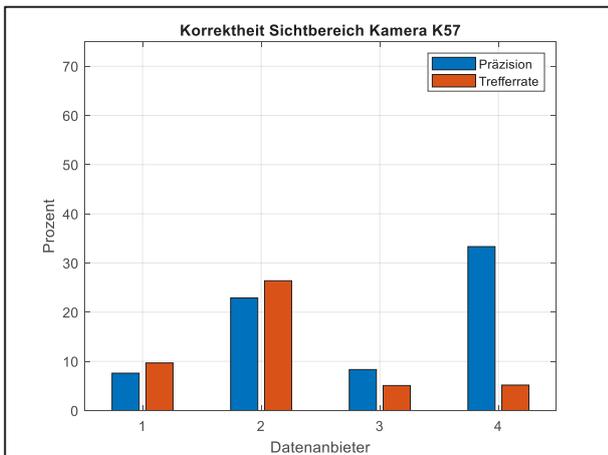


Bild 4-22: Korrektheit der Meldungen Präzision und Trefferrate im Sichtbereich Kamera K57 (oben); Präzision und Trefferrate im Sichtbereich Kamera K58 (mitte); Kennzahlen berechnet aus den Sichtbereichen K57 und K58 (unten)

Die Präzision in Tab. 4-2 enthält auch bestätigte Stauende-Meldungen, die nicht im Referenzdatensatz enthalten sind, und nachträglich im Videomaterial bestätigt wurden (beispielsweise zu Uhrzeiten in der Dämmerung, für die keine automatische Videoanalyse durchgeführt wurde). Bei der Berechnung der Trefferrate wurden diese nachträglich rein visuell erhobenen Stauenden ebenfalls berücksichtigt, auch wenn diese nicht im Kern-Referenzdatensatz enthalten sind. Der Zusammenhang zwischen Präzision und Trefferrate ist in Bild 4-22 (oben) und Bild 4-22 (mitte) noch einmal visuell für Kamera K57 und Kamera K58 aufbereitet. Bild 4-22 (unten) illustriert die aus den Sichtbereichen der beiden Kameras K57 und K58 zusammengefassten Größen.

#### 4.4 Validierung der Qualitätsanforderungen und Diskussion

Der Qualitätstest mit einem Kamerareferenzsystem wurde mit Hilfe bestehender Überwachungskameras an der A81 mit freundlicher Unterstützung der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg durchgeführt. (siehe Abschnitt 3.2.4). Um den organisatorischen Aufwand zu begrenzen, konnten Videos von drei örtlich aufeinanderfolgenden Kameras digital archiviert werden, wobei für die Dauer des Praxistests leider eine Kamera die meiste Zeit ausgefallen war.

Der grundsätzliche Ansatz mit Kamerareferenzsystem besteht darin, eine automatische Videoanalyse durchzuführen, um damit eine sehr zeitaufwändige manuelle Begutachtung des Videomaterials über mehrere Monate zu vermeiden und auch quantitative Messdaten zu gewinnen. Tab. 4-3 bietet einen Überblick über die definierten Qualitätsanforderungen und die Ergebnisse aus dem Praxistest.

Qualitätskriterium	Qualitätsanforderung	Ergebnisse Praxistest mit Kamera-Referenzsystem (zwei Kameras)
<b>Korrektheit: Trefferrate</b>	Die Stauende-Meldung muss mit Zuverlässigkeit $\geq 85\%$ ein Stauende erfassen, wenn es eines gibt	<b>3,2 % - 42,9 %</b> (Bild 4-22 (unten))
<b>Korrektheit: Präzision</b>	Die Meldung muss mit Zuverlässigkeit $\geq 95\%$ tatsächliche Stauenden erfassen (keine Ghosts).	<b>7,6 % - 33,3 %</b> (Bild 4-22 (unten))
<b>Aktualität: Start</b>	Die Stauende-Daten müssen in <b>95 % der Fälle innerhalb 2 Minuten</b> nach dem Auftreten eines Stauendes zur Verfügung stehen.	Aufgrund der kurzen Auswertestrecke von jeweils 80 Metern, gibt es keine zeitlichen Berechnungen und Assoziationen von Meldungen aus visuellen Beobachtungen zu einem späteren Zeitpunkt.
<b>Aktualität: Update</b>	Die Meldung muss die Stauende-Daten regelmäßig und <b>mindestens 1 mal pro Minute aktualisieren</b> , d. h. die aktualisierten Stauende-Daten müssen mindestens minütlich zur Verfügung stehen.	Minütliches Update von 1 Datenanbieter (Stauende, keine Warn-Meldung);
<b>Genauigkeit</b>	Die von der Meldung generierte / angezeigte Stauende-Position liegt in <b>90 % der Fälle maximal 700 m vor dem realen Stauende und 200 m hinter dem realen Stauende.</b>  Die von der Meldung generierte/angezeigte Stauende-Position liegt in <b>50 % der Fälle maximal 400 m vor dem realen Stauende und 100 m hinter dem realen Stauende.</b>	Nicht berechnet aufgrund der kurzen Auswertestrecke von jeweils 80 Metern.

Tab. 4-3: Überblick über die Qualitätskriterien über das Kamera-Referenzsystem des Praxistests

Die Berechnungen zur **Korrektheit**, ausgedrückt durch Trefferrate und Präzision (Abschnitt 4.3.3) zeigen, dass die in diesem Praxistest mit dem Kamerareferenzsystem erzielten Zahlen bei weitem nicht erreicht werden konnten. Dies bedeutet weder, dass der Ansatz für ein Referenzsystem basierend auf automatischer Videoanalyse nicht geeignet wäre (die grundsätzliche Validität wurde demonstriert), noch dass die Stauende-Meldungen der Datenanbieter eine schlechte Qualität haben wie in Bild 4-22 dargestellt. Der größte Einflussfaktor ist die Beschränkung der automatischen Videoanalyse auf 80 Meter aufgrund geometrischer und technischer Rahmenbedingungen (siehe auch Abschnitt 4.3.2). Zusätzlich hat die Auswertung ergeben, dass sehr viele Stauende-Meldungen von Datenanbietern auf Zeitpunkte fallen, an denen aufgrund der Lichtverhältnisse an den Tagesrandzeiten keine automatische Videoanalyse

durchgeführt werden konnte<sup>20</sup> – diese Stauenden wurden nachträglich in den Videos manuell visuell überprüft und ggf. bestätigt.

Die zwei Kenngrößen zur Bewertung der Korrektheit eines Systems haben üblicherweise folgenden Zusammenhang:

- sollen möglichst viele relevante harten Stauenden gemeldet werden (hohe Korrektheit), verringert sich die Präzision, d. h. Falschmeldungen werden wahrscheinlicher
- sollen Falschmeldungen möglichst vermieden werden (hohe Präzision), verringert sich die Korrektheit, d. h. weniger relevante harte Stauenden werden gemeldet

Bei zwei Datenanbietern dieses Praxistests ist die Präzision höher als die Korrektheit, bei den anderen zwei Datenanbietern ist es umgekehrt. Da Menschen bei zu vielen Falschmeldungen Warnsysteme tendenziell mit der Zeit ignorieren, sollte eher eine höhere Präzision angestrebt werden.

Das Qualitätskriterium zu **Aktualität** zum Start des Stauendes wurde aufgrund der kurzen Strecke nicht berechnet: Eine Zuordnung gemeldeter Ereignisse zur beobachteten Szene über mehr als 2 Minuten erfordern eine längere Beobachtungsstrecke. Die aus dem Überwachungssystem archivierten Videodaten haben keinen Zeitstempel: die aus den jeweiligen Dateinamen und Frame-Nummern berechneten absoluten Zeiten konnten mit Hilfe der dokumentierten und dem Projektteam zur Verfügung gestellten Schaltzeiten der sichtbaren VBA grundsätzlich validiert werden. Ein Datenanbieter liefert für die Dauer eines Staus grundsätzlich jede Minute ein Update.

Das Qualitätskriterium zur **Genauigkeit** erfordert definitionsgemäß eine längere Beobachtungsstrecke, als sie in diesem Praxistest möglich war, und wurde daher nicht berechnet.

Auch wenn die Ergebnisse dieses Praxistests aufgrund der Einschränkungen nicht validiert werden konnten bzw. die Qualitätskriterien nicht berechnet wurden, **bleiben die definierten Mindestanforderungen unverändert bestehen, um eine Akzeptanz bei den End Usern zu erzielen**. Eine eigene Installation eines Videoüberwachungssystems zur lückenlosen Erfassung von Fahrzeugtrajektorien über mehrere Kilometer zwecks Erfassung von Stauenden ist nicht realistisch. Langfristig wäre ein Tracking der Fahrzeuge in Bewegungsbildern aus geostationären Satelliten denkbar. Kurzfristig muss jedoch die Qualität mit anderen Mitteln sichergestellt werden.

## 5 Service Level für Stauende-Daten

In Kapitel 1.2 wird für den Praxistest folgendes Ziel festgehalten: „[...] die bisher formulierten Mindestanforderungen [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016] an Stauende-Daten zu validieren und zu konkretisieren, damit diese künftig in Ausschreibungen der öffentlichen Hand zur Beschaffung kommerziell erhältlicher Stauende-Daten verwendet werden können.“ Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, war die Validierung, insbesondere der Qualitätsanforderungen (Mindestanforderungen) unter den gegebenen Rahmenbedingungen des durchgeführten Praxistests, nicht möglich. Damit fehlen für eine öffentliche Ausschreibung zunächst die wesentlichsten durch die Auftragnehmer zu erreichenden Schlüsselparameter (KPI) zur Spezifikation der Qualität der zu erbringenden Leistungen. Der Praxistest gibt keine aufschlussreiche Auskunft darüber, ob die in Kapitel 2.5 Qualitätsanforderungen an Stauende-Daten definierten KPIs auch tatsächlich durch Anbieter von Stauende-Daten auf Grundlage von FCD erreicht werden können. Das Ziel des Praxistests, diese Zielwerte zu validieren, konnte nicht erreicht werden, da mit den zur Verfügung stehenden Kameras nur relativ kurze Autobahnbereiche abgedeckt wurden und die Kameraabschnitte auch nicht überlappend waren.

Beispielsweise hat das auf 1.100 km ausgebaute Stauende Warnsystem auf niederländischen Autobahnen auf Basis von Doppel-Induktionsschleifen-Detektoren auf jeder Fahrspur und mittels VBA eine Reduktion von Unfällen um 19 %, eine Verringerung von Folgeunfällen um 35 % und eine Verbesserung des Verkehrsflusses von 2-5 % erreicht [VERWEIJ, F. 2020]. Der Ausbau des Autobahnnetzes mit fix installierten Sensoren scheint aufgrund des sehr ausgedehnten Autobahnnetzes in Deutschland aber für nicht zielführend. Die Relevanz von FCD und Stauende-Daten für die öffentliche Hand im Sinne der Verkehrssicherheit bleibt somit trotz des verfehlten Ziels zur Validierung der Zielwerte sehr hoch. Daher

<sup>20</sup> Bei der Projektplanung des Praxistests wurde zwecks Maximierung der auswertbaren Zeiten ein Beginn mit Sommer 2019 angestrebt, aufgrund einer Baustelle verzögerte sich jedoch der Beginn in den Herbst.

besteht weiterhin die Notwendigkeit für die öffentliche Hand FC-Daten bzw. Stauende-Daten zu beschaffen und diese Daten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit Anbietern unterschiedlicher Kommunikationskanäle zur Verfügung zu stellen, um auch jene Verkehrsteilnehmer zu erreichen, die nicht über einen privaten Navigationsdienst verfügen.

Auf Basis der Erfahrungen aus diesem Projekt, aus den Gesprächen mit Stakeholdern und aus der Analyse verwandter Aktivitäten, werden deswegen im Folgenden Hinweise zur Sicherstellung und Kontrolle der Datenqualität von Stauende-Daten gegeben. Dabei müssen zwei Perspektiven berücksichtigt werden, einerseits die Qualität von FCD, die für z. B. für Stauende-Warnungen verwendet werden und andererseits die Qualität der Stauende-Daten auf Basis dieser FCD, die zusätzlich durch Prozesse der Datenaufbereitung und Informationsbereitstellung bei den Datenanbietern beeinflusst wird. Insofern werden die eigentlichen Service-Level der Stauende-Daten erweitert, indem eingegangen wird auf:

- Erfahrungen beim Qualitätsmanagement bei der Verwendung von FCD durch die öffentliche Hand, sowie
- Rolle und Handlungsmöglichkeiten der öffentlichen Hand beim Beschaffungsvorgang für Stauende-Daten.

## 5.1 Qualitätsmanagement von FCD bei Nutzung durch die öffentliche Hand

Das Qualitätsmanagement von durch die öffentliche Hand beschafften FCD oder Daten, die auf Grundlage von FCD durch Weiterverarbeitung generiert wurden, beinhaltet zwei Phasen:

- Phase der Beschaffung
- Phase des Wirkbetriebs

Jede Phase kann besondere Anforderungen an die Qualität der Daten jedoch auch an den Nachweis der Qualität haben. Beide Phasen und ihre spezifischen Anforderungen müssen in einem Vergabeverfahren Berücksichtigung finden. Steht in der Phase der Beschaffung die Gleichbehandlung der Bieter und der Wettbewerb im Vergabeverfahren im Fokus, ist in der Phase Wirkbetrieb die Sicherstellung der kontinuierlichen Erbringung der Datenqualität über einen entsprechenden Qualitätsnachweis im Vordergrund.

Bezogen auf die Beschaffung von Stauende-Daten kann dies beispielsweise für die Phase der Beschaffung bedeuten, dass im ersten Jahr des Wirkbetriebs Stauende-Daten mit vergleichsweise geringerer Genauigkeit durch den Datenanbieter zur Verfügung gestellt werden und ab dem zweiten Jahr höhere Anforderungen an die Genauigkeit der Stauende-Daten gestellt werden. Es genügt in diesem Fall, wenn der Nachweis für die Erfüllung der Anforderung durch eine Eigenerklärung / Zustimmung und durch ein Konzept für die Detektion von Stauenden erbracht wird.

In der Phase des Wirkbetriebs würde sich die Anforderung an die Qualität nach einem Jahr Wirkbetrieb erhöhen (es wird in diesem Beispiel von einer Lernkurve bzw. von einer höheren Dichte an Fahrzeugen, die FCD zur Verfügung stellen, ausgegangen) und der Nachweis bzw. die Überprüfung der Erbringung der vertraglich vereinbarten Qualität der Stauende-Daten könnte durch einen monatlichen Bericht über die Qualität der Rohdaten und Referenzdaten von sich im Besitz der öffentlichen Hand befindlichen Sensoren plausibilisiert werden (siehe dazu Service-Level-Beschreibung in Anlage 1).

### 5.1.1 FGSV: „Hinweise zu Detektionstechnologien im Straßenverkehr“

2019 hat die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) einen Überblick über im Straßenverkehr zur Anwendung kommender Detektionstechnologien publiziert [FGSV 2019]. Diese enthält eine, auf Grundlage von für alle Technologien gleichen Kriterien, steckbriefartige Darstellung der unterschiedlichen Detektionstechnologien sowie Empfehlungen für die Beschaffung und den Betrieb dieser Technologien. Hinsichtlich der Datenqualität werden allgemeine Kriterien genannt:

- „Genauigkeit: Grad der Übereinstimmung zwischen den Daten und einem die Realität widerspiegelnden Bezugsdatensatz
- Vollständigkeit: Grad der Abdeckung benötigter Kennwerte
- Zuverlässigkeit: Funktionsfähigkeit der Detektionstechnologie/des Messsystems unter variierenden Randbedingungen

- Aktualität: Grad der zeitlichen Verfügbarkeit, das heißt liegen Daten zeitnah bzw. rechtzeitig für die betrachtete Anwendung vor
- Zugänglichkeit: Grad des nötigen Aufwands für Einsicht und Weiterverarbeitung der Daten“

Für die Qualität von FCD als Detektionstechnologie geben die Autoren an, dass diese insbesondere vom Positionierungssystem, der zeitlich und räumlich variierenden Ausstattungsrate der Fahrzeuge, dem Übertragungsintervall und den Aufbereitungsalgorithmen abhängig ist. Als weiterer Einflussfaktor wird die Repräsentativität der Fahrzeugflotte genannt. Sind beispielsweise LKW im Vergleich zum realen Verkehrsgeschehen überrepräsentiert, sind die gemessenen FCD-Fahrtgeschwindigkeiten zu niedrig [FGSV 2019].

Die folgende Tabelle zeigt, wie und inwiefern die in Kapitel 2.5.3 und 2.5.4 definierten Schlüsselparameter (KPI) die in der FGSV-Publikation allgemein definierten Qualitätsparameter für Daten von Detektoren im Straßenverkehr abbilden:

Qualitätsparameter nach FGSV	KPIs für Stauende-Daten aus dem Praxistest
<b>Genauigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrektheit <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Trefferrate: Die Trefferrate beschreibt den Anteil aller relevanten Meldungen (es gibt ein Stauende und es wurde auch erfasst.) an der Gesamtzahl der Stauende-Ereignisse (es gibt ein Stauende, aber es wurde nicht immer erfasst.) und entspricht dem Maß für die Vollständigkeit einer Trefferliste.</li> <li>○ Präzision: Die Präzision bezeichnet den Anteil aller relevanten Meldungen (es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.) an der Gesamtzahl der Meldungen (es wurde ein Stauende erfasst, aber es gab nicht immer eins.) und entspricht dem Maß für die Relevanz einer Trefferliste.</li> </ul> </li> <li>• Genauigkeit: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lagegenauigkeit: Genauigkeit der gemeldeten Stauende-Position (FCD) in Bezug auf die Position des tatsächlichen Stauendes (Referenz)</li> <li>○ Genauigkeit bezogen auf den Zeitpunkt der Entstehung: Differenz zwischen der tatsächlichen Startzeit (Referenz) und der gemeldeten Startzeit (FCD)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Vollständigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfügbarkeit: Die Verfügbarkeit gibt Auskunft darüber, ob grundsätzlich FCD für ein bestimmtes Gebiet verfügbar sind</li> <li>• Datendurchdringungsrate: Die Datendurchdringungsrate beschreibt den Anteil der in einem bestimmten Gebiet zu einer bestimmten Zeit sich aufhaltenden Fahrzeuge, die FCD übermitteln, bezogen auf die Gesamtzahl der sich dort aufhaltenden Fahrzeuge</li> <li>• Datendichte: Die Datendichte beschreibt die Anzahl der FCD in einem bestimmten Gebiet zu einer bestimmten Zeit</li> </ul>
<b>Zuverlässigkeit</b>	<p>Im Allgemeinen ist die Technologie zur Erfassung der FCD mittels Satellitenpositionierung unter fast allen Bedingungen funktionsfähig. Durch die Nutzung verschiedener Chip-Sets (GPS, Galileo, GLONASS) wird die Satellitenabdeckung erhöht und die Zuverlässigkeit verbessert. Einen Einfluss können jedoch auch die Reflektion und Dämpfung des Satelliten-Signals in dicht bebauten Gebieten oder in Schluchten haben. Autobahnen sind jedoch meist in offenen Landschaften und auch Stadtautobahnen sind aufgrund ihrer Breite ausreichend frei. In Tunnel-Abschnitten kommt es zu keiner FCD-Erfassung. Tunnel werden jedoch stets überwacht und auf Staus wird sofort beispielsweise durch die Sperrung des Tunnels oder Blockabfertigung reagiert. Das Stauende wandert somit sofort auf den Außenbereich des Tunnels.</p> <p>Auf die Qualität der Daten hinsichtlich der Aktualität hat die Abdeckung der Streckenabschnitte hinsichtlich des Mobilfunknetzes einen Einfluss.</p>
<b>Aktualität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktualität <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aktualität (Start und Detektion): Verzögerung zwischen Auftreten eines Stauendes (Referenz) und der ersten Bereitstellung der Stauende-Daten durch z. B. FCD <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aufzeichnung/Protokollierung</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

Qualitätsparameter nach FGSV	KPIs für Stauende-Daten aus dem Praxistest
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aktualität (Update) = Aktualisierungsfrequenz: Verzögerung zwischen detektierten Änderungen eines Stauendes und der Bereitstellung der neuen Stauende-Daten <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aufzeichnung/Protokollierung</li> </ul> </li> </ul>
<b>Zugänglichkeit</b>	Es gibt einen Markt für FCD und Stauende-Daten. Damit können durch die öffentliche Hand diese Daten beschafft und zugänglich gemacht werden.

Tab. 5-1: Qualitätsparameter für Daten von Detektoren im Straßenverkehr [FGSV 2019]

### 5.1.2 Rijkswaterstaat: Ergebnisse aus einer Marktbefragung zu Stauende-Daten

Ein Bericht von Rijkswaterstaat in den Niederlanden über eine Marktbefragung zu Stauende-Daten zeigt [KRAMER, H., ADAMS, R. 2020], dass verschiedene Datenanbieter Stauende-Daten erfassen und der öffentlichen Hand zur Verfügung stellen können. Hintergrund der Marktbefragung war es, Möglichkeiten der Erfassung von Stauenden und der Herausgabe einer Stauende-Warnung in die Fahrzeuge zu erörtern. Dies insbesondere für Streckenabschnitte und Bereiche, die nicht über eine Verkehrsmanagementinfrastruktur verfügen und entsprechend überwacht werden können. Ebenfalls Gegenstand der Marktkonsultation war es, einen offenen Austausch zwischen der öffentlichen Hand und der Privatwirtschaft zu initiieren, sich über die jeweiligen Rollen zu verständigen und Möglichkeiten der künftigen Zusammenarbeit zur Entwicklung einer Stauende-Warnung zu erörtern.

Ergebnis der Befragung war, dass alle 12 befragten Serviceprovider der Stauende-Warnung einen großen Beitrag zur Verkehrssicherheit beimessen. Vor diesem Hintergrund haben einige der befragten Teilnehmer bereits eigene Dienste entwickelt, andere wiederum sehen den Service als künftigen Entwicklungsbereich, der jedoch ein entsprechendes Geschäftsmodell benötigt. Bedeutend ist die seitens der Serviceprovider große Bereitschaft zur gemeinsamen Zusammenarbeit mit der öffentlichen Hand, wobei die Rolle des Rijkswaterstaat als Initiator im öffentlichen Interesse und als Investor, der mit seinem Beitrag die weitere Entwicklung entsprechender Dienste vorantreibt.

Ein Folgeschritt der Marktanalyse und Resultat der gemeinsamen Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand und Privatwirtschaft war die Bereitschaft einiger Anbieter ihre FCD und Stauende-Daten zur Verfügung zu stellen, damit ihre Daten mit den Daten aus dem bestehenden infrastrukturgestützten Stauende-Warnsystem verglichen werden können [VERWEIJ, F. 2020]. Der Vergleich brachte folgende Ergebnisse:

- Die FCD sind verlässlich und plausibel
- Die Ergebnisse der FCD im Vergleich zu den Daten des Stauende-Warnsystems haben eine Latenzzeit von 1 bis 3 Minuten gezeigt
- Die Latenz ist bei steigenden Geschwindigkeiten größer als bei sich verringernden
- Die Stauende-Daten der FCD-Anbieter erscheinen vielversprechend, zeigen jedoch noch Verbesserungspotential

### 5.1.3 Das Vergabeverfahren zur Sicherstellung der Qualität

Die Qualität der Datenerfassung muss dem Zweck entsprechen, für den die Daten genutzt werden. Wenn also Stauende-Daten beschafft werden, um sie nahe-Echtzeit in Fahrzeugen den Fahrzeuglenkern zur Verfügung zu stellen, sind die Qualitätsanforderungen hinsichtlich der zeitlichen und räumlichen Genauigkeit deutlich höher, als wenn die Daten über VBAs oder den Rundfunkdatendienst übermittelt werden. Ort und Zeit, für die der Fahrzeuglenker eine Information über ein Stauende bekommt, sind nicht genau bestimmt. Zudem können die Informationen zum Stauende ebenfalls ungenauer sein, da sich das Stauende dynamisch flussaufwärts bewegt. Außerdem nimmt der Fahrzeuglenker nur jene Information auf, die zum Zeitpunkt der Passage an der VBA oder zum Zeitpunkt der Verkehrsmeldung über den Rundfunkdatendienst kommuniziert wird.

Durch die Rolle als Beschaffer der Daten und im Wirkbetrieb als jene Entität, die die Daten zur Verfügung stellt, kommt der öffentlichen Hand eine besondere Verantwortung zur Sicherstellung der Qualität der Daten

zu. Bei beiden Vorgängen sind Aspekte zu Datenqualität durch die Einzelheiten im Beschaffungsprozess und in den Vertragsausgestaltungen mit den Datenlieferanten zu integrieren.

Um zu verstehen, inwiefern und auf welcher Grundlage für den Ausschreibungszweck sinnvolle Stauende-Daten in einem öffentlichen Vergabeverfahren beschafft werden können, sind folgende Fragen zu klären:

- Was ist der Zweck der Beschaffung?
- Was soll genau beschafft und ausgeschrieben werden?
- Welches Vergabeverfahren eignet sich für die Beschaffung der Stauende-Daten und welche Bedingungen sind dafür zu befolgen?
- Welche Anforderungen sind für die Beschreibung der zu erbringenden Leistung zu spezifizieren?
- Welche Chancen und Risiken ergeben sich aus dem vorgeschlagenen Vorgehen?

## 5.2 Zweck der Beschaffung

Auffahrunfälle auf Stauenden sind immer noch ein hohes Sicherheitsrisiko im Verkehr, insbesondere auf Autobahnen. Gerade wenn LKWs auf Stauenden auffahren, kommt es zu verheerenden Unfällen, in denen immer wieder Menschen ihr Leben verlieren. Dem gilt es entgegenzuwirken.

Es ist allgemein akzeptiert, dass eine rechtzeitige und verlässliche Warnung des Fahrers vor einem sich nähernden Stauende, das Unfallrisiko deutlich reduzieren könnte. Derzeit werden Nutzer von Navigationssystemen (Apps oder Navigationsgeräte) von privaten Anbietern über Stauenden informiert. Andere nutzen vergleichbare Angebote von den Automobilherstellern oder die Gratis-App „Google Maps“ von Google mit ihrer integrierten Verkehrslagedarstellung. Dennoch werden dadurch nicht alle Nutzer der Autobahn erreicht. Daher gibt es den Wunsch Stauende-Warnungen für alle Lenker eines Fahrzeugs auf Grundlage qualitätsgesicherter Stauende-Daten allgemein verfügbar zu machen. Die Warnung könnte über Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA), über die Verkehrsinformation des öffentlichen Rundfunks und anderer Sender sowie das Internet verbreitet werden. Über den Mobilitätsdaten Marktplatz (MDM) der BAST könnten die Stauende-Daten den Rundfunkstationen und den Verkehrszentralen bereitgestellt werden.

Der Zweck der Beschaffung wäre somit die Bereitstellung von qualitätsgesicherten Stauende-Daten auf Autobahnen für Verkehrszentralen und Rundfunkstationen, um Autobahnnutzer über Stauenden via VBA und Rundfunkdatendienst und Internet zu informieren.

## 5.3 Vergabeverfahren zur Beschaffung von Stauende-Daten

### 5.3.1 Verschiedene Formen öffentlicher Vergabeverfahren

Bevor ein öffentliches Vergabeverfahren angestoßen wird, ist die Entscheidung über die Form des Vergabeverfahrens zu treffen. Je nach Anzahl potenzieller Bieter, nach Kenntnis der auszuschreibenden Dienstleistung und Technologie bei der ausschreibenden Stelle und der geschätzten Auftragssumme kann zwischen mehreren Formen der Ausschreibung unterschieden werden.

- Einstufiges Verfahren
- Zweistufiges Verfahren
- Einstufiges Verhandlungsverfahren
- Zweistufiges Verhandlungsverfahren

Das **Einstufige Verfahren** ist das einfachste. Auf eine Ausschreibung wird durch Bieter ein Angebot eingereicht und dieses wird durch den Auftraggeber auf Grundlage der Eignungskriterien, der Mindestanforderungen und der Zuschlagskriterien geprüft und bewertet. Diese Form des Vergabeverfahrens wird bei Beschaffungen mit einem nicht zu großen Bieterkreis, nicht zu großen Auftragsvolumen und klar umreißbarer Leistungen gewählt.

Ein **Zweistufiges Verfahren** besteht aus dem Teilnahmeverfahren und dem eigentlichen Vergabeverfahren. Im Teilnahmeverfahren wird mit einer eher oberflächlichen Leistungsbeschreibung ausgeschrieben und die Bieter dazu aufgefordert, sich um die Teilnahme am Vergabeverfahren zu bewerben, indem sie ihre grundsätzliche Eignung für den auszuschreibenden Leistungsgegenstand nachweisen. Die Eignung wird geprüft und einem eingeschränkten Bieterkreis wird die Ausschreibung mit

der Leistungsbeschreibung übermittelt. In diesem Fall handelt es sich um ein Vergabeverfahren, bei dem eine große Anzahl an Bietern erwartet wird.

Ein **Verhandlungsverfahren** (einstufig oder zweistufig) wird gewählt, wenn es sich um sehr komplexe Beschaffungen mit einem sehr großen Auftragsvolumen handelt, in denen vor allem die Beziehung zwischen einzelnen Leistungen der Bieter und den sich daraus ergebenden Kosten dem Auftraggeber im Vorfeld der Ausschreibung nicht klar sind. Durch die in den Verhandlungen entstehende Transparenz, hat der Auftraggeber die Möglichkeit seine Leistungsbeschreibung anzupassen und somit für die notwendige Beschaffung einen günstigeren Preis zu erhalten.

Ist für den Auftraggeber nicht klar, wie der Stand der Technik zum Zeitpunkt der Ausschreibung ist, kann der Auftraggeber im Vorfeld eines Vergabeverfahrens eine **Marktbefragung** durchführen (siehe das Beispiel aus den Niederlanden). Dabei werden Anbieter von FCD und Stauende-Daten eingeladen ihre Konzepte zu präsentieren und ihre Sicht bezüglich der erreichbaren Qualität der Daten darzustellen. Alternativ dazu kann der Auftraggeber ein Einstufiges Verhandlungsverfahren wählen. Hierbei kann der Auftraggeber die Informationen aus dem Markt in den Verhandlungen abfragen, die dann Voraussetzung für die Definition der Leistungsbeschreibung für das finale Angebot sind. In Bezug auf die Stauende-Daten könnten diese Informationen über die mindestens zu erreichenden Zielwerte der KPIs oder Ideen zum Nachweis der Leistungserbringung sein.

### 5.3.2 Prüfung und Bewertung von Angeboten

In einem ersten Schritt werden Angebote geprüft. Hierbei geht es darum, die Eignung (wenn noch nicht beim Teilnahmeantrag erfolgt) auf Grundlage der Eignungskriterien zu prüfen. Es gibt dabei eine formale Prüfung, die sich mit der Vollständigkeit und Gültigkeit der eingereichten Eignungsnachweise beschäftigt, und die inhaltliche Prüfung, die untersucht, ob der vom Bieter bereitgestellte Nachweis die Eignungskriterien erfüllt. Nach der Beurteilung der Eignung ist zu prüfen, ob das Angebot ausschreibungskonform in Bezug auf den Nachweis der Leistung der Mindestanforderungen ist. Für jede Mindestanforderung muss bereits in der Leistungsbeschreibung klar definiert werden, auf welche Weise die Mindestanforderung nachgewiesen werden muss.

Bezogen auf die Stauende-Daten wird ein Teil der Mindestanforderungen der Ausschreibung als KPIs definiert, die zusammen das Service Level Agreement (SLA) bilden. Durch die KPIs wird die Qualität der zu erbringenden Dienstleistung beschrieben. Es besteht beispielsweise für eine ausschreibende Stelle die Möglichkeit, als Nachweis der geforderten Zielwerte der KPIs zu den Stauende-Daten die Erstellung eines technischen Konzepts von den Bietern zu verlangen, in dem eine Beschreibung der genutzten Algorithmen erfolgen muss. Je höher und genauer die Qualitätsanforderungen sind, umso notwendiger wird es, eine Teststellung für den Nachweis zu nutzen. Hohe Anforderungen hinsichtlich der zumindest zu erreichenden Zielwerte der KPIs hat zur Folge, dass Bieter auch nicht einfach diese Zielwerte erreichen können. Bieter, die die Zielwerte nicht erreichen können, müssten aus dem Vergabeverfahren ausgeschieden werden, da sie die als Mindestanforderung definierte Leistung nicht erbringen können.

Wenn ein Bieter beispielsweise bei 90 % der Fälle nur eine Lagegenauigkeit mit einer Abweichung von [- 300, 800] m anstatt der geforderten Abweichung [-200, 700] m erreicht, müsste er ausgeschieden werden. Dies ist jedoch durch eine Plausibilisierung durch ein Konzept nicht nachvollziehbar zu entscheiden. Sollte dieser Bieter ein günstigeres Angebot gestellt haben, da er vielleicht auch geringere Kosten bei der Entwicklung des Algorithmus hatte, so würde er den Zuschlag bekommen, obwohl er die geforderte Mindestanforderung nicht erreicht. Es ist im Vergabeverfahren sicherzustellen, dass es zu keiner Verzerrung des Wettbewerbs kommt. Eine Teststellung müsste jedoch auch schon in der Ausschreibung definiert worden sein. Wenn jedoch als Zielwert der KPIs ein Wert gewählt wird, der vermutlich von jedem mit vielen Fahrzeugen im Feld FCD erfassenden Anbieter erreicht werden kann, so reicht eine nachvollziehbare Plausibilisierung durch ein Konzept. Die **Prüfung der Nachweise** im Sinne der Plausibilität (bei Konzepten) und der tatsächlichen Einhaltung (bei einer Teststellung) wird durch das Vergaberecht vorgeschrieben. Auch während der Vertragslaufzeit ist in regelmäßigen Abständen die Einhaltung der Mindestanforderungen zu überwachen.

Die Bewertung der Angebote erfolgt auf Grundlage der Zuschlagskriterien. Die Zuschlagskriterien sind so eindeutig als möglich auch in Bezug auf die zu erreichende Punktzahl zu formulieren. Hier sind quantitative Kriterien deutlich einfacher und vor der Vergabekammer im Falle eines Nachprüfungsverfahrens deutlich leichter zu vertreten. Beispielsweise könnte der Auftraggeber die mindestens zu erreichenden Zielwerte durch die Bieter selbst angeben lassen. Je höher der angebotene

Zielwert, desto höher wäre auch die Punktzahl. Der Nachweis für die Angaben der Bieter müsste auf jeden Fall durch eine Teststellung erfolgen.

## 5.4 Mindestanforderungen und Zuschlagskriterien

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, stellt der Nachweis der Erfüllung der Mindestanforderungen oder der Zuschlagskriterien eine besondere Herausforderung dar. Die Bedeutung des Nachweises wird umso größer, je höher die Anforderung ist und damit je schwieriger die Anforderung zu erfüllen ist und je mehr die Anforderung für die Auswahl eines Bieters maßgebend war. Daher soll nachfolgend noch eigens auf mögliche Nachweisverfahren für die Qualitätsparameter eingegangen werden.

### 5.4.1 Nachweisverfahren für Qualitätsparameter

#### Nachweis durch ein Konzept:

Im Allgemeinen werden bei Dienstleistungen für den Nachweis von der Erfüllung von KPIs in Service Level Agreements (SLA) Konzepte und Vorgehensweisen verlangt. Es werden in einem Konzept die zum Einsatz kommenden technischen und personellen Ressourcen, die Prozesse und Regeln beschrieben und in Bezug zu den KPIs gebracht. Hinsichtlich der Stauende-Daten handelt es sich um keine Dienstleistung im Sinne von Arbeitsleistung, die durch Menschen erbracht wird, sondern um Daten, die automatisch generiert werden und eine bestimmte Information beinhalten. Überprüft werden soll mit den KPIs die Qualität dieser Information.

Für den Nachweis der Erfüllung der Mindestanforderungen kann ein Konzept und die Darstellung der Algorithmen genutzt werden, wenn aus diesen die folgenden Punkte ersichtlich werden:

- Aus welchen Rohdaten mit welchen Dateninhalten werden die Stauende-Daten errechnet?
- Was sind die Mindestanforderungen an die Rohdaten, dass ein Stauende überhaupt erfasst wird?
- Welchen Einfluss haben welche Mindestanforderungen an die Rohdaten auf die Qualität der Stauende-Daten respektive auf welchen KPI?
- Welche statistischen Verfahren werden für die Erhebung der Stauende-Daten angewendet?
- Bezogen auf das Autobahnnetz, für welche Autobahnabschnitte werden diese Mindestanforderungen an die Rohdaten immer oder nur zu einem bestimmten Prozentsatz oder gar nicht erfüllt?
- Wie funktionieren die Algorithmen, mit welchen Rohdaten, in welcher Frequenz und auf welche Weise tragen sie zur Qualität der Stauende-Daten bei?
- Gibt es Referenzmessungen des Bieters, die die Einhaltung der KPIs nachvollziehbar nachweisen?
- Welche Vorkehrungen können getroffen werden, so dass die Einhaltung der Mindestanforderungen auch über einen längeren Zeitraum sichergestellt und nachgewiesen werden kann.
- Wie würde z. B. ein monatlicher Bericht über die KPIs aussehen, damit der Auftraggeber nachvollziehbar die Einhaltung der KPIs prüfen kann?

Dieses Konzept, die Beschreibung der Algorithmen und die monatlichen Berichte wären auf jeden Fall ausreichend, wenn die Mindestanforderungen an die KPIs in einem Bereich wären, dass ein professioneller und in seinem Gebiet der FCD routinierter Anbieter die Zielwerte erreichen können müsste. Sind jedoch die in den Mindestanforderungen formulierten Zielwerte sehr herausfordernd, wird ein Nachweis, der ausschließlich die Angaben durch Plausibilisierung überprüft nicht genügen.

#### Nachweis durch eine Teststellung:

Der Praxistest für die Qualitätsmessung der Stauende-Daten hat zusammenfassend folgende Erkenntnisse gebracht:

1. Das automatisierte Testverfahren über Trajektorien Erkennung per Video, wie es im Praxistest zum Einsatz kam, funktioniert und kann zur Darstellung als Referenz verwendet werden.
2. Um aufgrund der hohen Dynamik der Stauausbreitung ein valides Ergebnis über ein kameragestütztes Testsystem zu erlangen, braucht es eine Teststrecke die über mehrere Kilometer hinweg überlappendes und hochauflösendes Videomaterial liefert.

3. Bestehende Anlagen der Straßenverkehrszentralen (wie Verkehrskameras und Videoanlagen für die TSF) sind für diesen Zweck nicht geeignet.

Das bedeutet, dass für den Nachweis der Erfüllung der Mindestanforderungen in einer Teststellung ein eigenes Testsystem angeschafft werden müsste. Dieses sollte portabel sein, damit es auch während der Vertragslaufzeit an verschiedenen Orten zum Einsatz gebracht werden kann. Im Allgemeinen werden für solche Teststellungen Gutachter beauftragt, die ggf. auch über das notwendige Testsystem verfügen.

In Rahmen einer Ausschreibung zur Beschaffung von Stauende-Daten müsste für den Nachweis der Qualität durch eine Teststellung das zugehörige Testverfahren genau beschrieben werden. Es muss sichergestellt werden, dass potenzielle Bieter ein genaues Bild über die Überprüfung der Einhaltung der KPIs bekommen. Das in Kapitel 3 beschriebene Detailkonzept sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse können hier als lessons learned mit einbezogen werden.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Nachweis mittels Teststellung (im Vergleich zum Nachweis mittels Konzept) sowohl personell als auch finanziell zu hohen Kosten auf Seite der ausschreibenden Stelle, aber auch auf Seite der Datenanbieter führt. Insofern empfiehlt sich eine Teststellung ausschließlich bei für alle Bieter sehr herausfordernden Zielparametern als Mindestanforderungen definierten KPIs, deren Einhaltung nicht mehr auf Grundlage eines Konzepts plausibilisiert werden können. Außerdem sollte eine Teststellung zum Nachweis der Qualität der Stauende-Daten nur dann erfolgen, wenn eine hohe Beweiskraft der von den potenziellen Bietern angegebenen KPIs gefordert wird. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn potenzielle Bieter auf Basis der Zuschlagskriterien durch Angabe hoher Zielwerte für die KPIs mehr Punkte erlangen können. Je nach Gewichtung der Zuschlagskriterien könnten bereits nur geringe Unterschiede bei den Qualitätszusagen der Bieter den Zuschlag beeinflussen. Eine Teststellung wäre hier zu Nachweisführung und Bewertung der Angebote obligatorisch.

#### **5.4.2 Inhaltliche Bestimmung der Mindestanforderungen ggf. Zuschlagskriterien**

Im Kapitel 5.1.1 wurden die durch die FGSV-Studie allgemein für Detektoren im Straßenverkehr formulierten Qualitätskriterien in Bezug zu den KPIs zur Messung der Qualität der Stauende-Daten aus dem Praxistest gestellt. Es hat sich gezeigt, dass grundsätzlich alle FGSV-Kriterien gut mit den für den Praxistest definierten Kriterien (siehe Kapitel 2.5.3) abgedeckt werden können und für die Messung der Qualität von Stauende-Daten sinnvoll scheinen. Damit ist zusätzlich zu der bereits analysierten Literatur zur Messung der Qualität von Stauenden ein weiterer Beleg gegeben, dass die KPIs grundsätzlich geeignet sind. Dennoch wurde im Praxistest deutlich, dass die Referenz-Messung auf Basis bestehender Ressourcen (bestehende Verkehrskameras) nicht möglich ist, da kein mehrere Kilometer langes Testfeld mit überlappenden Kamerasichtfeldern besteht. Daraus ergibt sich die Herausforderung die inhaltlich sinnvollen KPIs nach Möglichkeit unabhängig von Referenzmessungen zu erstellen und sie an die Anforderungen, die sich aus dem Verwendungszweck ergeben, anzupassen.

Berücksichtigt man, dass sich ein Stauende durchschnittlich innerhalb einer Minute 250 m [KESTING & TREIBER 2010] stromaufwärts bewegt, so wird deutlich, dass Verkehrsinformationen über harte Stauenden heute über z. B. eine VBA, Rundfunk und Internet keine derart anspruchsvollen Zielwerte in Bezug auf Genauigkeit (siehe Kapitel 2.5.3) erfordern. Ohne die tatsächlichen Zeitverluste zwischen dem Eintreten und der Erfassung eines Staus, bis hin zur Verbreitung der Information über die bestehenden Verkehrsinformationsmöglichkeiten im Praxistest erhoben zu haben, erscheint die Latenz hier zu groß, insbesondere, sofern die Meldungen der Datenanbieter vor Verbreitung erst verifiziert werden müssten. Erst mit dem Aufkommen kooperativer Systeme (C2X), wird hier eine Neubewertung der KPIs Genauigkeit und Aktualität erforderlich, da aufgrund der neuen Kommunikationsmethoden geringere Latenzen und neuer Rollenmodelle zu erwarten sind.

Gleichwohl muss der KPI der Korrektheit (siehe Kapitel 2.5.3) einen hohen Anspruch erfüllen. In diesem KPI geht es um die Trefferrate sowie die Präzision. Ohne die Konzepte und die Algorithmen der Datenlieferanten zu kennen, kann davon ausgegangen werden, dass diese Parameter im Wesentlichen von der Anzahl der sich in diesem Bereich befindlichen Fahrzeuge, die FCD übermitteln, der Erfassungsgenauigkeit/-verlässlichkeit der FCD sowie des von den Datenanbietern hinterlegten Algorithmus zur Erfassung von Stauenden abhängen. Durch geringere Anforderungen hinsichtlich der Verfügbarkeit, kann die Qualität der Korrektheit erhöht werden, indem eine Mindestanforderung an die Anzahl FCD übermittelnder Fahrzeuge in dem bestimmten Abschnitt zur Detektion eines Stauendes gefordert wird. Es sollte daher möglich sein, durch ein Konzept die Plausibilität der Zusage des Bieters zur Erfüllung der hier beschriebenen Anforderungen zu prüfen. Für die Überwachung der Trefferrate sowie der

Präzision wird einerseits der KPI auf Grundlage von etwas ungenaueren Referenzdaten von beispielsweise Radar-Detektoren der VBA berechnet und plausibilisiert und andererseits indirekt über monatliche Berichte zu den vom FCD-Anbieter in seinem Konzept definierte Mindestanforderungen an die FCD zur Berechnung eines Stauendes.

Die Lagegenauigkeit sowie die Genauigkeit bezogen auf den Zeitpunkt der Entstehung eines Stauendes spielen wie bereits oben erwähnt aufgrund der Trägheit der Kommunikationskanäle eine geringere Rolle, als wenn das Stauende direkt für jedes Fahrzeug abhängig vom aktuellen Standort dem Fahrer mitgeteilt würde. VBA sind an einem Standort und könnten regelmäßig im Falle eines sich in Richtung der VBA bewegendes Stauendes die passierenden Fahrer warnen. Nehmen wir an, dass es zwischen 2 – 4 Minuten dauert, bis eine Stauende-Warnung an der VBA angezeigt wird, so ist das Stauende bereits 500 – 1.000 m stromaufwärts vom Ort des auf Basis von FCD detektierten Stauendes gewandert. Bei einer Aktualisierungsfrequenz von einer Minute sind zusätzliche 250 m zu berücksichtigen. Die Stauende-Warnung an der VBA könnte so gefasst sein, dass sie sich auf den Autobahnabschnitt bezieht und ggf. eine Reduktion der Geschwindigkeit vorgibt (beispielsweise „Stauende nächster Autobahnabschnitt“ und „Tempo 80“). Die Überprüfung ob Stauende-Daten in einer ausreichenden Lagegenauigkeit verfügbar waren, müsste über die Verfügbarkeit von FCD in einem Autobahnabschnitt erfolgen. Wenn ausreichend FCD für einen Autobahnabschnitt in den Zeiträumen, in denen es zu Staus kommen kann, verfügbar sind, kann davon ausgegangen werden, dass auch die Lagegenauigkeit ausreichend war. Dasselbe gilt für die Genauigkeit bezogen auf den Zeitpunkt der Entstehung. Sie wird jedoch nicht als eigener KPI gefordert.

Es ist notwendig die in der Prozesskette entstehenden Latenzen für die Angaben an einer VBA oder als Verkehrsmeldung im Radio oder im Internet zu berücksichtigen. Geschwindigkeitsbegrenzungen bei nahen Stauenden in Bezug zu einer VBA würden das Risiko schwerer Auffahrunfälle reduzieren. Daher wären Schwellenwerte bezogen auf die Distanz zwischen Stauende (z. B. detektiertes Stauende + 250 m [bei einer Minute Aktualisierungsfrequenz] + 750 m [bei drei Minuten Latenz zur Anzeige an einer VBA] = tatsächliches Stauende zum Zeitpunkt der Anzeige an der VBA) und Standort der VBA zu definieren, die jeweils eine stärkere Geschwindigkeitsbeschränkung auslösen. Daher bleibt die Aktualisierungsfrequenz ein wesentlicher Parameter und sollte zumindest auf dem Niveau gefordert werden, wie in Kapitel 2.5.3 definiert. Die Aktualität wird nicht auf das tatsächliche Ereignis der Bildung eines Stauendes bezogen, sondern auf den Zeitpunkt der Stauende-Detektion. Dies scheint ausreichend genau, da die Genauigkeit bezogen auf den Zeitpunkt der Entstehung, wie oben bereits festgehalten, durch eine hohe Datendichte sichergestellt worden sein sollte.

Da wir im Wesentlichen ausgehen, dass keine Referenzdaten verfügbar sind, wird die Verfügbarkeit von ausreichend vielen FCD in einer ausreichenden Qualität zur Überprüfung der Qualität der Stauende-Daten notwendig. Ziel der Beschaffung von Stauende-Daten ist es, flächendeckend für das deutsche Autobahnnetz über Stauende-Daten zu verfügen. Wenn man davon ausgeht, dass die Flotte von Fahrzeugen, von denen der FCD-Anbieter über FCD verfügt, normal auf die Gesamtpopulation der Fahrzeuge verteilt sind, kann daraus geschlossen werden, dass FCD-Anbieter, die Stauenden berechnen und ihren Kunden anbieten, in jenen Autobahnabschnitten, in denen sich Staus bilden, auch über ausreichend Fahrzeuge verfügen, die FCD übermitteln. Es besteht demnach eine Korrelation zwischen Autobahnabschnitten mit Staus und der Datendichte. Eine Forderung, dass auf allen Autobahnabschnitten zu jeder Zeit ausreichend FCD verfügbar sind, ist demnach überschießend und wird derzeit nicht erfüllbar sein. Eine grundsätzliche FCD Verfügbarkeit müsste hinsichtlich der Zeitabschnitte und in Bezug auf den Anteil der Autobahnabschnitte, in denen ausreichend FCD in einer bestimmten Qualität verfügbar sind, eingeschränkt werden. Beispielsweise könnte dies ein Zeitraum zwischen 6:00 und 21:00 h für durchschnittlich 60 % der Autobahnabschnitte sein. Die Qualität der FCD müsste dann über die Datendichte, wie sie in Kapitel 2.5.4 definiert wurde, bestimmt werden. Der Nachweis würde über den monatlichen Bericht erfolgen. Auf die Durchdringungsrate müsste verzichtet werden.

Alle KPIs, die in der Ausschreibung zur Beschaffung von Stauende-Daten zur Anwendung kommen sollen werden in der Anlage 1 als Mindestanforderungen definiert. Die KPIs können sich jedoch für die finale Leistungsbeschreibung auf Grundlage der Verhandlungen noch einmal ändern, da durch die von den Anbietern vorgestellten Konzepte mehr Erkenntnisse für die Definition indirekter Qualitätsmessungen zu erwarten sind.

## 5.5 Vorgehensbeschreibung für die Beschaffung von Stauende-Daten

### 5.5.1 Empfehlung für ein Vorgehen für die Beschaffung von Stauende-Daten

In den vorausgehenden Kapiteln 5.1 - 5.3 wurden mehrere Optionen für unterschiedliche Formen des Vergabeverfahrens beschrieben. Auch wurde das Problem des Nachweises und der Spezifikation von Mindestanforderungen erörtert und unterschiedliche Möglichkeiten dargestellt. Daraus lässt sich folgende Empfehlung für ein mögliches Vorgehen für die Beschaffung von Stauende-Daten formulieren:

1. **Beschaffungszweck:** „Die Bereitstellung von qualitätsgesicherten Stauende-Daten auf Autobahnen für Verkehrszentralen und Rundfunkstationen, um Autobahnnutzer über Stauenden via VBA und Verkehrsinformationen in Radio und Internet zu informieren.“
2. **Form des Vergabeverfahrens:** Einstufiges Verhandlungsverfahren
  - a. **Eignung:** Neben den eher formalen Eignungskriterien wie wirtschaftliche Eignung usw. werden Eignungskriterien für die fachliche Eignung definiert:
    - i. Referenzen zur externen oder internen Bereitstellung von FCD zur weiteren Verarbeitung
    - ii. Referenzen zur Bereitstellung von Stauende-Daten oder Stauende-Warnungen auf einem Navigationsgerät oder anderen Frontend-Geräten
  - b. **Verhandlung:** In der Verhandlung soll jeder Bieter in einem ersten Verhandlungsgespräch (Verhandlungsrunde) sein Konzept zur Erfassung von Stauenden und seine Einschätzung hinsichtlich der Qualität, die er glaubt verbindlich anbieten zu können, auf Grundlage der KPIs (siehe Kapitel Anlage1) als Zielwerte darstellen. Außerdem soll er darstellen, wie er glaubt, den Nachweis für die Erreichung der von ihm genannten Zielwerte der KPIs ohne externes Referenzsystem zu erbringen und diese Qualität auch über den gesamten Zeitraum der Beauftragung sicherstellen kann. Es wird vermutlich zu Änderungswünschen bezogen auf die Mindestanforderungen kommen. Daher scheint es zielführend, die Bieter zu ihren Änderungswünschen bereits im Vorfeld der zweiten Verhandlungsrunde zu befragen und auch die Angabe zu fordern, inwiefern sich der Änderungswunsch auf den Preis auswirkt. Für jeden Bieter wird je Verhandlungsrunde ein Verhandlungstermin anberaumt. Sollten die Verhandlungen keine zufriedenstellenden Ergebnisse bringen, so wird eine weitere Verhandlungsrunde geführt. Für jedes Verhandlungsgespräch wird vom Auftraggeber ein Protokoll erstellt und das Protokoll wird durch den Bieter bestätigt bzw. es werden vom Bieter Korrekturen gefordert. Damit wird größtmögliche Transparenz im Vergabeverfahren für den jeweiligen Bieter hergestellt und eine Gleichbehandlung der Bieter gewährleistet.
3. **Leistungsbeschreibung:** In der Leistungsbeschreibung werden die Erkenntnisse aus der Verhandlung sowohl für die Bestimmung der Zielwerte der KPIs genutzt, als auch für die Anforderung an die Nachweise in Bezug auf das Vergabeverfahren aber auch in Form von regelmäßig zu erstellenden Berichten während der Beauftragungszeit. Hinsichtlich der Zielwerte der KPIs könnte eine schrittweise Erhöhung der Anforderungen über die ersten paar Jahre in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Verhandlung angedacht werden. Als Nachweis für die Erfüllung der Mindestanforderungen wird auf eine Teststellung verzichtet. Anstelle dessen wird die Beschreibung des Konzepts zur Erfassung von Stauende-Daten verlangt. In der Leistungsbeschreibung sind selbstverständlich auch andere Anforderungen zu definieren wie die Schnittstellen zur Übermittlung der Daten, die Systemverfügbarkeit, das Berichtswesen usw. In der Anlage 1 werden die Anforderungen für die KPIs einschließlich der Nachweise beschrieben. Die zu erreichenden Zielwerte müssen nach Abschluss des Technischen Dialogs eingetragen werden. Auch die genaue Beschreibung der Nachweise für die einzelnen KPIs muss vermutlich angepasst werden, da das Verfahren zur Detektion des Stauendes den Autoren nicht bekannt ist. In Anlage 2 wird ein Beispiel für einen regelmäßig durch den Auftragnehmer zu erstellenden Bericht dargestellt. Der Bericht soll als Nachweis zur Einhaltung der KPIs im laufenden Betrieb dienen. Die tatsächlichen Berichtsinhalte können jedoch erst nach der Vergabe an einen Bieter erfolgen, da die relevanten Datenfelder für die Rückschlüsse auf die Einhaltung KPIs vom Verfahren zur Detektion

der Stauenden abhängen. Außerdem müssen vom Auftraggeber Mindestanforderungen an die Rohdaten definiert werden, die als Basis für die Kalkulation des Stauendes notwendig sind.

4. **Zuschlagskriterien:** Die KPIs zu Trefferrate, Präzision, Lagegenauigkeit werden für die Definition der Zuschlagskriterien nicht herangezogen. Sie sind ausschließlich Teil der Leistungsbeschreibung. Als Zuschlagskriterien eignen sich die KPIs zur Datendichte, zur Aktualisierungsfrequenz und zur Aktualität. Die Bieter geben sowohl für die Datendichte sowie für die Aktualisierungsfrequenz und Aktualität einen Zielwert an. Derjenige Bieter, der den höchsten Zielwert angegeben hat, bekommt 100 % der Punkte, die für das Zuschlagskriterium zu erreichen sind. Die Punkte zum jeweiligen Zuschlagskriterium der anderen Bieter werden auf Grundlage der Differenz zwischen ihrem Zielwert für den KPI und dem höchsten Zielwert bestimmt. Auch wenn die KPIs Datendichte, Aktualisierungsfrequenz und Aktualität als Zuschlagskriterien genutzt werden, ist für beide KPIs eine Mindestanforderung zu formulieren, die auf keinen Fall unterschritten werden darf. Bezogen auf das Zuschlagskriterium bedeutet die Angabe des Zielwerts der Mindestanforderung des KPIs 0 % und somit 0 Punkte. Der Nachweis für die Zuschlagskriterien erfolgt über einen Bericht über drei aneinander folgenden Monaten des vergangenen Jahres, die auf Grundlage der FCD und der Aktualisierungsfrequenz für die Verkehrsdaten bei ihren eigenen Produkten erstellt werden.

#### **5.5.2 Stärken, Schwächen und Risiken des vorgeschlagenen Vorgehens**

Die wesentliche Stärke des hier angeführten Vorgehens ist die Vermeidung einer sehr kostspieligen Teststellung bei gleichzeitiger Gewährleistung der geforderten Qualität durch regelmäßige Überwachung über Berichte, die nachvollziehbar Rückschlüsse über die Qualität der Stauende-Daten zulassen. Es ist jedoch zu betonen, dass dieses Verfahren ausschließlich für eine Beschaffung mit diesem Beschaffungszweck möglich ist.

Die Schwäche dieses Vorgehens ist, dass die Qualitätsanforderungen, außer an den KPI Korrektheit, relativ gering sind und sich somit nicht für Stauende-Warnungen in Echtzeit oder nahe Echtzeit eignen. Hier bräuchte es deutlich höhere Qualitätsanforderungen, deren Nachweis sich allein nicht verantwortungsvoll und rechtssicher über Plausibilisierung prüfen lässt, sondern einen Nachweis über ein Referenzsystem (Teststellung) benötigt, um eine rechtssichere Vergabe zu machen.

Das Risiko, insbesondere bei einer langen Vertragslaufzeit, besteht darin, dass sich die Möglichkeit ergibt, dass die öffentliche Hand in Echtzeit direkt in die Fahrzeuge hinein Stauende-Warnungen übermitteln kann. Dann wären sehr hohe Anforderungen an die Qualität der Stauende-Daten gefordert. Dem kann entgegengewirkt werden, indem die Vertragslaufzeit beispielsweise auf 5 Jahre begrenzt wird mit zwei Verlängerungsoptionen von jeweils 2,5 Jahren.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Auftretende Stauenden auf Autobahnen bergen ein hohes Risiko für Auffahrunfälle, die häufig zu schweren Personen- und Sachschäden führen. Um diese Unfälle künftig zu vermeiden, wird ein hohes Potential in der frühzeitigen Information der Straßenbetreiber über ein auftretendes Stauende sowie der Herausgabe einer entsprechenden „Stauende-Warnung“ an die Verkehrsteilnehmer gesehen. Voraussetzung ist, dass solche Ereignisse zuverlässig erkannt werden, was durch eine stationäre (Querschnitts-) Detektion, wie sie von den Straßenbetreibern betrieben wird, nur eingeschränkt möglich ist.

Eine Alternative zur Stauwarnung über stationäre Detektion sind Services von Datenanbietern und Navigationsdienstleistern, die über fahrzeugseitig generierte Daten, wie beispielsweise Floating Car Data (FCD), Stauenden erfassen und entsprechende Warnungen an ihre Nutzer (Verkehrsteilnehmer) kommunizieren. Doch welchen Kriterien müssen diese fahrzeuggenerierten Daten zur Erfassung von Stauenden im Hinblick auf deren Beschaffenheit bzw. Qualität für Zwecke des Verkehrsmanagements und der Verkehrsinformation unterliegen? Welche Mindestanforderungen sind an die Anbieter von kommerziell erhältlichen Stauende-Daten zu richten, für den Fall, dass die öffentliche Hand entsprechende Daten im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung beschaffen möchte?

Im Rahmen dieses Projektes wurde durch einen Praxistest im Realbetrieb eine Evaluierung von kommerziell zugänglichen Stauende-Daten vorbereitet, begleitet, umgesetzt und ausgewertet. Dies erfolgte anhand einer Bewertung der Detektions-Qualität auf Grundlage verschiedener Qualitätskriterien für Stauende-Daten. Aus den Ergebnissen sollten Mindestanforderungen an Stauende-Daten validiert und konkretisiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sowie Empfehlungen für ein zu wählendes Ausschreibungsverfahren sollen die öffentliche Hand bei der Beschaffung kommerziell erhältlicher Stauende-Daten unterstützen.

### 6.1 Definition der Anforderungen an Stauende-Daten

Im Hinblick auf Qualitätskennzahlen für Verkehrsinformationen bilden die Arbeiten der European ITS Plattform (EU EIP) eine wichtige Grundlage. Zudem sind in [HEINRICH, TH. ET AL. 2018] verschiedene Qualitätskriterien für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste beschrieben.

Grundsätzlich war zu beachten, welche Qualitätskriterien für die Durchführung eines Praxistests zur Erfassung von Stauenden zu berücksichtigen sind. In Anlehnung an die Grundlagenliteratur wurden die wichtigsten Qualitätskriterien für Stauende-Daten die (1) Korrektheit, die (2) Aktualität und die (3) Genauigkeit definiert.

Zwar geht aus der Literatur ebenfalls hervor, dass die grundsätzliche „Verfügbarkeit“ ein Qualitätskriterium innerhalb von Pilotprojekten und Ausschreibung war, jedoch ist dieses Kriterium für die Durchführung des Praxistests weniger relevant und wird vorausgesetzt. Weiter wurde angenommen, dass die Qualitätskriterien „Konsistenz“ und „Vollständigkeit“ für die Durchführung des Praxistests nicht notwendig sind und als fakultativ angesehen werden können. Für den Fall einer öffentlichen Ausschreibung und des Ankaufs von FCD durch die öffentliche Hand sollten diese weiteren Qualitätskriterien an die FCD aber berücksichtigt werden.

Qualitätskriterium	Beschreibung
<b>Korrektheit</b>	<p><b>Die Korrektheit kann ausgedrückt werden durch die zwei Unterkriterien Trefferrate und die Präzision.</b></p> <p><b>Trefferrate</b> beschreibt den Anteil aller relevanten Meldungen (Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.) an der Gesamtzahl der Stauende-Ereignisse (Es gibt ein Stauende, aber es wurde nicht immer erfasst.) und entspricht dem Maß für die Vollständigkeit einer Trefferliste.</p> <p><b>Präzision</b> bezeichnet den Anteil aller relevanten Meldungen (Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.) an der Gesamtzahl der Meldungen (Es wurde ein Stauende erfasst, aber es gab nicht immer eins.) und entspricht dem Maß für die Relevanz einer Trefferliste.</p>
<b>Aktualität</b>	<p><b>Aktualität (Start und Detektion):</b> Verzögerung zwischen Auftreten eines Stauendes (Referenz) und der ersten Bereitstellung der Stauende-Daten durch z. B. FCD (Aufzeichnung/Protokollierung)</p> <p><b>Aktualität (Update)</b> entspricht der <b>Aktualisierungsfrequenz:</b> Verzögerung zwischen detektierten Änderungen eines Stauendes und der Bereitstellung der neuen Stauende-Daten (z. B. durch Aufzeichnung/Protokollierung)</p>

<b>Genauigkeit (Raum und Zeit)</b>	<p><b>Lagegenauigkeit</b> des Stauendes: Genauigkeit der gemeldeten Stauende-Position (FCD) in Bezug auf die Position des tatsächlichen Stauendes (Referenz)</p> <p><b>Genauigkeit der Startzeit</b> des Stauendes: Differenz zwischen der tatsächlichen Startzeit (Referenz) und der gemeldeten Startzeit (FCD).</p>
------------------------------------	---

Tab. 6-1: Qualitätskriterien an Stauende-Daten

## 6.2 Durchführung des Praxistests

Der Praxistest beinhaltet einen Vergleich von über Videokameras erfassten Stauenden im realen Verkehrsablauf mit den Meldungen über Stauenden der vier Datenanbieter TOMTOM, HERE, BE-MOBILE und INRIX. Ein Marktvergleich der Qualität von Anbietern entsprechender Stauende-Meldungen wurde nicht durchgeführt. Sämtliche Meldungen der Daten-Anbieter werden nur in anonymisierter Form veröffentlicht. Bild 1-1 skizziert den methodischen Ansatz des Projektes.

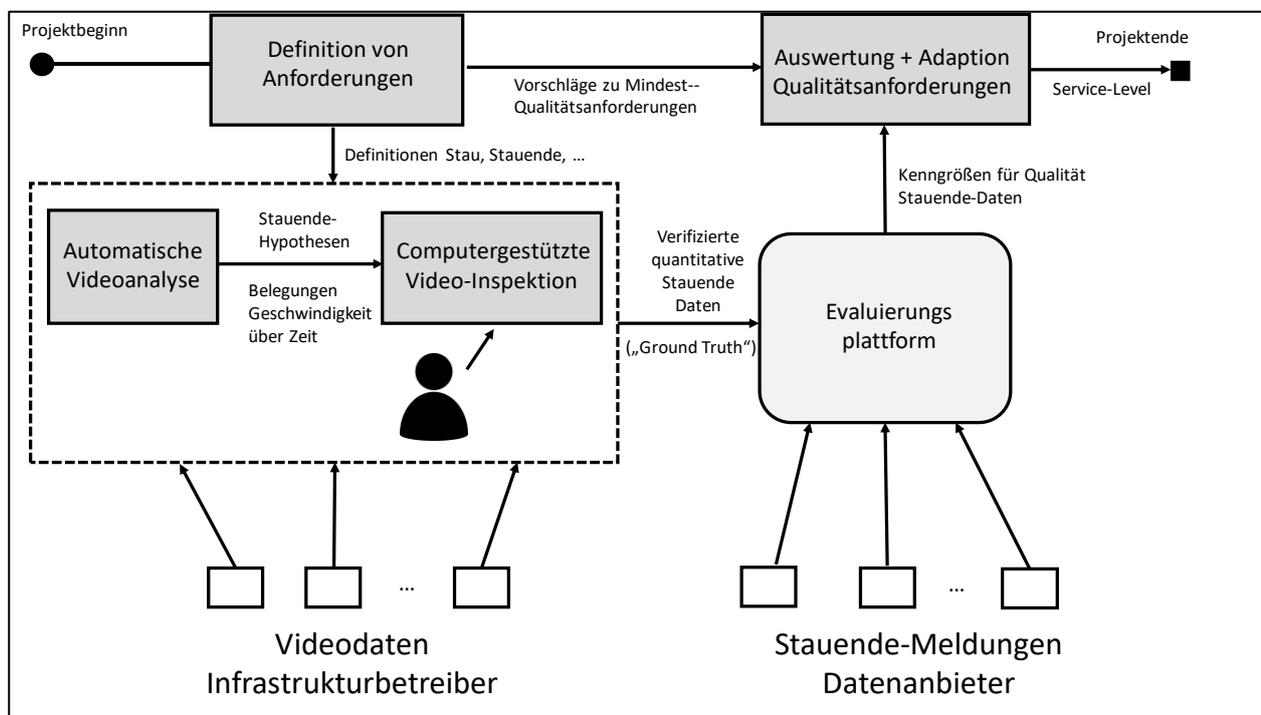


Bild 6-1: Untersuchungsansatz

Ausgangslage bildete eine internationale Betrachtung von Definitionen zu Stau und Stauenden sowie zu Anforderungen an Stauende-Daten. Für den im Praxistest angestrebten Vergleich von Stauende-Meldungen der Datenanbieter (Ort, Zeit, Stau-ID für den relevanten geografischen Bereich im Evaluierungszeitraum) mit dem realen Verkehrsablauf wurde eine Teststrecke mit entsprechender Verkehrskamerainfrastruktur gesucht. Anhand von aufgezeichneten Videodaten war es das Ziel Stauerscheinungen mit potenziell gefährlichen (harten) Stauenden zu erheben und anschließend mit den Meldungen der Datenanbieter zu vergleichen. Da eine rein manuelle Inspektion und Beurteilung der großen Menge an Videomaterial einen unverhältnismäßig hohen Aufwand bedeutet, wurde für eine automatische Videoauswertung ein Analysetool entwickelt, das mit speziellen Algorithmen aus den vorliegenden Videodaten die Fahrzeuggeschwindigkeiten und Fahrzeugtrajektorien (Bewegungslinien) erfasst und daraus potenziell gefährliche Stauenden filtert (Referenzsystem). Weitere externe Datenquellen wie Querschnittsdaten, VBA Anzeigen und Verkehrswarmmeldungen auf diesem Streckenabschnitt wurden ebenfalls genutzt, um potenzielle Stauenden identifizieren zu können. Die dadurch potenziell erkannten Stauenden wurden anschließend mittels Video-Inspektion durch einen Menschen visuell bestätigt oder verworfen. Abschließend wurden innerhalb der Evaluierungsplattform die Stauende-Meldungen der Datenanbieter mit der Referenz aus der Videoaufzeichnung verglichen, um Kenngrößen zur Qualität von Stauende-Daten zu ermitteln und Rückschlüsse auf Qualitätsanforderungen an Stauende-Daten zu ziehen.

Das grundlegende Konzept sah vor, als Teststrecke einen ca. 1-3 Kilometer langen Autobahnabschnitt mit einer möglichst lückenlosen Überwachung durch mehrere Verkehrskameras zu nutzen. Im Rahmen der Konzeption zeigte sich jedoch, dass zwar entsprechende Abschnitte vorhanden sind, jedoch für Testzwecke nicht nutzbar waren, um den laufenden Betrieb aufrechtzuerhalten. Als Teststrecke konnte auf der BAB 81 eine sich noch nicht in Betrieb befindende TSF-Strecke zwischen der AS Ludwigsburg Nord bis AS Ludwigsburg Süd in Fahrtrichtung Stuttgart genutzt werden. Anders als in der Konzeption des Praxistests mussten Abstriche hinsichtlich der Menge auswertbarer Kameraquerschnitte und in der lückenlosen Überwachung gemacht werden. Somit standen Videodaten für nur drei aufeinanderfolgende Kameraquerschnitte (K56, K57 und K58) zur Verfügung, die wegen der Bildauflösung und des Blickwinkels jeweils nur auf 80 m Länge für eine automatische Videoanalyse genutzt werden konnten.

Auf Basis der Analyse von Geschwindigkeiten und Trajektorien der in den Videoströmen erfassten Fahrzeuge, konnte mit der automatischen Videoanalyse sowie der anschließenden Videoinspektion eine geeignete Methode zur Erfassung potenziell gefährlicher Stauenden entwickelt werden. Es wurden ausschließlich PKWs analysiert, da sich die Erfassung von LKWs als fehlerbehaftet zeigte. Auch waren die Ergebnisse dieser Analyse für die vom Kamerastandort näheren Fahrstreifen (rechten Fahrstreifen) deutlich besser als die auf den mittleren oder linken Fahrstreifen. Ein Grund liegt hier in der Abschattung durch LKWs, die das Sichtfeld auf die linken Fahrstreifen verdecken. Ebenfalls muss für den Praxistest einschränkend erwähnt werden, dass sich die Aufzeichnung der Videodaten statt in den Sommermonaten Juni bis August in die Herbst-/Wintermonate Oktober bis Mitte Dezember verschob. Dadurch waren die Sichtverhältnisse und somit die Videoqualität durch abnehmende Tageslichtverhältnisse, insbesondere in den verkehrsstarken Zeiten am Morgen und am Abend, deutlich schlechter.

### 6.3 Service Level für Stauende-Daten

Unter Mitwirkung von Experten der Bundesanstalt für Straßenwesen, des forschungsbegleitenden Betreuerkreises sowie externer Partner auf Seiten der Datenanbieter und Infrastrukturbetreiber wurden für das Referenzsystem des Praxistests die Definitionen für ein hartes Stauende festgelegt (Geschwindigkeitsabfall von mehr als 50 km/h innerhalb von 10 Sekunden, sowie im Vorgängerverkehr von mindestens drei langsamen Fahrzeugen mit einer Geschwindigkeit kleiner als 30 km/h für mehr als 60 Sekunden). Diese Definitionen bedeuten, dass sowohl für das Kriterium des Geschwindigkeitsabfalls von mindestens 50 km/h als auch für das Kriterium eines langsamen Vorgängerverkehrs von höchstens 30 km/h für mindestens 60 Sekunden eine Beobachtung/Messung der Verkehrsszene über eine Strecke von mindestens 300 Metern notwendig wäre. Diese Kriterien für das harte Stauende mussten daher während der Durchführung des Praxistests adaptiert werden, da eine Geschwindigkeitsmessung durch automatische Videoanalyse nur entlang einer Strecke von 80 m möglich war. Die verwendeten Definitionen des Stauendes für den Praxistest lauten: Geschwindigkeitsabfall von mehr als 30 km/h innerhalb von 2 Sekunden, sowie im Vorgängerverkehr von mindestens drei langsamen Fahrzeugen mit einer Geschwindigkeit kleiner als 30 km/h für mehr als 30 Sekunden.

#### Automatische Videoanalyse und manuelle Videoinspektion

Der videobasierte Ansatz mit automatischer Videoanalyse und computergestützter Videoinspektion bildet den Kern des Projektkonzepts zur Evaluierung von Stauende-Meldungen aus einer unabhängigen Datenquelle. Die automatische Videoanalyse berechnet anhand einer Videodatei alle Fahrzeuggeschwindigkeiten in jedem frame und darauf basierend potenzielle Kandidaten für harte Stauenden. Um die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessungen zu validieren, wurden die Messdaten mit Referenzdaten eines VBA-Querschnitts (Radar-Messdaten Geschwindigkeitsprofile und Zählraten) abgeglichen. Die Abweichung der Messwerte liegt in einem Bereich von ca. +/-7 km/h. In Anbetracht der relativ geringen Qualität und Auflösung der Videodaten ist diese Abweichung akzeptabel und für die Messung von (abrupten) Bremsvorgängen ausreichend.

Für jede analysierte Videodatei wurden Histogramme erzeugt, die (1) die auf Minuten aggregierte Anzahl an „langsamen“ Fahrzeugen enthalten sowie (2) alle Kandidaten zeigen, die mit einer Bremsverzögerung von  $\Delta v \geq 30$  km/h auf einen entsprechend langsamen Vorverkehr aufgefahren sind. Auf dieser Grundlage wurde für jeden ermittelten Kandidaten die Verkehrsszene gezielt durch den Video-Annotator visuell beurteilt. Es wurde entschieden, ob (1) ein Stauende vorliegt, (2) nur eine oder mehrere starke Einzelbremsungen stattfanden oder (3) ob in der Szene kein Stauende vorlag. In Zeitbereichen, in denen

keine automatische Videoanalyse durchgeführt wurde (z. B. zu Tagesrand oder Nachtzeiten), wurden u. a. Querschnittsdaten der VBA als weitere Datenquellen analysiert, um z. B. auf Basis markanter Geschwindigkeitsabfälle weitere Hinweise auf harte Stauenden zu erhalten.

**Stauende-Meldungen von Datenanbietern**

Für die Meldungen jedes Datenanbieters im jeweiligen Kamerasichtfeld wurde protokolliert, ob ein hartes Stauende auch durch die automatische Videoanalyse und Videoinspektion oder durch andere Datenquellen bestätigt werden konnte. Falls kein Kandidat gefunden wurde, erfolgte in der entsprechenden Videodatei um den Zeitpunkt der Meldung ebenfalls eine visuelle Inspektion, um den Referenzdatensatz zu erweitern und die Präzision zuverlässiger zu bestimmen.

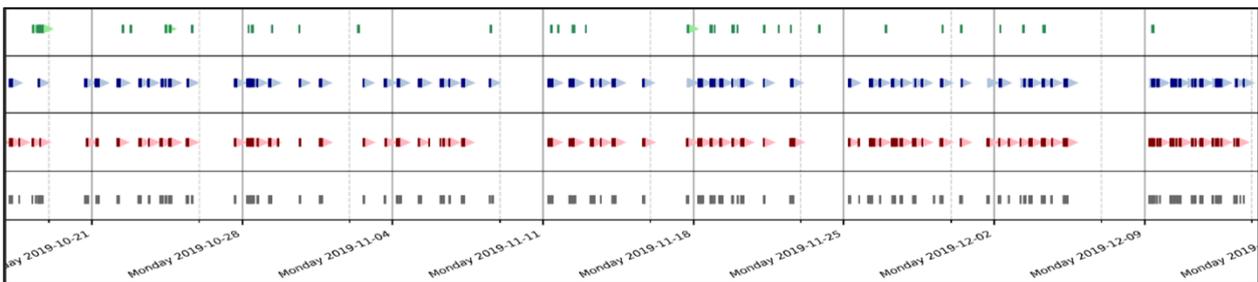


Bild 6-2: Überblick der Datenanbieter-Meldungen auf der Teststrecke; Dreiecke symbolisieren den Meldungsverlauf mit eigener Stau-ID

**Ergebnisse Qualitätskenngrößen**

Der Qualitätstest mit einem Kamerareferenzsystem wurde mit Hilfe bestehender Überwachungskameras an der BAB 81 mit freundlicher Unterstützung der Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg durchgeführt (siehe Abschnitt 3.2.4). Es konnten Videos von drei örtlich aufeinanderfolgenden Kameras digital archiviert werden, wobei für die Dauer des Praxistests leider eine Kamera die meiste Zeit ausgefallen war.

Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen den Stauende-Kandidaten aus dem Referenzsystem mit den Meldungen der Datenanbieter haben gezeigt, dass die ermittelten harten Stauenden sich im Sichtbereich der Kameras nur zum Teil mit den Meldungen der Datenanbieter decken. Die Auswertung des Praxistests ergab, dass Stauenden innerhalb der Videoanalyse und Videoinspektion ermittelt wurden, die sich jedoch nicht über die Meldungen der Datenanbieter bestätigen ließen. Ebenfalls trat der entgegengesetzte Fall ein, in dem die Meldungen der Datenanbieter erst im Nachhinein durch Inspektion der entsprechenden Videosequenzen als Stauende bestätigt wurden.

Der Vergleich wurde an zwei konkreten Fallbeispielen beschrieben und führt zu folgenden Konsequenzen für die Evaluierung von Stauende-Meldungen der Datenanbieter:

1. Übersehene Stauenden reduzieren beim Qualitätskriterium **Korrektheit** die **Trefferrate** eines Datenanbieters, da ein relevantes Stauende nicht gemeldet wurde.
2. Die automatische Videoanalyse lieferte nur eingeschränkt Kandidaten für harte Stauenden. Dies führt dazu, dass beim Qualitätsindikator **Korrektheit** die **Präzision** nicht korrekt berechnet wird.
3. Zudem zeigte sich, dass der Qualitätsindikator **Aktualität** unter den geometrischen Rahmenbedingungen schwer zu bestimmen ist, da innerhalb von zwei Minuten starke Bremsvorgänge außerhalb des Erfassungsbereichs liegen und somit nicht erkannt werden. Ebenso erfordert der Qualitätsindikator **Genauigkeit** aufgrund der hohen Dynamik eines Stauendes einen größeren Erfassungsbereich als im durchgeführten Praxistest.

Tab. 4-3 bietet einen Überblick über die definierten Qualitätsanforderungen und die Ergebnisse aus dem Praxistest.

Qualitätskriterium	Qualitätsanforderung	Ergebnisse Praxistest mit Kamera-Referenzsystem (zwei Kameras)
<b>Korrektheit: Trefferrate</b>	Die Stauende-Meldung muss mit Zuverlässigkeit $\geq 85\%$ ein Stauende erfassen, wenn es eines gibt	<b>3,2 % - 42,9 %</b> (Bild 4-22)

<b>Korrektheit: Präzision</b>	Die Meldung muss mit Zuverlässigkeit $\geq$ <b>95 %</b> tatsächliche Stauenden erfassen (keine Ghosts).	<b>7,6 % - 33,3 %</b> (Bild 4-22)
<b>Aktualität: Start</b>	Die Stauende-Daten müssen in <b>95 % der Fälle innerhalb 2 Minuten</b> nach dem Auftreten eines Stauendes zur Verfügung stehen.	Aufgrund der kurzen Auswertestrecke von jeweils 80 Metern, gibt es keine zeitlichen Berechnungen und Assoziationen von Meldungen zu visuellen Beobachtungen zu einem späteren Zeitpunkt.
<b>Aktualität: Update</b>	Die Meldung muss die Stauende-Daten regelmäßig und <b>mindestens 1 mal pro Minute aktualisieren</b> , d. h. die aktualisierten Stauende-Daten müssen mindestens minütlich zur Verfügung stehen.	Minütliches Update von 1 Datenanbieter (Stauende, keine Warn-Meldung);
<b>Genauigkeit</b>	Die von der Meldung generierte / angezeigte Stauende-Position liegt in <b>90 % der Fälle maximal 700 m vor dem realen Stauende und 200 m hinter dem realen Stauende</b> .  Die von der Meldung generierte/angezeigte Stauende-Position liegt in <b>50 % der Fälle maximal 400 m vor dem realen Stauende und 100 m hinter dem realen Stauende</b> .	Nicht berechnet aufgrund der kurzen Auswertestrecke von jeweils 80 Metern.

Tab. 6-2: Überblick über die Qualitätskriterien über das Kamera-Referenzsystem des Praxistests

Die Berechnungen zur **Korrektheit**, ausgedrückt durch Trefferrate und Präzision (Abschnitt 4.3.3) zeigen, dass die in diesem Praxistest mit dem Kamerareferenzsystem erzielten Zahlen bei weitem nicht erreicht werden konnten. Dies bedeutet weder, dass der Ansatz für ein Referenzsystem basierend auf automatischer Videoanalyse nicht geeignet wäre (die grundsätzliche Validität wurde demonstriert), noch dass die Stauende-Meldungen der Datenanbieter eine schlechte Qualität haben wie in Bild 4-22 dargestellt. Der größte Einflussfaktor ist die Beschränkung der automatischen Videoanalyse auf 80 Meter aufgrund geometrischer und technischer Rahmenbedingungen (siehe auch Abschnitt 4.3.2). Zusätzlich hat die Auswertung ergeben, dass sehr viele Stauende-Meldungen von Datenanbietern auf Zeitpunkte fallen, an denen aufgrund der Lichtverhältnisse an den Tagesrandzeiten keine automatische Videoanalyse durchgeführt werden konnte – diese Stauenden wurden nachträglich in den Videos manuell visuell überprüft und ggf. bestätigt.

Bei zwei Datenanbietern dieses Praxistests ist die Präzision höher als die Korrektheit, bei den anderen zwei Datenanbietern ist es umgekehrt. Da Menschen bei zu vielen Falschmeldungen Warnsysteme tendenziell mit der Zeit ignorieren, sollte eher eine höhere Präzision angestrebt werden.

Das Qualitätskriterium **Aktualität** einer Stauendemeldung wurde aufgrund der kurzen Analyseabschnitte nicht berechnet: Eine Zuordnung gemeldeter Ereignisse zur beobachteten Szene über mehr als 2 Minuten erfordern eine längere Beobachtungsstrecke. Die aus dem Überwachungssystem archivierten Videodaten haben keinen Zeitstempel: die aus den jeweiligen Dateinamen und Frame-Nummern berechneten absoluten Zeiten konnten mit Hilfe der dokumentierten und dem Projektteam zur Verfügung gestellten Schaltzeiten der sichtbaren VBA grundsätzlich validiert werden. Ein Datenanbieter liefert für die Dauer eines Staus grundsätzlich jede Minute ein Update.

Das Qualitätskriterium zur **Genauigkeit** erfordert definitionsgemäß eine längere Beobachtungsstrecke, als sie in diesem Praxistest möglich war, und wurde daher nicht berechnet.

## 6.4 Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die im Praxistest erzielten Zahlen nicht den empfohlenen Mindestanforderungen entsprechen. Dies bedeutet allerdings nicht, dass der Ansatz für ein Referenzsystem basierend auf automatischer Videoanalyse grundsätzlich ungeeignet wäre, noch dass die

Stauende-Meldungen der Datenanbieter eine schlechte Qualität haben. Die größte Einschränkung resultiert aus der vorliegenden Kamerainfrastruktur, die keine lückenlose bzw. überlappende Erfassung über einen längeren Analysebereich ermöglichte. Somit konnte die hohe räumliche und zeitliche Dynamik eines Stauendes nicht entsprechend erfasst werden.

Der Praxistest lässt keine klare Aussage zu, ob durch die Datenanbieter die vorgeschlagenen Mindestanforderungen an die Qualitätskriterien eingehalten werden können. Damit fehlen für eine öffentliche Ausschreibung diese wesentlichsten Schlüsselparameter zur Spezifikation der Qualität der durch den Auftragnehmer zu erbringenden Leistungen. Auch wenn die Ergebnisse dieses Praxistests aufgrund der Einschränkungen nicht validiert werden konnten bzw. einzelne Qualitätskriterien nicht berechnet werden konnten, bleiben die definierten Mindestanforderungen unverändert bestehen, um eine Akzeptanz bei den End Usern zu erzielen. Eine eigene Installation eines Videoüberwachungssystems zur lückenlosen Erfassung von Fahrzeugtrajektorien über mehrere Kilometer zwecks Erfassung von Stauenden ist nicht realistisch. Langfristig wäre ein Tracking der Fahrzeuge in Bewegtbildern aus geostationären Satelliten denkbar. Kurzfristig muss jedoch die Qualität der wesentlichsten Schlüsselparameter – insbesondere innerhalb eines möglichen Vergabeverfahrens zur Beschaffung von Stauende-Daten – mit anderen Mitteln sichergestellt werden.

Durch die Rolle als Beschaffer der Daten und im Wirkbetrieb als jene Entität, die die Daten zur Verfügung stellt, kommt der öffentlichen Hand eine besondere Verantwortung zur Sicherstellung der Qualität der Daten zu. Bei beiden Vorgängen sind Aspekte zu Datenqualität durch die Einzelheiten im Beschaffungsprozess und in den Vertragsausgestaltungen mit den Datenlieferanten zu integrieren. In der Nachbetrachtung ließe sich aber auch grundsätzlich die Frage stellen, ob für eine Stauende-Warnung die öffentliche Hand auch zwingend der Eigentümer der Daten sein muss. Eine mögliche Alternative zur Beschaffung und herkömmlichen Eigenrealisierung durch die öffentliche Hand wäre eine öffentlich-private Partnerschaft. Initiativen in den Niederlanden lassen auf ein Bestreben zu solchen Partnerschaften schließen. Eine Beurteilung dessen war jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit, allerdings sollten diese und ähnliche Entwicklung für die weitere Forschung berücksichtigt werden.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten ein öffentliches Vergabeverfahren zur Beschaffung von Stauende-Daten anzustoßen und insbesondere den Qualitätsnachweis der zu erbringenden Leistung im Rahmen des Vergabeverfahrens durch die potenziellen Bieter erbringen zu lassen. Anhand dieser Möglichkeiten wird vorgeschlagen, eine öffentliche Ausschreibung als einstufiges Verhandlungsverfahren durchzuführen. In diesem werden ggf. mehrerer Verhandlungsrunden mit den zuvor als wirtschaftlich und fachlich geeigneten Bietern durchgeführt. Innerhalb dieser Verhandlungsphase soll jeder Bieter ein Konzept zur Erfassung von Stauenden und eine Einschätzung hinsichtlich der Qualität aufzeigen, die er glaubt verbindlich anbieten, sicherstellen und nachweisen zu können, ohne externes Referenzsystem und über den gesamten Zeitraum der Beauftragung. Die Erkenntnisse aus der Verhandlungsphase dienen unmittelbar als Eingangsgröße für die Leistungsbeschreibung der zu erbringenden Leistungen, insbesondere für die Bestimmung der Zielwerte von KPIs, von Anforderungen an die Nachweisführung in Bezug auf das Vergabeverfahren sowie für die Erbringung der Leistung über die gesamte Vertragslaufzeit z. B. in Form von regelmäßig zu erstellenden Berichten.

Die wesentliche Stärke des vorgeschlagenen Vergabeverfahrens ist die Vermeidung einer sehr kostspieligen Teststellung bei gleichzeitiger Gewährleistung der geforderten Qualität durch regelmäßige Überwachung über Berichte, die nachvollziehbar Rückschlüsse über die Qualität der Stauende-Daten zulassen. Das Verhandlungsverfahren hilft dabei, Unklarheiten in den Vergabeunterlagen frühzeitig auszuräumen und geforderte Leistungsbestandteile zu konkretisieren. In der finalen Leistungsbeschreibung werden die Erkenntnisse aus der Verhandlungsphase berücksichtigt. Insofern besteht für die Bieter die Möglichkeit der Mitwirkung und Beeinflussung des Leistungsgegenstandes z. B. für die Bestimmung der Zielwerte der KPIs, für die Anforderung an die Nachweise in Bezug auf das Vergabeverfahren aber in Bezug auf die Vertragslaufzeit. Auf Grundlage der finalen Leistungsbeschreibung kann durch die potenziellen Bieter ein endgültiges Angebot erstellt und abgegeben werden, welches durch die zuvor erfolgten Verfahrensschritte sowohl auf Seite der Bieter, als auch auf Seite der ausschreibenden Stelle, eine hohe Transparenz und Klarheit über die vertraglich festgelegten Leistungsbestandteile sicherstellt. Es ist jedoch zu betonen, dass dieses Verfahren ausschließlich für eine Beschaffung mit einem zuvor klar definiertem Beschaffungszweck möglich ist.

Die Schwäche dieses Vorgehens ist, dass die Qualitätsanforderungen, außer an den KPI Korrektheit, relativ niedrig sind und sich somit nicht für Stauende-Warnungen in Echtzeit oder nahe Echtzeit eignen. Hier bräuchte es deutlich höhere Qualitätsanforderungen, deren Nachweis sich allein nicht verantwortungsvoll

und rechtssicher über Plausibilisierung eines technischen Konzeptes prüfen lässt, sondern einen Nachweis über ein Referenzsystem (Teststellung) benötigt, um eine rechtssichere Vergabe durchzuführen. Nach Informationen der Vergabestellen lässt sich jedoch ein solches Referenzsystem (Teststellung) innerhalb eines Vergabeverfahrens, aufgrund organisatorischer und vergaberechtlicher Rahmenbedingungen, derzeit nur schwierig integrieren. Hier wäre eine Weiterentwicklung der Vergabeprozesse, unter expliziter Berücksichtigung der Datenqualität als Beschaffungskriterium, anzustreben.

## Literatur

- ASHELM, M., SMOLKA, K. M. (2018). Unfälle am Stauende - Todesfalle Autobahn  
<http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unfallzahlen-steigen-lkws-rasen-oeffter-in-autobahn-staus-15482797.html> (zuletzt aufgerufen am 23.07.2020)
- ASTRA (2018). Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstraßen, Bundesamt für Straßen  
 ASTRA, Jahresbericht 2017, Schweiz
- BMVI (2018). Merkblatt für Verkehrsrechnerzentralen und die Ausstattung von Unterzentralen, Ausgabe  
 2018, Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- BOGENBERGER, K., ET AL. (2012). Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen - Entwicklung und  
 Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendewarnungen, Berichte der Bundesanstalt für  
 Straßenwesen, Heft F 84, Mai 2012
- CLEMENTS, M. (2015). Detecting dangerous locations in the road network with jam tail warnings,  
 Präsentation für Esri User Conference, Oktober 2015, Salzburg
- CLEMENTS, M., COHN, N. (2016). Real-time safety alerts for severe weather and jam tails, Paper für  
 European Transport Conference 2016, Oktober 2016, Barcelona
- CORTRIGHT, J. (2017). Yet Another Flawed Congestion Report From Inrix,  
<https://usa.streetsblog.org/2017/02/28/yet-another-flawed-congestion-report-from-inrix/> (zuletzt  
 aufgerufen am 23.07.2020)
- DE VERKEERSONDERNEMING (2017). Projecten rijgedrag en doorstroming > Flitsmeister,  
<http://www.verkeersonderneming.nl/projecten-rijgedrag-en-doorstroming/> (zuletzt aufgerufen am  
 23.07.2020)
- ELIAS, D. ET AL. (2016). UNIETD – assessment of third party data as information source for drivers and  
 road operators, Transportation Research Procedia 14 ( 2016 ) 2035 – 2043
- EUROPEAN COMMISSION (2019). ANNEX to the Commission Delegated Regulation supplementing ITS  
 Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council with regard to the provision of  
 cooperative intelligent transport systems, DRAFT, Ref. Ares(2019)153204 - 11/01/2019
- FELLENDORF, M., NEUHOLD, R (2013). REFEREE - Referenzierung und Evaluierung von  
 verkehrstechnischen Effekten, Ergebnisbericht 2013
- FGSV (2015). Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Ausgabe 2015,  
 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2019). Hinweise zu Detektionstechnologien im Straßenverkehr, Ausgabe 2019,  
 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- GEISTEFELDT, J., LOHOFF, J. (2011). Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen,  
 Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes  
 Nordrhein-Westfalen, Mai 2011
- GREFHORST, M. (2018). Telefonat mit Mark Grefhorst, Be-Mobile, am 13.09.2018
- GREFHORST, M. (2019) E-Mail von Mark Grefhorst, Be-Mobile, am 14.02.2019
- HEINRICH, TH. ET AL. (2018). Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für Erfassung und  
 Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F  
 124, Juli 2018
- HOPPE, A. (2017). Staus auf Deutschen Bundesautobahnen: Quantifizierung von Verlustzeiten anhand  
 der Analyse historischer Staudaten. Masterarbeit, Technische Universität Dresden
- INRIX (2017). INRIX Safety Alerts warnt Autofahrer in Echtzeit, Press Release vom 13.05.17,  
<http://inrix.com/press-releases/safety-alerts-ger/> (zuletzt aufgerufen am 23.07.2020)

- INRIX (2018). Traffic > Dangerous Slowdowns, <http://docs.inrix.com/traffic/dangerousslowdowns/> (zuletzt aufgerufen am 23.07.2020)
- KESTING, A., TREIBER, M. (2010). Datengestützte Analyse der Stauentstehung und -ausbreitung auf Autobahnen. In: Straßenverkehrstechnik, 1. 5-11.
- KIM, S., COIFMAN, B. (2014). Comparing INRIX speed data against concurrent loop detector stations over several months, Transportation Research Part C: Emerging Technologies(49), S. 59-72
- KRAMER, H., ADAMS, R. (2020). Marktconsultatie Filestaartbeveiliging in Niet-Gesignaleerd Gebied, Verslag van de marktconsultatie bij Service Providers, Navigatiebedrijven, Automobielsector en anderen; RWS INFORMATIE 2020
- KRAMPE, ST., TRUPAT, ST., WAHLE, J. (2014). Qualitätsbewertung von FC-Daten zur Verkehrslageermittlung in Niedersachsen
- KRONJÄGER, W. (2013). Erkennen einer aktuellen Verkehrssituation. Patent DE 102013010321 A1 von Daimler AG
- KULMALA, R. ET AL. (2019). "Quality Package for safety-related and real-time information services", Deliverable by EU EIP sub-activity 4.1, <https://eip.its-platform.eu/highlights/update-eu-eip-quality-package-srti-and-rtti> (zuletzt aufgerufen am 23.07.2020)
- LIPETSKI, Y. ET AL. (2014). Real-time traffic jam detection and localization running on a smart camera, Proc. SPIE 9026, Video Surveillance and Transportation Imaging Applications 2014, 90260M
- MOLZAHN, S.-E., REHBORN, H., KOLLER, M. (2017). Jam Tail Warnings based on Vehicle Probe Data, Transportation Research Procedia 27 (2017) 808–815
- POLHUIS, J., METSELAAR, R.-J. (2017). Zo werkt Floating Car Data, Live file-informatie op tekstkar, <https://www.heijmans.nl/nl/verhalen/zo-werkt-floating-car-data/> (zuletzt aufgerufen am 23.07.2020)
- RIJKSWATERSTAAT (2019). Actuele Verkeersinformatie, <https://rwsverkeersinfo.nl/> (zuletzt aufgerufen am 23.07.2020)
- SCHREUDER, M. (2016). Floating Car Data voor filestaartbeveiliging, Präsentation für NDW-NM, 7. Dezember 2016
- SMIT, M., VAN DER LINDE, M., DICKE-OGENI, M. (2017). Automobilist laat zich vooral beïnvloeden door in-car informatie over verkeersveiligheid, Paper für Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, 23./24. November 2017, Gent
- STERN, R. ET AL. (2017). Dissipation of stop-and-go waves via control of autonomous vehicles: Field experiments
- TISA (2012). Terms and Definitions for the Traffic and Travel Information Value Chain, EO12013, TISA Executive Office Oktober 2012
- UENK-TELGEN, M. (2016). Floating car data: geschikt voor toepassingen op DRIPS?, Paper für Nationaal verkeerskundecongres 2016
- UENK-TELGEN, M. (2017). Hoe de kwaliteit von FCD te bepalen? In: NM Magazine: De mogelijkheden van floating car data, 12e Jaargang, Nr. 1, 2017, pp. 12
- VAN DRIEL, C. (2007). Driver Support in Congestion. PhD Thesis. University of Twente, Niederlande
- VAN DRIEL, C. ET AL. (2016). Mindestanforderungen für aktuell verfügbare Stauende-Daten und Konzept zu deren praktischen Erprobung in einem Testfeld, Schlussbericht (unveröffentlicht), Bundesanstalt für Straßenwesen
- VERWEIJ, F. (2020). C-ITS Next – Comparing Data for Queue Tail Warning, Rijkswaterstaat
- VON DER RUHREN, ST. ET AL. (2015). Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten - Maßnahmen zur Gewährleistung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 108, Oktober 2015

## Bilder

Bild 1-1: Konzept des Untersuchungsansatzes

Bild 2-1: Wertschöpfungskette für Verkehrs- und Reiseinformationen [TISA 2012]

Bild 2-2: Lagegenauigkeit: das gemeldete Stauende befindet sich vor (oben) oder nach dem tatsächlichen Stauende (unten)

Bild 3-1: Definition des "wahren" Stauendes für einen Praxistest

Bild 3-2: Verwendete Definition des „wahren“ Stauendes im Praxistest

Bild 3-3: TSF-Strecke BAB 81 Baden Württemberg (eigene Darstellung auf Basis <https://www.openstreetmap.de/karte.html>)

Bild 3-4: Videoframe der K8158 auf der BAB 81 bei km 567,38

Bild 3-5: Abschnitt BAB 4 Nordrhein-Westfalen (eigene Darstellung auf Basis <https://www.openstreetmap.de/karte.html>)

Bild 3-6: Videoframe eines abgefilmten Monitors, Kamerabild 12 und zwei automatisch detektierte Fahrzeuge (Video: Straßen.NRW)

Bild 3-7: Abschnitt BAB 9 Bayern (eigene Darstellung auf Basis <https://www.openstreetmap.de/karte.html>)

Bild 3-8: Konzept des Untersuchungsansatzes

Bild 3-9: Kamerabild der Teststrecke BAB 81 (Quelle SVZ BW)

Bild 3-10: Fahrzeugtrajektorien nach dem Tracking – die Farbcodes stehen für unterschiedliche Fahrzeugtypen

Bild 3-11: Okklusionen durch LKW können für mehrere Sekunden Messdaten verfälschen bzw. invalidieren

Bild 3-12: Fahrzeugdetektion für die Verortung und Geschwindigkeitsmessung Jedes Fahrzeug erhält eine eindeutige (anonymisierte) Identifikationsnummer. Die oben dargestellten Visualisierungen zeigen die Detektionsregion in Grün, den für die Geschwindigkeitsmessung verwendeten Punkt am Fahrzeug in Blau, und die Fahrzeug ID in Gelb. Diese Daten sind nach der Berechnung auch offline für weitergehende Analysen verfügbar.

Bild 3-13: Analyse des Geschwindigkeitsprofils von Fahrzeugen

Bild 3-14: Screenshot des Annotationstools: beliebiges Scrollen im Video ist möglich, Anzeige aller Ereignisse (Bremsvorgänge und Detektionen) als rotes Kreuz; Distanzen und metrische Koordinaten können vermessen werden

Bild 4-1: Blickfeld Kamera K8156

Bild 4-2: Blickfeld Kamera K8157

Bild 4-3: Blickfeld Kamera K8158

Bild 4-4: Zeitlicher Überblick der Datenanbieter-Meldungen auf der gesamten Teststrecke. Bereiche zwischen vertikalen strichlierten Linien und durchgehenden Linien sind jeweils Wochenendzeiträume Samstag-Sonntag.

Bild 4-5: Geschwindigkeitsmessung an der VBA für Fahrstreifen 1, Radarmessung (blau) und Videomessung (rot) für einen Zeitraum von 34 Minuten.

- Bild 4-6: Geschwindigkeitsmessung an der VBA für Fahrstreifen 4, Radarmessung (blau) und Videomessung (rot) für einen Zeitraum von 34 Minuten.
- Bild 4-7: Beispielhistogramme als Ergebnis der automatischen Videoanalyse einer Videodatei, Kamera 57, 28.Oktober 2019, Video Nummer 17: Anzahl langsamer Fahrzeuge
- Bild 4-8: Beispielhistogramme als Ergebnis der automatischen Videoanalyse einer Videodatei, Kamera 57, 28.Oktober 2019, Video Nummer 17: Anzahl Kandidaten pro Minute
- Bild 4-9: Zeitlicher Überblick für harte Stauenden im Zeitraum des Praxistests an K57
- Bild 4-10: Zeitlicher Überblick für harte Stauenden im Zeitraum des Praxistests an K58
- Bild 4-11: Verteilung der durch computergestützte Videoinspektion bewerteten Stauende-Kandidaten (K57)
- Bild 4-12: Verteilung der durch computergestützte Videoinspektion bewerteten Stauende-Kandidaten (K58)
- Bild 4-13: Gesamtanzahl von Meldungen, inklusiver Mehrfacher-Stau-IDs im Sichtbereich Kamera K57
- Bild 4-14: Gesamtanzahl von Meldungen, inklusiver Mehrfacher-Stau-IDs im Sichtbereich Kamera K58
- Bild 4-15: Gesamtanzahl Erstmeldungen ohne Duplikate von Stau-IDs Kamera K57
- Bild 4-16: Gesamtanzahl Erstmeldungen ohne Duplikate von Stau-IDs Kamera K58
- Bild 4-17: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern 1-4 im gesamten Untersuchungszeitraum für Kamera K57
- Bild 4-18: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern 1-4 im gesamten Untersuchungszeitraum für Kamera K58
- Bild 4-19: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern 1-4 am 28.10.2019 für K57
- Bild 4-20: Wenige Sekunden aufeinander folgende Videoframes eines harten Stauendes am 29.10.2019 um ca. 09:30
- Bild 4-21: Verschneidung von Referenzdaten mit Stauende-Meldungen von Datenanbietern im Zeitraum von 35 Minuten: 25 Meldungen von Datenanbietern, nur eine visuell bestätigte Meldung (oben); Videoframe zur Entwicklung eines harten Stauendes außerhalb des Analysebereichs der automatischen Videoanalyse (mitte); Stauentwicklungssituation mit LKW-Spurwechsel (unten)
- Bild 4-22: Korrektheit der Meldungen Präzision und Trefferrate im Sichtbereich Kamera K57 (oben); Präzision und Trefferrate im Sichtbereich Kamera K58 (mitte); Kennzahlen berechnet aus den Sichtbereichen K57 und K58 (unten)
- Bild 6-1: Untersuchungsansatz
- Bild 6-2: Überblick der Datenanbieter-Meldungen auf der Teststrecke; Dreiecke symbolisieren den Meldungsverlauf mit eigener Stau-ID

## Tabellen

Tab. 2-1: Aktivitäten (Rollen) und deren Wahrnehmung durch Akteursgruppen

Tab. 2-2: Akteursgruppen und mögliche Interessen an Stauende-Informationen

Tab. 2-3: Mögliche Anwendungen von Stauende-Daten

Tab. 2-4: Qualitätskriterien von Stauende-Daten nach [VAN DRIEL, C. ET AL. 2016]

Tab. 2-5: Verschiedene Grenzwerte für Detektion und Fehlalarm in den Definitionen für Referenz- und FCD (Auszug)

Tab. 2-6: Kenngrößen und Mindestanforderung Qualitätskriterium „Korrektheit“

Tab. 2-7: Wahrheitsmatrix einer Stauende-Detektion

Tab. 2-8: Kenngrößen und Mindestanforderung Qualitätskriterium „Aktualität“

Tab. 2-9: Kenngrößen und Mindestanforderung Qualitätskriterium „Genauigkeit“

Tab. 2-10: Beispiele der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit von Stauende-Daten

Tab. 2-11: Beispiele von Durchdringungsrate und Datendichte von FCD

Tab. 4-1: Beitrag ergänzender Datenquellen zu den Referenzdatensätzen für harte Stauenden der drei Kameras

Tab. 4-2: Berechnete Qualitätsindikatoren zur Korrektheit von Stauende-Meldungen der Datenanbieter für Kameras K57 und K58

Tab. 4-3: Überblick über die Qualitätskriterien über das Kamera-Referenzsystem des Praxistests

Tab. 5-1: Qualitätsparameter für Daten von Detektoren im Straßenverkehr [FGSV 2019]

Tab. 6-1: Qualitätskriterien an Stauende-Daten

Tab. 6-2: Überblick über die Qualitätskriterien über das Kamera-Referenzsystem des Praxistests

## **Anlage 1 – Entwurf einer Service Level-Beschreibung für eine Ausschreibung von Stauende-Daten**

Für die Qualität von FCD als Detektionstechnologie wird in [FGSV 2019] beschrieben, dass diese insbesondere vom Positionierungssystem, der zeitlich und räumlich variierenden Ausstattungsrate der Fahrzeuge, dem Übertragungsintervall und den Aufbereitungsalgorithmen abhängig ist. Als weiterer Einflussfaktor wird die Repräsentativität der Fahrzeugflotte genannt.

In Anlehnung daran sind in der Folge beispielhafte Service Level – Beschreibungen formuliert, die als Grundlage für eine Ausschreibung zur Erfassung und Lieferung von Stauende-Daten auf Basis von FCD verwendet werden können.

## Trefferrate

<b>Beschreibung des KPI:</b>	<b>Nachweis:</b>
<p>Der Auftragnehmer <b>muss</b> Stauenden bei Verfügbarkeit des Autobahnabschnitts innerhalb der Messperiode mit einer <b>Trefferrate</b> von mindestens 80 % melden, d. h. die Meldung muss mit Zuverlässigkeit 80 % ein Stauende erfassen, wenn es eins gibt.</p>	<p><b>Stellungnahme des Bieters:</b> <i>Bitte zutreffendes ankreuzen!</i></p> <p>Die Anforderung wird erfüllt <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Erläuterungen:</b></p> <p>Dem Auftraggeber ist bewusst, dass es sich bei harten Stauenden (z. B. eine erhebliche Anzahl von Meldungen, die eine Reduktion der Fahrzeuggeschwindigkeit um einen bestimmten Prozentsatz innerhalb einer bestimmten Distanz oder Zeit) um äußerst dynamische Ereignisse handelt. Auch ist dem Auftraggeber bewusst, dass für eine genaue Validierung der Trefferrate bzw. der Präzision Referenzdaten notwendig wären. Die Quellen von Referenzdaten, z. B. über Videodaten, sind zwar verlässlich, jedoch schwer umsetzbar.</p> <p>Die Berechnungsmethode dient der Überprüfung der Einhaltung der Anforderung an die Trefferrate während der Vertragslaufzeit. <math>r_p</math> und <math>f_n</math> werden dabei mittels externer Quellen, wie VBA mit Radarsensoren oder SBA-Anzeige und Verkehrsmeldungen, ermittelt. Hierbei wird die Trefferrate in einer Stichprobe (einen durch den Auftraggeber beliebig gewählten vom Auftragnehmer als verfügbar gemeldeten Autobahnabschnitt und Zeitabschnitt) im Abgleich mit Referenzdaten mit oben genannten Quellen berechnet.</p> <p>Außerdem wird die Einhaltung der Trefferrate durch einen monatlichen Bericht plausibilisiert. Dabei wird überprüft, ob die Rohdaten zur Berechnung der Stauenden in der durch den Auftragnehmer im Konzept angegebenen Mindestanforderungen an die Qualität der Rohdaten in allen als verfügbar gemeldeten Autobahnabschnitten zur Verfügung standen.</p>	<p><b>Nachweis:</b></p> <p>Der Nachweis ist durch die Erstellung eines Konzepts (es ist nur ein Konzept zu erstellen, das alle KPIs umfasst) zu erbringen, das folgende Inhalte umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Darstellung des angewendeten Konzepts zur Detektion von Stauenden und der dafür angewendeten Algorithmen</li> <li>• Auflistung und Erläuterung der Rohdaten, die für die Detektion von Stauenden benötigt werden und auf welche Weise sie generiert werden</li> <li>• Erläuterung der statistischen Verfahren, die für die Detektion von Stauenden angewendet werden</li> <li>• Erläuterung, welche Rohdaten für die Erreichung einer hohen Trefferrate relevant sind und in welcher Qualität sie für die Erreichung einer hohen Trefferrate vorliegen müssen</li> <li>• Definition der Mindestanforderungen an die Qualität der Rohdaten, die für die Erreichung der geforderten Trefferrate erforderlich sind</li> <li>• Erläuterung, welche Vorkehrungen getroffen werden können, um die Einhaltung der Mindestanforderungen auch über einen längeren Zeitraum sicherzustellen</li> </ul> <p>Außerdem über einen Bericht über die Rohdaten, die für die Berechnung der Korrektheit genutzt werden, über drei aufeinander folgende Monate des vergangenen Jahres, die belegen, dass es regelmäßig möglich gewesen wäre Stauende-Daten in einem an Werktagen zwischen 6:00 h und 21:00 h verfügbaren Autobahnabschnitt mit der geforderten Trefferrate zu übermitteln.</p>
<p><b>Berechnungsmethode:</b></p> <p>Die Trefferrate beschreibt den Anteil aller relevanten Meldungen (Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst) an der Gesamtzahl der Stauende-Ereignisse (Es gibt ein Stauende, aber es wurde nicht immer erfasst) und entspricht dem Maß für die Vollständigkeit einer Trefferliste.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Richtig positiv <math>r_p</math> (Hits): Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.</li> <li>• Falsch negativ <math>f_n</math> (Misses): Es gibt ein Stauende, aber es wurde nicht erfasst.</li> </ul> <p><math>TR = r_p / (r_p + f_n) * 100 \%</math></p> <p>TR = Trefferrate  <math>r_p</math> = richtig positiv (Hits)  <math>f_n</math> = falsch negativ (Misses)</p>	

## Präzision

Beschreibung des KPI:	Nachweis:
<p>Der Auftragnehmer <b>muss</b> Stauenden bei Verfügbarkeit des Autobahnabschnitts innerhalb der Messperiode mit einer <b>Präzision</b> von mindestens 90 % melden, d. h. die Meldung muss mit Zuverlässigkeit 90 % der tatsächlichen Stauenden erfassen (keine Ghosts).</p>	<p><b>Stellungnahme des Bieters:</b> <i>Bitte zutreffendes ankreuzen!</i></p> <p>Die Anforderung wird erfüllt <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Erläuterungen:</b></p> <p>Dem Auftraggeber ist bewusst, dass es sich bei harten Stauenden (z. B. eine erhebliche Anzahl von Meldungen, die eine Reduktion der Fahrzeuggeschwindigkeit um einen bestimmten Prozentsatz innerhalb einer bestimmten Distanz oder Zeit) um äußerst dynamische Ereignisse handelt. Auch ist dem Auftraggeber bewusst, dass für eine genaue Validierung der Trefferrate bzw. der Präzision Referenzdaten, die durch Videoüberwachung zu ermitteln wären, notwendig wären. Die Quellen der Referenzdaten werden jedoch deutlich weniger verlässlich sein. Daher wurde dieser Umstand bei der Definition der Zielwerte der Trefferrate bzw. der Präzision durch eine Reduktion der Qualitätsanforderung vom eigentlich möglichen berücksichtigt.</p> <p>Die Berechnungsmethode dient der Überprüfung der Einhaltung der Anforderung an die Trefferrate während der Vertragslaufzeit. <math>r_p</math> und <math>f_p</math> werden dabei mittels externer Quellen, wie VBA mit Radarsensoren oder SBA-Anzeige und Verkehrsmeldungen, ermittelt. Hierbei wird die Trefferrate in einer Stichprobe (einen durch den Auftraggeber beliebig gewählten vom Auftragnehmer als verfügbar gemeldeten Autobahnabschnitt und Zeitabschnitt) im Abgleich mit Referenzdaten mit oben genannten Quellen berechnet.</p> <p>Außerdem wird die Einhaltung der Präzision durch einen monatlichen Bericht plausibilisiert. Dabei wird überprüft, ob die Rohdaten zur Berechnung der Stauenden in der durch den Auftragnehmer im Konzept angegebenen Mindestanforderungen an die Qualität der Rohdaten in allen als verfügbar gemeldeten Autobahnabschnitten zur Verfügung standen.</p>	<p><b>Nachweis:</b></p> <p>Der Nachweis ist durch die Erstellung eines Konzepts (es ist nur ein Konzept zu erstellen, das alle KPIs umfasst) zu erbringen, das folgende Inhalte bezogen auf den KPI „Präzision“ umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erläuterung, welche Rohdaten für die Erreichung einer hohen Präzision relevant sind und in welcher Qualität sie für die Erreichung einer hohen Präzision vorliegen müssen</li> <li>• Definition der Mindestanforderungen an die Qualität der Rohdaten, die für die Erreichung der geforderten Präzision erforderlich sind</li> <li>• Erläuterung, welche Vorkehrungen getroffen werden können, um die Einhaltung der Mindestanforderungen auch über einen längeren Zeitraum sicherzustellen</li> </ul> <p>Außerdem soll der Nachweis auch über einen Bericht über die Rohdaten, die für die Berechnung der Korrektheit genutzt werden, über drei aufeinander folgende Monate des vergangenen Jahres, die belegen, dass regelmäßig es möglich gewesen wäre Stauende-Daten in einem an Werktagen zwischen 6:00 h und 21:00 h verfügbaren Autobahnabschnitt mit der geforderten Präzision zu übermitteln.</p>
<p><b>Berechnungsmethode:</b></p> <p>Die Präzision bezeichnet den Anteil aller relevanten Meldungen (Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst) an der Gesamtzahl der Meldungen (Es wurde ein Stauende erfasst, aber es gab nicht immer eins) und entspricht dem Maß für die Relevanz einer Trefferliste.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Richtig positiv <math>r_p</math> (Hits): Es gibt ein Stauende und es wurde erfasst.</li> <li>• Falsch negativ <math>f_p</math> (Ghosts): Es gibt kein Stauende, aber es wurde eins erfasst.</li> </ul> <p><math>TR = r_p / (r_p + f_p) * 100 \%</math></p> <p>TR = Trefferrate  <math>r_p</math> = richtig positiv (Hits)  <math>f_p</math> = falsch positiv (Ghosts)</p>	

## Lagegenauigkeit

<b>Beschreibung des KPI:</b>	<b>Nachweis:</b>
Der Auftragnehmer <b>muss</b> Stauenden bei Verfügbarkeit des Autobahnabschnitts mit einer <b>Lagegenauigkeit</b> innerhalb eines Umkreises mit einem Durchmesser von 1.000 m melden.	<b>Stellungnahme des Bieters:</b> <i>Bitte zutreffendes ankreuzen!</i>  Die Anforderung wird erfüllt <input type="checkbox"/>
<b>Erläuterungen:</b>  Der Auftraggeber geht davon aus, dass die Lagegenauigkeit von der Datendichte und den Aufbereitungsalgorithmen zum Zeitpunkt der Stauende-Detektion abhängt. Da die Aufbereitungsalgorithmen der Datenanbieter unbekannt sind, muss eine Korrelation zum KPI „Verfügbarkeit und Datendichte“ berücksichtigt werden.  Für die Meldung eines Stauendes müssen für den KPI Lagegenauigkeit unabhängige Einzelmeldungen von mindestens 5 Fahrzeugen vorliegen. Wird dies nicht erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass die Lagegenauigkeit nicht erreicht wird und in Folge die Stauende-Warnung über VBA zu ungenau würde.	<b>Nachweis:</b>  Der Nachweis ist durch einen Bericht über die „Verfügbarkeit und Datendichte“ zu den Zeitpunkten der Stauende-Detektion, zu denen Stauende-Daten generiert wurden, zu erbringen. Der Bericht umfasst alle derartigen Ereignisse über drei aneinander folgenden Monate des vergangenen Jahres.

## Aktualität

Beschreibung des KPI:	Nachweis:
<p>Der Auftragnehmer <b>muss</b> bei Verfügbarkeit des Autobahnabschnitts Stauenden in 99 % der Fälle innerhalb von 2 Minuten nach Detektion des Stauendes melden.</p>	<p><b>Stellungnahme des Bieters:</b> <i>Bitte zutreffendes ankreuzen!</i></p> <p>Die Anforderung wird erfüllt <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Erläuterungen:</b></p> <p>Im Wirkbetrieb wird die Aktualität in Form eines monatlichen Berichtes nachgewiesen. Der Bericht umfasst alle Stauenden mit dem Zeitpunkt der Detektion des Stauendes und dem Zeitpunkt der Bereitstellung, die dem Auftraggeber gemeldet wurden. Außerdem beinhaltet der Bericht die Berechnung des tatsächlichen Prozentsatzes, der rechtzeitig gemeldeten Stauenden.</p> <p>Der Auftraggeber geht davon aus, dass die Aktualität von der Datendichte und den Aufbereitungsalgorithmen zum Zeitpunkt der Stauen-Detektion abhängt. Da die Aufbereitungsalgorithmen der Datenanbieter unbekannt sind, muss eine Korrelation zum KPI „Verfügbarkeit und Datendichte“ berücksichtigt werden.</p> <p>Für die Meldung eines Stauendes müssen für den KPI Aktualität unabhängige Einzelmeldungen von mindestens 5 Fahrzeugen vorliegen. Wird dies nicht erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass die Aktualität nicht erreicht wird.</p>	<p><b>Nachweis:</b></p> <p>Der Nachweis erfolgt über das Konzept und berücksichtigt zu diesem KPI insbesondere, wie der Auftragnehmer sicherstellen will, dass alle detektierten und verwertbaren Stauende-Daten aktuell an den Auftraggeber bereitgestellt werden.</p>
<p><b>Berechnungsmethode:</b></p> <p>Die Aktualität bezeichnet den Zeitraum zwischen der Detektion eines Stauendes und der Meldung des Stauendes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitpunkt Detektion <math>z_d</math>: Zeitstempel der Erfassung des Stauendes.</li> <li>• Zeitpunkt Meldung <math>z_m</math>: Zeitstempel der Bereitstellung der Stauende-Daten an den Auftraggeber.</li> </ul> <p><math>AK = z_m - z_d</math></p> <p>AK = Aktualität  <math>z_d</math> = Zeitpunkt Detektion  <math>z_m</math> = Zeitpunkt Meldung</p>	

## Aktualisierungsfrequenz

<b>Beschreibung des KPI:</b>	<b>Nachweis:</b>
Der Auftragnehmer <b>muss</b> aktualisierte Stauende-Daten zumindest einmal in der Minute zur Verfügung stellen.	<b>Stellungnahme des Bieters:</b> <i>Bitte zutreffendes ankreuzen!</i>
<b>Erläuterungen:</b> Die Aktualisierungsfrequenz bezieht sich auf die tatsächliche Veränderung der Stauende-Daten. Wenn sich keine Änderungen beim Ort ergeben, muss es auch zu keiner erneuten Übermittlung der Daten kommen. Die Auflösung des Staus und somit des Stauendes muss jedoch übermittelt werden, damit auch die Stauende-Warnung von der Anzeige der VBA heruntergenommen werden kann.	Die Anforderung wird erfüllt <input type="checkbox"/>  <b>Nachweis:</b> Der Nachweis erfolgt über das Konzept und berücksichtigt zu diesem KPI insbesondere, wie der Auftragnehmer sicherstellen will, dass alle detektierten und verwertbaren Stauende-Daten aktuell an den Auftraggeber bereitgestellt werden.

## Verfügbarkeit und Datendichte

Beschreibung des KPI:	Nachweis:
<p>Der Auftragnehmer <b>muss</b> garantieren, dass an Werktagen zwischen 6:00 und 21:00 Uhr im Durchschnitt des Beobachtungszeitraums von einem Kalendermonat 60 % der Autobahnabschnitte und an Wochenenden und an Feiertagen 40 % der Abschnitte des deutschen Autobahnnetzes mit unabhängigen Einzelmeldungen von mindestens 5 Fahrzeugen auf 1.000 m vorliegen und abgedeckt werden.</p> <p>Wird dies nicht erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass die zuvor genannten KPIs „Lagegenauigkeit“ und „Aktualität“ nicht erreicht werden können.</p> <p>Außerdem <b>muss</b> der Auftragnehmer gewährleisten, dass jedes dieser Fahrzeuge zumindest einmal pro Minute die Position, den Zeitstempel, die Identifikation des Erfassungsgeräts übermittelt.</p>	<p><b>Stellungnahme des Bieters:</b> <i>Bitte zutreffendes ankreuzen!</i></p> <p>Die Anforderung wird erfüllt <input type="checkbox"/></p> <p><b>Nachweis:</b> Der Nachweis erfolgt über einen Bericht, der für alle Autobahnabschnitte die Verfügbarkeit und Datendichte an allen Tagen zwischen 06:00 und 21:00 an drei aufeinander folgenden Monaten des vergangenen Jahres darstellt.</p>
<p><b>Erläuterungen:</b></p> <p>Während des Wirkbetriebs muss der Auftragnehmer zum Nachweis der Qualität einen Bericht erstellen, der für alle Autobahnabschnitte die Verfügbarkeit und Datendichte an allen Tagen zwischen 06:00 und 21:00 an drei aufeinander folgenden Monaten des vergangenen Jahres darstellt. Der Bericht umfasst jedoch auch eine Kalkulation des KPI der Verfügbarkeit und der Datendichte.</p>	

## Anlage 2 – Statusbericht als Nachweis zur Einhaltung der KPIs

Nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Bericht, der als Nachweis zur Einhaltung der zwischen Auftraggeber und Dienstleister vertraglich vereinbarten Qualitätsparameter über die geschlossene Vertragslaufzeit dient. Der Bericht muss dabei die geforderten Qualitätsparameter enthalten sowie die vereinbarten Zielgrößen. Die zeitliche Abfolge der durch den Dienstleister an den Auftraggeber zu übermittelnden Statusberichte ist Gegenstand der vertraglichen Regelung im Rahmen der Beauftragung. Als sinnvolles Reporting werden Monats-, Quartals- oder Jahresberichte empfohlen. Feinere Zeitscheiben sind aufgrund einer möglicherweise zu geringen Datenbasis über erfasste Stauenden nur eingeschränkt aussagekräftig und somit ungeeignet.

Name / Kontakt Dienstleister

Datum: TT.MM.JJJJ

### Qualitäts-Parameter Stauende-Daten – Statusbericht

Betrachtungsjahr 2020

Betrachtungsmontat 5

Monat	KPI	Trefferrate [%]	Präzision [%]	Lagegenauigkeit* [%]	Aktualität** [%]	Aktualisierungsfrequenz*** [%]
Januar		85,05	95,05	99,03	99,03	99,03
Februar		87,58	97,58	99,20	99,20	99,20
März		88,95	98,95	99,17	99,17	99,17
April		90,32	92,32	99,32	99,32	99,32
Mai		88,25	98,25	99,48	99,48	99,48
Juni						
Juli						
August						
September						
Oktober						
November						
Dezember						

<b>SOLL lt. Vertrag</b>	<b>≥ 80%</b>	<b>≥ 90%</b>	<b>≥ 99%</b>	<b>≥ 99%</b>	<b>≥ 99%</b>
-------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

\* Lagegenauigkeit innerhalb eines Umkreises mit einem Durchmesser von 1.000 m.

\*\* Meldung des Stauendes nach Detektion innerhalb von 2 Minuten.

\*\*\* Aktualisierung der Meldung ein mal pro Minute nach erfolgter Erstmeldung.