

# Innovative Datenerfassung und -nutzung im Straßenbetriebsdienst

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 376

**bast**

# Innovative Datenerfassung und -nutzung im Straßenbetriebsdienst

von

Rainer Hess  
Julian Best  
Martina Lohmeier  
Lothar Temme

Durth Roos Consulting GmbH  
Bonn

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 376

bast

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

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

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

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

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

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

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

## **Impressum**

**Bericht zum Forschungsprojekt 03.0558:**  
Innovative Datenerfassung und -nutzung  
im Straßenbetriebsdienst

### **Referat**

Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb

### **Fachbetreuung**

Christopher Schirrmeister

### **Herausgeber**

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

### **Redaktion**

Stabsstelle Presse und Kommunikation

### **Druck und Verlag**

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

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-765-5

Bergisch Gladbach, November 2023

## Kurzfassung – Abstract

### Innovative Datenerfassung und -nutzung im Straßenbetriebsdienst

Um bei der kontinuierlich zunehmenden Beanspruchung der Straßeninfrastruktur Verkehrssicherheit und Funktionstüchtigkeit sicherzustellen, leistet der Straßenbetriebsdienst mit regelmäßigen Kontrollen, Wartungen und Unterhaltungsmaßnahmen einen erheblichen Aufwand bei der Erhaltung und Pflege der Verkehrsanlagen. Eine innovative Datenerfassung und -nutzung kann einen Beitrag dazu leisten, den gestiegenen Anforderungen effektiv und wirtschaftlich gerecht zu werden und zeitgleich die Beeinträchtigung für den Verkehr möglichst gering zu halten.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung von differenzierten Empfehlungen für den Einsatz innovativer Technologien zur Verbesserung der wirtschaftlichen Aufgabenerfüllung sowie der Information über Eingriffe in den Verkehrsraum und das Erarbeiten von Anwendungskonzepten, die den vielfältigen Anwendungen im Straßenbetriebsdienst gerecht werden. Dazu wurden Informations- und Kommunikationstechnologien analysiert und die Übertragung von Technologien aus anderen Branchen auf den Straßenbetriebsdienst diskutiert (RFID, QR-Codes, NFC, Bluetooth etc.).

Für die Erprobung der Konzepte in der Praxis wurden in Kooperation mit fünf Meistereien aus drei Ländern Pilotanwendungen initiiert:

- Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern und Erfassung von Zustand der Warneinrichtung sowie der Aktivität von Richtungs- und Blinkpfeil (2 Systeme)
- KI-gestützte Objekterkennung mit Einsatz im Entwässerungsmanagement, Auffindbarkeit von Sinkkästen
- Werkstattmanagement mit mobilen Endgeräten und QR-Codes
- Nachverfolgung handgeführter Geräte aus einem zentralen Gerätelager mittels RFID (interne Weiterführung geplant)

Bereits aus der Leistungsdefinition und der Beschaffung lassen sich Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten: je nach Art, Umfang und Entwicklungsaufwand der geforderten Leistung

kommen prinzipiell unterschiedliche Gruppen von Anbietenden in Frage, die entweder Gesamtsysteme auf Kundenwunsch entwickeln und implementieren, ein vorhandenes System anbieten oder nur Teilkomponenten liefern. Je komplexer die Aufgabenstellung, desto größer die Herausforderungen beim Erstellen von Anforderungen und Leistungsdefinition und bei der Kommunikation mit den Anbietern. Das Maß an Eigeninitiative und Wissen über den Ausschreibungsgegenstand, das für eine reibungslose, zügige und wirtschaftliche Beschaffung erforderlich ist, sollte nicht unterschätzt werden.

Trotz der Parallelen bspw. zu Logistik- und Warenwirtschaftsbranche handelt es sich im Betriebsdienst nicht um Standardprozesse. Die speziellen Randbedingungen erfordern eine möglichst exakte Beschreibung der Anforderungen. Es hat sich gezeigt, dass die digitale Infrastruktur der öffentlichen Verwaltung und insbesondere in der Betriebsdienstbranche nicht mit der Privatwirtschaft zu vergleichen ist.

Die Erprobung der sorgfältig ausgewählten Konzepte hat gezeigt, dass eine innovative Datenerfassung und -nutzung im Straßenbetriebsdienst das Potential hat, die wirtschaftliche Aufgabenerfüllung sowie Informationen über Eingriffe in den Verkehrsraum zu verbessern. KI-gestützte Objekterkennung ist für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen möglich. Bei der Verortung beweglicher Objekte und dem Erfassen von Schaltzuständen können ausreichende Genauigkeiten erzielt werden. Nicht immer sind komplexe und umfangreiche Systeme besser geeignet, mitunter empfiehlt sich die Beschaffung eines robusten und schlanken Systems, das sich auf das Wesentliche beschränkt. Für die Ausstattung einer Werkstatt mit einem Managementsystem liegt die Herausforderung in der Definition von Arbeitsabläufen und der Integration in vor- und nachgeschaltete Prozesse, die am Markt erhältlichen technischen Komponenten sind auch für einen Einsatz im Straßenbetrieb geeignet.

Neben den dokumentierten Erkenntnissen sollen die durchgeführten Pilotanwendungen als Inspiration für neue Lösungsmöglichkeiten konkreter eigener Problemstellungen dienen. Der Erfolg solcher Lösungen steht und fällt mit der Akzeptanz der Beschäftigten. Deshalb muss ein besonderes Augenmerk auf dem Nutzen für die Mitarbeitenden im Betriebsdienst und deren frühe Einbindung in Planung, Anforderungsdefinition und Bewertung liegen.

### **Innovative data acquisition and use in road maintenance**

To provide road safety and functionality during a steadily growing load on road infrastructure, the road maintenance service performs with steadily checks, maintenance and repair measures huge efforts in upkeeping and servicing the traffic facilities. An innovative acquisition and usage of data can contribute to meet the requirements in an efficient and economical way without disturbing the traffic beyond measure.

The aim of the research project is the development of differentiated deployment recommendations for the use of innovative technologies to economical fulfillment of tasks and information about traffic interventions of road maintenance as well as acquire concepts of usage, which are suitable for the manifold tasks of the road maintenance service.

For that purpose, information and communication technologies were analyzed and the transfer of technologies from other industries to road maintenance were discussed (RFID, QR-Codes, NFC, Bluetooth etc.).

For the prove of concepts in common practice, pilot applications were initiated in cooperation with five road maintenance depots out of three states:

- Location determination of traffic safety trailers and status detection of warning devices such as directional and flashing arrows (2 systems)
- A.I.-based object identification for the management of drainage systems, findability of catch basins
- Garage management system using mobile devices and QR-Codes
- Tracing of handheld machines out of a central storage using RFID (ongoing)

Conclusions and recommendations can be derived even from the definition of requirements and the procurement: according to specification, scale and development effort of the claimed service, there are different kinds of providers contemplable, which either design and implement whole systems as desired by the customer or offer an existing system or incremental subsystems. The more complex the task, the bigger the challenge to define requirements and accomplishments and also the communication with the providers. The level of self-initiative and the

knowledge about the subject of procurement, which is required for smooth, quick and economical procurement, should not be underestimated.

Despite the parallels to logistics and commodities management for example, there are no such standard processes in road maintenance service. The specific constraints require the description of demands to be as exact as possible. It turned out, that the digital infrastructure in the public administration, especially in the road maintenance depots, is not comparable to the private sector.

The prove of the carefully selected concepts demonstrated the potential of an innovative acquisition and usage of data as a part of the road maintenance service for better economical fulfillment of tasks and information about traffic interventions in road maintenance. A.I.-based object identification is suitable for a wide-ranged field of applications. The localization of non-stationary elements and the acquisition of switching states can be achieved with adequate accuracies. Complex and extensive systems are not always best suited; sometimes it is advisable to procure a stripped down, robust and lean system.

When equipping a garage with a management system, defining work processes and integrating them into upstream and downstream processes is the challenge; the technical components available on the market are also suitable for use in road maintenance service.

Besides the documented results, the pilot applications shall be an inspiration for achieving new solutions for specific own applications. Success requires the acceptance by the employees. That's why it is advisable to draw attention to the advantage for the employees in the road maintenance depots and to involve them in preparation, definition of requirements and evaluation.

## Summary

### Innovative data acquisition and use in road maintenance

## 1 Introduction

The road maintenance service carries out monitoring, maintenance and repair measures in the road network being responsible for in order to hold up road safety, functionality and efficiency. Besides the roadway the maintenance includes also bridges, green areas, drainage systems, road signs and safety devices. Basic challenges, such as the documentation of completeness of adduced maintenance effort, the spatial and temporal tracking of used vehicles and machines and also a timely identification and localization of the non-stationary elements with the corresponding management of inventory data is a challenge, which is well known from other branches (logistics, farming, construction industry).

The transfer of available technologies to the road maintenance service is an adaption and further development for new areas of application, which requires careful breakdown of changes and limits concerning these various areas of application. The aim of the research project is to prove innovative information and communication technology for a better economic fulfillment of tasks as well as information about traffic interventions in road maintenance.

## 2 Essentials

For a better understanding of innovative data acquisition and use and the derivation of a possible added value for the fulfillment of tasks in the road maintenance service, it is necessary to give a brief overview of the current state of the art. The different technologies must be named and briefly explained. In the research project presented here, the

- Communication technologies (Bluetooth, NFC),
- Positioning technologies (GNSS, IPS) and
- Identification technologies (barcodes, QR codes, RFID, BLE) and

- Other technologies (radar, lidar, laser, environment sensors)

are considered closer. The classification is not always clear, especially because there are already applications/systems/devices that combine several technologies.

Systems that are already in use and in some cases established in road maintenance are

- Inventory data management
- (Automated) field data caption
- Continuous online data transfer to the road maintenance depots
- Traffic management when working in the traffic area
- Traffic information
- CB-radio (e.g. person warning systems)
- Hard shoulder monitoring
- Object identification with RFID
- Mobile devices

In addition, new technologies related to the research object are subject of research and testing in national and international projects (contactless road condition monitoring, 3D road asset inventory, augmented reality).

## 3 Concept Suggestions

The derivation of application cases for an innovative data acquisition and use for road maintenance service follows the basic needs. Possible areas of application include

- Monitoring of property-related work (e.g. tree inspection, traffic signs, drainage systems, rain retention basins, traffic lights)
- Improved inventory data management
- Improved road surveillance (use of tablets, smartphones, PDAs)
- Detection of road equipment objects (transponders)

For the possible areas of application, different operational concepts were developed for material

tracking, tree inspection and green maintenance, combined location of short term work sites, drainage-system-management and the location of objects of high importance as well as the provision of specific information within the framework of an traffic information system.

## 4 Feasibility Study

For testing the identification and communication technologies close to realistic operation scenario, the research institution was dependent on the participation of partners from the road authorities of states, who agreed to provide the necessary resources for the duration of the pilot phase. The research institution accompanied the testing and carried out her own investigations of the ICT at the same time.

In connection with the market research, companies were identified for the respective pilot projects whose portfolio promises the greatest possible overlap with the requirements. The companies can be classified into one of the following three groups based on their primary focus:

- System developers/integrators
- System providers
- Component providers

The differentiation in this classification is not strict, larger companies sometimes cover several orientations in different departments or work together in corresponding partnerships. The providers invited to submit offers come from different industries, only a few have experience in working with the road maintenance branch. Depending on the pilot project, the original fields of activity include industry, warehouse and logistics, merchandise management, vehicle workshops or construction site security and monitoring. The procurement has shown that it is not absolutely necessary for the providers to be close to the road maintenance branch.

## 5 Pilot Projects

By the time the project is ending, four of the pilot applications have been completed. A fifth pilot

application will be continued beyond the research project under the responsibility of the road authority involved.

### Positioning of traffic safety trailers, system 1

System 1 was supplied by a company that offers products for mobile and digital data acquisition to be used in the public sector, in forestry and in water management.

The status of the warning device (opened/closed) is recorded automatically. The switching states of the directional arrow and the flashing arrow are entered manually using a tablet. In a clear web portal provided by the contractor with largely intuitive operation, current and historical positions of the traffic safety trailer as well as the states of the directional arrows and flashing arrows can be displayed. The display of the position of the traffic safety trailer was partially accurate to the lane. In some places, the course of the journey could only be traced with difficulty, as positions that were spatially far apart were connected linearly to form routes.

The switching states of the traffic safety trailer can also be controlled via an activated interface and therefore integrated into another system. So, the traffic safety trailer can also be controlled via an existing tablet for recording deployment data, for example. The number of control panels can thus be reduced. It is therefore advisable to activate the existing interfaces when purchasing new traffic safety trailers.

### Positioning of traffic safety trailers, system 2

System 2 came from a company that develops and supplies data acquisition and tracking systems, including for fleet management, billing purposes and theft protection for vehicles, construction machinery and devices in the construction industry or machine rental. The system offered for determining the position of traffic safety trailers includes standard components (data trackers) that are available from stock and do not require any additional development/adaptation effort. The tests showed that the system is basically also suitable for use in maintenance services. The system works as described, is simple and not prone to errors, the requirements have been met. The accuracy of the position determination is sufficient in any case for

the vehicle to be found (in the case of application, for example, a mobile traffic light system).

### **Drainage management**

For drainage management, an application from a company was used that offers products for the management of (municipal) infrastructure objects such as street lamps, waste bins and gullies. In line with the smart city-concept, A.I.-system solutions are used for the digital recording, monitoring and maintenance of existing properties. The prototype offered for the detection of street gullies includes a 3D-camera and the further development of an A.I.-supported image recognition. Furthermore, the findability of the geo-referenced drainage facilities was tested using an app from the contractor.

It could be shown that the prototype can be used to achieve practical results in the detection of gullies, the identification is reliable and works even with partially covered inlets. In principle, the application for a large number of objects in the street space is conceivable. This enables further applications, e.g. for automatic billing or for the purposes of service documentation. The quality of the acquisition strongly depends on whether the stored data record is suitable for the specific application. It was easy to find gullies using the contractor's app. A prerequisite, however, is a sufficiently precise position determination via GNSS.

### **Garage management**

A software provider/system integrator was commissioned to test a warehouse management in a central workshop for maintenance vehicles and equipment. A component supplier supplied the hardware required.

For the duration of the pilot application, the contractor's SAP system was used as the required back-end solution, in which the compiled materials and their storage location were stored. For the identification numbers used, the research institution created self-adhesive labels with QR-codes and attached them to selected storage locations. The tried and tested system basically consists of mobile devices with an Android-operating system and integrated scanner as well as the app for warehouse management, which in the pilot version has the functions of incoming goods (order), outgoing goods and stock inquiries.

Regardless of the specific software solution, the response to the use of mobile devices and QR codes after the test was completed was positive, and the scanning of codes at higher-up storage locations or near the floor also worked without any problems (even with partially covered or damaged labels). In principle, the system concept is practicable. In summary, it was found that suitable systems for warehouse management exist and are available based on standard software with little need for adaptation. The tried and tested solution is suitable as part of an overall system to improve warehouse management.

### **Tracking of handheld devices**

A system solution was commissioned to track handheld devices from the central device store. The warehouse has several entrances (roller shutter and doors) and includes an anteroom for the storage, repair and maintenance of equipment (brush cutters, motor saws, leaf blowers etc.) as well as a storage room with restricted access. The system integrator plans the structure from individual (modular) sub-systems, supplemented by special technical components (e.g. antennas with a long range). The concept proposes a personalized RFID access card for identification and automatic recording of removed devices using RFID tags. The pilot phase could not be completed within the duration of the research project.

## **6 Findings and Recommendations**

It has been shown that the digital infrastructure of public administrations and especially in the maintenance services sector cannot be compared with the private sector. Despite the parallels to the logistics and merchandise management industry, for example, maintenance services are not standard processes. The specific boundary conditions need the requirements to be described as precisely as possible.

As a rule, system solutions require a professional company from the respective industry, which is responsible for the installation and is also available during operation. Ordering individual components, on the other hand, is only recommended in individual cases under certain conditions. Nevertheless, it



could be shown that the acquisition of components and their installation by own employees of the road maintenance authorities can be effective, provided that suitable manuals/installation instructions are included and the processes are kept simple. A step-by-step implementation can be recommended for extensive and complex requirements. This simplifies the definition of functionalities and ensures a clear start-up and better cost control.

The greater the range of functions of a system, the more value must be placed on simple handling and clear processes. The use of innovative technologies should support the work that has to be done without taking too much time to operate. So that such a system can be used efficiently, the acceptance of the employees and the willingness to deal with it, is of the utmost importance. The prerequisite for this is a comfortable and understandable operating concept that does not overwhelm the user. It may be advantageous to reduce the catalog of requirements in favor of user-friendliness, since systems with a larger range of functions usually are also more demanding in terms of operation.

Organizational structures and established processes may have to be questioned at the time of the tender (e.g. in an upstream organizational investigation). It cannot be ruled out that over time as a result of changed boundary conditions (shortage of staff, process and structural organization etc.), processes have become established that do not correspond to the optimal process design and mean additional work to the employees. Before digitization of such processes (codifying of the current state) is initiated, it must be discussed internally whether processes are still appropriate and timely to keep them.

In principle, the active participation of employees is recommended in the definition of the requirements, also to improve the later acceptance. Regionally characteristic workflows as well as specific features and the general structural conditions can usually only be conclusively recorded by the contractor himself through on-site appointments. People involved can then be asked about their work habits and individual wishes. The abstraction of the usual processes in the context of a pilot phase as well as the development of a realistic target concept sometimes represents a challenge for the employees. Even if adjustments are usually necessary, the mandatory use should only begin after the system

has matured accordingly so that the employees do not incur any additional effort through usage.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	11	3.1.1	Einsatzdokumentation bei objektbezogenen Arbeiten .....	26
1.1	Problemstellung .....	11	3.1.2	Verbessertes Bestandsdatenmanagement .....	26
1.2	Zielsetzung .....	11	3.1.3	Verbesserte Streckenkontrolle .....	26
1.3	Vorgehensweise .....	12	3.1.4	Erfassung von Ausstattungsobjekten ...	26
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	12	3.2	Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen .....	27
2.1	Kommunikationstechnologien .....	13	3.2.1	Gegenüberstellung Barcode – QR-Code .....	27
2.1.1	Bluetooth .....	13	3.2.2	Gegenüberstellung Bluetooth – NFC .....	28
2.1.2	NFC .....	13	3.3	Anforderungen an Implementierung und Betrieb .....	28
2.2	Ortungstechnologien .....	14	3.4	Einsatzkonzept und Pilotanwendung ...	28
2.2.1	Satellitengestützte Positionsbestimmung .....	14	3.4.1	Materialverfolgung .....	28
2.2.2	Indoor Positioning System .....	15	3.4.2	Baumkontrolle und Grünpflege .....	30
2.3	Identifikationstechnologien .....	16	3.4.3	Kombinierte Ortung von Tagesbaustellen .....	32
2.3.1	QR-Codes .....	16	3.4.4	Schachtmanagement .....	33
2.3.2	RFID-System .....	17	3.4.5	Ortung von Objekten hoher Wichtigkeit .....	34
2.3.3	Bluetooth .....	18	3.4.6	Informationssystem .....	35
2.4	Weitere Technologien .....	19	3.4.7	Auswahl der Konzepte für die Erprobung .....	35
2.4.1	Radar .....	19	<b>4</b>	<b>Praxiserprobung</b> .....	36
2.4.2	Laser .....	19	4.1	Auswahl der Praxispartner und Anpassung der Pilotprojekte .....	36
2.4.3	Lidar .....	19	4.2	Beschaffung .....	37
2.4.4	Umfeldsensorik .....	20	4.2.1	Auswahl Unternehmen .....	37
2.5	Stand der Wissenschaft und Technik ..	20	4.2.2	Ausschreibung .....	38
2.5.1	Etablierte Systeme .....	20	4.2.3	Angebote .....	39
2.5.2	Einsatz weiterer Geräte und Techniken im Betriebsdienst .....	22	4.3	Erfahrungen .....	39
2.5.3	Neue Technologien in der Forschung/ Erprobung im In- und Ausland .....	23	4.3.1	Anpassung der Pilotprojekte und Anforderungsdefinition .....	39
2.6	Marktrecherche .....	24	4.3.2	Auswahl Unternehmen .....	40
2.6.1	Technologien in der Logistik .....	24			
2.6.2	Technologien in der Landwirtschaft ...	25			
2.6.3	Technologien in der Bauwirtschaft ....	25			
<b>3</b>	<b>Konzeptvorschläge</b> .....	26			
3.1	Anwendungsbereiche im Straßenbetriebsdienst .....	26			

4.3.3	Ausschreibung . . . . .	41
4.3.4	Angebote . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Pilotprojekte . . . . .</b>	<b>43</b>
5.1	Positionsbestimmung von Verkehrs- sicherungsanhängern System 1. . . . .	43
5.1.1	Vorbereitung und Einbau . . . . .	43
5.1.2	Funktionalitäten . . . . .	43
5.1.3	Ergebnisse . . . . .	44
5.2	Positionsbestimmung von Verkehrs- sicherungsanhängern System 2. . . . .	44
5.2.1	Einbau und Inbetriebnahme . . . . .	45
5.2.2	Funktionalitäten . . . . .	45
5.2.3	Ergebnisse . . . . .	45
5.3	Entwässerungsmanagement . . . . .	46
5.3.1	Vorbereitung . . . . .	46
5.3.2	Einbau und Erprobung . . . . .	46
5.3.3	Ergebnisse . . . . .	47
5.4	Werkstattmanagement . . . . .	48
5.4.1	Vorbereitung . . . . .	48
5.4.2	Funktionalitäten . . . . .	48
5.4.3	Erprobung . . . . .	49
5.4.4	Ergebnisse . . . . .	50
5.5	Nachverfolgung handgeführter Geräte . . . . .	50
5.5.1	Vorbereitung . . . . .	50
5.5.2	Konzept . . . . .	51
5.5.3	Aktueller Stand und Ausblick . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Erkenntnisse und Empfehlungen . . . . .</b>	<b>51</b>
6.1	Beschaffungskonzept . . . . .	51
6.2	Anforderungsdefinition . . . . .	52
6.3	Ausschreibungsverfahren . . . . .	53
6.4	Durchführung . . . . .	54
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>57</b>
	<b>Tabellen . . . . .</b>	<b>58</b>
	<b>Bilder . . . . .</b>	<b>58</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit und der Funktionstüchtigkeit des Bundesfernstraßennetzes (ca. 13.000 km Bundesautobahnen) und des nachgeordneten Netzes (ca. 38.000 km Bundes-, 87.000 km Landes- und 92.000 km Kreisstraßen) [BMVI, 2019] werden durch den Straßenbetriebsdienst regelmäßige Kontrollen, Wartungen sowie Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt. Der Aufgabenumfang ist dabei sehr vielfältig, wie u. a. die Instandhaltung von Verkehrszeichen, Schutzeinrichtungen und sonstiger Straßenausstattung unter Zuhilfenahme diverser Fahrzeuge und Gerätschaften, und setzt teilweise spezialisiertes Fachwissen voraus, z. B. bei der Betreuung von Bauwerken (Brücken und Tunnel) und Entwässerungsanlagen (Pumpenanlagen, Regenrückhaltebecken) sowie deren technischer Anlagen (Glättemeldealanlagen, Lichtsignalanlagen etc.). Die hohen Ansprüche an die Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Straßen, insbesondere des Bundesfernstraßennetzes als schnelles Vorbehaltsnetz, setzen im Bedarfsfall, vor allem bei extremen Witterungseinflüssen und Unfällen, ein flexibles und schnelles Handeln voraus. Zudem ist eine zeitnahe und zuverlässige Identifikation und Verortung der ortsveränderlichen Elemente mit entsprechendem Bestandsdatenmanagement hilfreich. Durch die unterschiedlichen Zuständigkeiten und Straßenbaulastträger stellen auch die rechtlich verwertbare Erfassung und Dokumentation von Einsatz- und Aufwandsdaten sowie die Kosten- und Leistungsrechnung eine Herausforderung dar.

Andere Branchen sehen sich mit ähnlichen grundsätzlichen Problemstellungen konfrontiert: Der Landwirtschaftssektor nimmt eine Vorreiterrolle beim Einsatz von GPS-basierter Maschinensteuerung ein, profitiert aber auch von moderner Mess- und Steuerungstechnik, Drohnen oder selbstfahrenden Fahrzeugen, die einen effizienteren Düngemittleinsatz, Pflanzenschutz und enorme Erleichterungen durch parallele Spurführung bei Pflanzarbeiten, Erntevorgängen und der Bodenbearbeitung ermöglichen. Die agrarspezifische Erhebung von Wetterdaten, elektronische Reifendruck- und Regelanlagen, Wildrettung mit Infraroterkennung und Düngemittlempfehlungen durch Stickstoffsensoren stellen nur einige Beispiele der digitalisierten Landwirtschaft dar. Eine automatisierte Einsatzdatenerfassung findet neben der Landwirtschaft

auch in den Bereichen Entsorgungswirtschaft und im Straßenbau Anwendung. Bei der Produktion und in der Logistikbranche spielt die Verortung, Identifikation und Verfolgung einzelner Elemente in Produktionsketten oder der Endprodukte auf ihrem Weg zum Verbraucher eine entscheidende Rolle. Neue innovative Ansätze, wie die Erfassung des Zustandes der Fahrbahnoberfläche mittels Fahrzeugsensoren, Fahrerloses Fahren oder der Einsatz von 3D-Brillen, die zusätzliche Informationen für die Anwender bereitstellen, werden vielfach beworben und in der Fachwelt diskutiert. Dabei ist die Klärung der Frage von Bedarf und Nutzen übertragbarer Informations- und Kommunikationstechnologien aus anderen Wirtschaftszweigen auf den Straßenbetriebsdienst von zentraler Bedeutung. Ziel der Einführung innovativer Techniken zur Datenerfassung, Datenhaltung, Beweissicherung sowie schlicht zur Erleichterung und Beschleunigung der Arbeitsprozesse ist eine verbesserte Informationsbereitstellung und effizientere Organisation von Arbeitsabläufen sowie die Anpassung der Datenhaltung an moderne Standards. Dabei muss die Thematik der Schnittstellenbereitstellung zwingend betrachtet werden. Die Eingliederung neuer Technologien in ein Gesamtkonzept ist wünschenswert, Insellösungen sollten nach Möglichkeit vermieden werden.

## 1.2 Zielsetzung

Sowohl die Steuerung des Straßenbetriebsdienstes selbst als auch der Informationsfluss an betroffene Verkehrsteilnehmer hinsichtlich zu erwartender und/oder bereits vorhandener Eingriffe in den Verkehrsraum, die mit den Arbeiten des Straßenbetriebsdienstes einhergehen, lassen sich durch den Einsatz von Identifikations- und Kommunikationstechnologien verbessern. Für deren Einsatz sollen Konzepte erstellt, deren Einsatz erprobt und die Erfahrungen damit bewertet werden. Ziel ist ein differenzierteres Konzept für den Einsatz von Identifikations- und Kommunikationstechnologien zur Verbesserung der wirtschaftlichen Aufgabenerfüllung sowie der Information über Eingriffe in den Verkehrsraum.

Die Übertragung der verfügbaren Technologien auf den Einsatz im Straßenbetriebsdienst stellt eine Anpassung und Weiterentwicklung für neue Anwendungsbereiche dar. Hierfür ist eine sorgfältige Analyse der Möglichkeiten und Grenzen der verfügbaren Technologien für die verschiedenen Anwen-

dungsbereiche im Straßenbetriebsdienst erforderlich. Bei einer erfolgreichen Adaption kann sowohl die Wirtschaftlichkeit und Effizienz der Aufgabenerfüllung im Straßenbetriebsdienst erhöht als auch die Information der Verkehrsteilnehmer über Behinderungen erweitert werden; mit den positiven Folgen für Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit auf den betreuten Straßen.

### 1.3 Vorgehensweise

Die Organisation des Vorhabens gliedert sich in vier Arbeitspakete, wobei das vierte Arbeitspaket im Wesentlichen der Dokumentation der Projektergebnisse dient. Die Grundlagenerhebung, bestehend aus Literaturrecherche (AP 1.1), Auswertung von Forschungen und Pilotanwendungen (AP 1.2) und einer Marktrecherche (AP 1.3), soll einen Überblick über verfügbare Technologien und deren bisherige Anwendung geben. Als Teil der Konzepterarbeitung wurden die in der Grundlagenerhebung gesammelten Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendbarkeit im Straßenbetriebsdienst ausgewertet (AP 2.1) und geeignete Anwendungsbereiche in Abhängigkeit der spezifischen Vor- und Nachteile definiert (AP 2.2). Daraus wurden aufgabenspezifische Anwendungen ggf. mit einem Zusammenspiel aus mehreren Technologien für die Erprobung abgeleitet und ein differenziertes Einsatzkonzept für die Praxiserprobung im Straßenbetriebsdienst zusammengestellt (AP 2.3). Als Beitrag zur Literaturrecherche wurden die Inhalte aus dem Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen V 225 „Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst“ [BASt 2013] erfasst und auf ihren Fortbestand oder ggf. Neuerungen hin überprüft. Darüber hinaus liegen der Erhebung eine umfangreiche Literaturrecherche, Erkenntnisse aus verschiedenen Datenbanken sowie Ergebnisse aus eigenen Projektbeteiligungen zu Grunde. Die Anwendung von Kommunikations- und Informationstechnologien in anderen Bereichen wurde unabhängig vom Straßenbetriebsdienst untersucht. Es zeigt sich, dass in diversen Branchen vergleichbare Anforderungen an die räumliche und zeitliche Verfolgung von Objekten gestellt werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen zu Anwendungsmöglichkeiten und Verfügbarkeit innovativer Techniken zur Datenerfassung und -nutzung werden Ansätze für Praxiserprobungen erarbeitet. Für die Umsetzung wurden geeignete Organisationseinheiten der Straßenbauverwaltung ausgewählt (AP 3.1) und diese bei der Beschaffung unterstützt (AP 3.2). Aufbau-

end auf den Erfahrungen aus Beschaffungsprozess und Pilotanwendung (AP 3.3) werden Empfehlungen abgeleitet (AP 4.1).

## 2 Grundlagen

Für ein besseres Verständnis innovativer Datenerfassung und -nutzung und die Ableitung eines möglichen Mehrwertes für die Aufgabenerfüllung im Straßenbetriebsdienst ist es erforderlich, einen kurzen Überblick über den derzeitigen Stand der Technik zu geben. Dabei müssen die unterschiedlichen Technologien benannt und kurz erläutert werden. In dem hier vorliegenden Forschungsvorhaben werden die

- Kommunikationstechnologie,
- Ortungstechnologie und
- Identifikationstechnologie

näher betrachtet. Die Abgrenzung ist nicht immer eindeutig, insbesondere weil es inzwischen Anwendungen/Systeme/Geräte gibt, die mehrere Technologien in sich vereinen.

### Kommunikationstechnologie

Zu Kommunikation zwischen Einzelnen oder Gruppen, die sich räumlich entfernt voneinander befinden, gedachte elektronische Systeme werden als Überbegriff mit Kommunikationstechnologie bezeichnet. Dazu zählen Telefon, Telex, Fax, Radio, Fernsehen und Video, aber auch die jüngeren rechnergestützten Medien wie Electronic Data-Interchange und E-Mail. In der jüngeren Vergangenheit werden die zwei Begriffe Informations- und Kommunikationstechnik miteinander verschmolzen; auch IuK-Technologie genannt; da sich beide Anwendungen gegenseitig bedingen. Im weiteren Sinne steht diese Technologie für jegliche Kommunikationsanwendungen, darunter auch Radio, Fernsehen, Handys, Smartphones, Hardware und Software für Computer und Netzwerke, Satellitensysteme sowie für die verschiedenen Dienstleistungen und Anwendungen, die damit verbunden sind.

### Ortungstechnologie

Als Ortung werden grundsätzlich diejenigen Verfahren verstanden, mit denen die räumliche Position

von entfernten Objekten ermittelt wird. Ziel der Ortung ist in der Regel diese Objekte mittels gezielter Navigation aufzufinden. Es wird dabei zwischen Outdoor- und Indoor-Navigation differenziert, da sich die verwendeten Verfahren unterscheiden. Generell ist die Basis aller Ortungstechnologien das Prinzip der Triangulation, d. h. Abstandsmessung durch Winkelberechnung. Für die Outdoor-Navigation stehen die GPS- bzw. DGPS-Ortung zur Verfügung. Der klassische Anwendungsfall dafür ist die Fahrzeugnavigation. Im innerräumlichen Bereich steht in der Regel kein ausreichender GPS-Empfang zur Verfügung, weshalb hier ein eigenes GPS-Signal via Bluetooth Low Energy (BLE) oder WLAN verwendet wird. Der Vorteil dieser Technik ist eine exaktere Ermittlung der Position des gesuchten Objektes, die sogar das genaue Stockwerk anzeigen kann. Ein typischer Anwendungsfall ist die Turn-by-Turn-Navigation, bei der Richtungsanweisungen auf einer digitalen Karte angezeigt werden. Diese Apps finden sich häufig in Bahnhöfen, Flughäfen, Einkaufszentren oder Museen. Ein weiterer häufig genutzter Anwendungsfall ist die automatische Positionsbestimmung von Einzelteilen/Objekten in großen Lagern, bei der Gepäck-, Paket- und Warenverfolgung oder in Supermärkten.

### Identifikationstechnologie

Als Identifikationssysteme werden Komponenten, Systeme und kundenspezifische Lösungen für das berührungslose, automatisierte Lesen von Codes sowie das Lesen wie auch das Schreiben von Daten auf entsprechenden Datenträgern verstanden. Objektspezifische Daten (abhängig vom Anwendungsfall) können entweder in genormten Datenformaten oder als Codes, z. B. QR-Codes oder Barcodes, direkt am Objekt an- bzw. aufgebracht oder als Datensatz auf einem mobilen Datenträger (Transponder) gespeichert werden. In nahezu jedem Anwendungsbereich, für den die Automatische Identifikation (Auto-ID) zielführend ist, stellt sich die grundsätzliche Frage nach der geeigneten Identifikationstechnologie. Dabei beherrschen drei Identifikationstechnologien den Markt. Dazu zählen die RFID-, laser- und kamerabasierte Identifikation. Bedingt durch den stetigen technischen Fortschritt und der damit einhergehenden Weiterentwicklung können ID-Aufgaben immer besser gelöst und zusätzliche Anwendungsfelder erschlossen werden. Aufgrund der Vielseitigkeit der Anforderungen in den diversen Einsatzbereichen und der unterschiedlichen Stärken und Schwächen der jeweiligen Identi-

fikationstechnologie gibt es keine Einzellösung. Der optimale Einsatz der Identifikationstechnologie muss immer individuell auf die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zugeschnitten werden. Eine einheitliche übergreifende Austauschplattform kann das Nutzen-Kosten-Verhältnis positiv beeinflussen.

Im folgenden Kapitel werden einzelne Systeme näher beschrieben, die im Rahmen der geplanten Pilotanwendungen vielversprechende Eigenschaften aufweisen. Die Aufzählung und Erläuterung ist auf die Ziele des vorliegenden Forschungsvorhabens ausgerichtet und daher nicht abschließend.

## 2.1 Kommunikationstechnologien

### 2.1.1 Bluetooth

Bluetooth ist eine lizenzfreie standardisierte Funktechnik zur Datenübertragung. Die Reichweite ist abhängig von der Sendeleistung und beträgt bis zu 100 Meter. Bluetooth Low Energy (BLE) oder auch Bluetooth Smart ist eine besonders stromsparende Variante, die für den Einsatz in kleinen mobilen Endgeräten entwickelt wurde und beispielsweise mit einer handelsüblichen Knopfzelle betrieben werden kann. Die Reichweite liegt bei bis zu 40 m. Bluetooth wurde mit dem Ziel entwickelt, mobile Geräte durch Funkverbindungen niedriger Leistung miteinander zu verbinden. Verwendung findet Bluetooth in allen drei Technologiebereichen; Kommunikation, Ortung und Identifikation. Ein Beispiel dafür sind die auf der Bluetooth-Technologie basierenden Beacons. Sie finden ihren Einsatz zur:

- Kommunikation durch Übertragung, z. B. von Sensorwerten, wie Beschleunigung, Neigung, Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck, Licht, Magnetismus
- Ortung durch Ermittlung des Abstandes zwischen den Beacons und einem Empfangsgerät aus Signalstärkenmessungen
- Identifikation durch Übertragung einer ID.

### 2.1.2 NFC

Bei der Nahfeldkommunikation (Near Field Communication, kurz NFC), handelt es sich um einen internationalen Übertragungsstandard der auf der RFID-Technik basiert. Die Datenübertragung findet zwi-

schen zwei aktiven Geräten, die jeweils sowohl senden als auch empfangen können, im Frequenzbereich 13,56 MHz statt. Anhand elektromagnetischer Induktion können kontaktlos Daten geringen Umfangs ausgetauscht werden. Aktuelle Smartphones sind bereits mit dieser Technik ausgestattet. Anwendung findet NFC beim kontaktlosen Bezahlen kleiner Beträge im Einzelhandel (Micro-payment), bei der Übertragung digitaler Berechtigungen wie WLAN-Codes, der automatischen Aufnahme von Bluetooth-Verbindungen sowie bei kontaktlosem Laden des Smartphone-Akkus. Des Weiteren lassen sich kleine Speicherchips (NFC-Tags) nach persönlichen Bedürfnissen mit Anwendungsbefehlen programmieren (Bild 2-1) sodass z. B. beim Betreten des Büros das Smartphone automatisch stummgestellt oder beim Verlassen die WLAN-Suchfunktion ausgeschaltet und so die Akkulaufzeit durch effiziente Funktionsnutzung verlängert wird. Auch die Nutzung als Autoschlüssel und die automatische Identifikation zum Aktivieren der persönlichen Sitz- und Komforteinstellungen im Fahrzeug ist möglich. Die Übertragung ist in der Regel nur innerhalb einer Reichweite von 10 cm möglich, damit nach Aktivierung der NFC-Technik am Smartphone die automatische Kontaktaufnahme zwischen den Geräten als Transaktionszustimmung gewertet werden kann. Die Deutsche Bahn AG führt an neuen Fahrkartenschaltern die Nahfunktechnik schrittweise ein, im öffentlichen Nahverkehr inner- und außereuropäischer Großstädte kommen NFC und NFC-Tags zum berührungslosen Bezahlen und als Fahrkarte zum Einsatz (Wien, London, Helsinki, Moskau). Seit 2011 ist der neue Personalausweis der Bundesrepublik Deutschland NFC-fähig, die österreichische Post nutzt NFC für Empfangsboxen in Mehrfamilienhäusern.



Bild 2-1: Anwendungsgebiete für NFC (Eigene Darstellung, DRC)

## 2.2 Ortungstechnologien

### 2.2.1 Satellitengestützte Positionsbestimmung

Die globalen Satellitennavigationssysteme, auch GNSS (Global Navigation Satellite System) genannt, basieren auf demselben Funktionsprinzip: die Bestimmung der Position eines Empfängers relativ zu einer bestimmten Anzahl von Satelliten aus der Laufzeitmessung von Satellitensignalen. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung hängt von der Sichtbarkeit und der Position der Satelliten ab.

Mögliche Fehlereinflüsse sind weiterhin:

- Ionosphärische Laufzeitverlängerungen (Größenordnung des Fehlers: 10 m)
- Fehler der Satellitenuhren (Größenordnung des Fehlers: 1 m)
- Schwankungen der Satellitenbahnen (Größenordnung des Fehlers: 1 m)
- Troposphärische Laufzeitverlängerungen (Größenordnung des Fehlers: 1 m)

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung beim GNSS kann durch Nutzung von Korrekturdaten des Differentiellen GPS erhöht werden. An ortsfesten Referenzstationen wird die Differenz aus der tatsächlichen und der berechneten Position ermittelt. Mit der Annahme, dass benachbarte Empfänger vergleichbare Fehler aufweisen, können aus dieser Differenz Korrekturdaten abgeleitet werden. Der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland stellt Korrekturdaten bereit, die die Positionierungsgenauigkeit je nach Aufwand bis in den Millimeterbereich steigern.

Nachfolgend sind die aktuellen GNSS aufgeführt:

- GPS, Vereinigten Staaten von Amerika
- GLONASS, Russische Föderation
- Galileo, Europäische Union
- Beidou, Volksrepublik China

Das globale Satellitennavigationssystem Galileo wird von der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA (European Space Agency) entwickelt und ist unabhängig von militärischen Einrichtungen. Galileo soll der globale Standard für zivile Anwendungen werden. Qualitäts- und Integritätsgarantien sollen im Gegensatz zu den militärischen Systemen gegeben werden.

In Bereichen mit starker Abschattung erreichen GPS-Systeme oftmals ihre Grenzen und müssen für eine genaue Ortung um weitere Anwendungen, wie Interpolation von Streckenabschnitten zwischen zwei GPS-Signalen oder Mapping auf zusätzliche Straßenkarten, ergänzt werden. Im Straßenbetriebsdienst führt dies insbesondere in Waldgebieten und Tunneln, unterhalb von Brücken oder in Bereichen mit dichter Bebauung zu Problemen.

### 2.2.2 Indoor Positioning System

Da die satellitengestützte Positionsbestimmung auch in Gebäuden aufgrund von Abschattungen nicht zuverlässig funktioniert, nutzt ein Indoor Positioning System (IPS) andere Methoden zur Positionsbestimmung, wie z. B. WLAN, RFID oder die auf der Bluetooth Low Energie (BLE) Technologie basierenden Beacons.

Bei der Positionsbestimmung über ein WLAN-Netzwerk wird zumeist die Fingerprint-Technik eingesetzt. Hierbei muss in einer ersten Phase (Offline-Modus) für jede benötigte Position eine Analyse der Signalstärken aufgenommen und in einer Datenbank abgelegt werden. Im Einsatz (Online-Modus) erfolgt die Positionsbestimmung auf einem mobilen Endgerät durch Messung und Abgleich zwischen den aktuellen und den in der Datenbank abgelegten Signalstärken. Tests ergaben eine Genauigkeit von ca. vier Metern mit einer Probabilität von 50 %. Da das Funksignal durch Wasser absorbiert wird, ist die Genauigkeit beispielsweise stark von anwesenden Menschen beeinflusst. Der recht zeitintensive Offline-Modus muss bei jeder Änderung im Gebäude (neue Positionen oder neue Objekte, die die Signalausbreitung verändern) erneut durchgeführt werden.

Die RFID-Technologie kann ebenfalls zur Positionsbestimmung eingesetzt werden. Hierbei sind die benötigten Positionen mit Lesegeräten auszustatten. Alle Objekte, die mit einem RFID-Tag versehen sind, werden an diesen Positionen erfasst. Der Vorteil dieser Methode liegt bei den sehr kleinen, leichten und günstigen RFIDs. Nachteilig ist die ggf. hohe Anzahl an Lesegeräten.

Bei der Positionsbestimmung mit der Bluetooth Low Energie (BLE) Technologie wird grundsätzlich zwischen clientseitiger und serverseitiger Positionsbestimmung unterschieden. Bei der clientseitigen Positionsbestimmung werden im Gebäude kleine Sender, typischerweise Beacons, installiert. Auf dem

Endgerät (Client), z. B. einem Smartphone, erfolgt dann die Positionsbestimmung, siehe Bild 2-2.

Bei der serverseitigen Positionsbestimmung wird zwischen zwei Varianten unterschieden. Eine Möglichkeit ist es, die Beacons gleichmäßig im Gebäude zu verteilen und auf den zu verfolgenden Objekten so genannte LoRa/BLE Tags anzubringen. Diese Variante ist geeignet für große Flächen mit verhältnismäßig wenigen zu verfolgenden Objekten. Hierbei können die Beacons zusätzlich auch zur oben beschriebenen clientseitigen Positionsbestimmung mit dem Smartphone verwendet werden. Bei der zweiten Möglichkeit werden die LoRa/BLE Tags gleichmäßig auf dem Gelände verteilt und die Beacons auf die zu verfolgenden Objekte geheftet. Diese Variante ist geeignet für kleinere Flächen mit verhältnismäßig vielen zu verfolgenden Objekten (Bild 2-3).

Bei beiden Varianten erfolgt die Positionsbestimmung auf einem Server. Die LoRa/BLE Tags nutzen ein stromsparendes Funksystem (Long Range Wide Area Network), dass Datenübertragungen nur mit größeren Latenzzeiten (ca. 30 s bis 5 min) ermöglicht und für die Liveortung nicht geeignet ist.

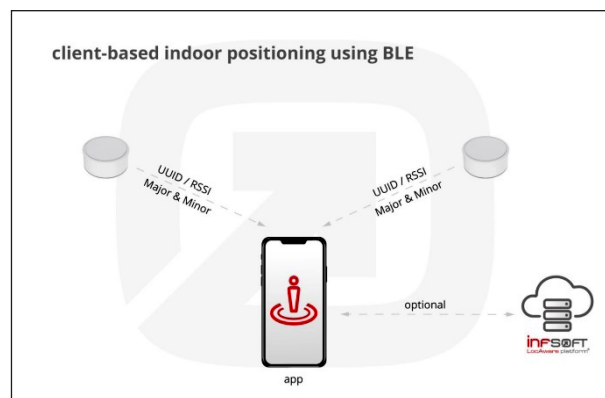


Bild 2-2: Clientseitige Positionsbestimmung mit Beacons [infsOFT GmbH, 2022]

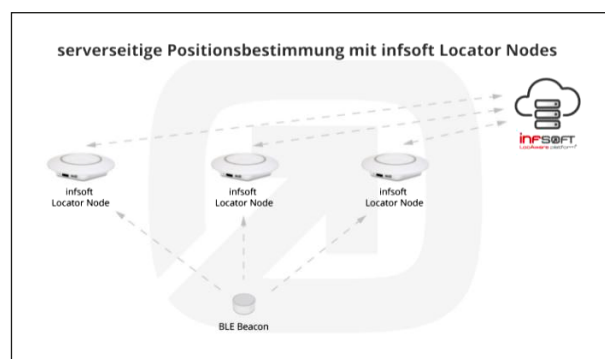


Bild 2-3: Serverseitige Positionsbestimmung mit Beacons [infsOFT GmbH, 2022]



Die beschriebenen IPS-Systeme sind auch für den Außenbereich geeignet [insoft GmbH, 2022].

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung bei der clientseitigen Variante liegt bei einigen Metern, bei der serverseitigen Variante bei unter acht Metern. Versuche zeigen jedoch, dass der Aufenthalt von Menschen zwischen den Sende- und Empfangseinheiten die Genauigkeit stark sinken lässt [SOMMER, 2015]. Die Energieversorgung der Beacons übernimmt entweder eine Batterie oder das Stromnetz. Die Batterie hält je nach benötigter Signalstärke und Sendefrequenz zwischen sechs Monaten und einigen Jahren. „Die Indoor-Positioning-Technologien bieten viele Ansätze zur Lokalisierung in Gebäuden. Ein überragendes System, das einen Großteil der Anwendungsfälle abdecken kann, wurde bisher nicht entwickelt. Da jeder Raum, jede Halle und jedes Gebäude andere Störfaktoren aufweisen, ist eine generelle Lösung für die Lokalisation bislang eine große Herausforderung.“ [SOMMER, 2015]

## 2.3 Identifikationstechnologien

### 2.3.1 QR-Codes

#### Barcodes

Bei einem Barcode, auch Balken- oder Strichcode genannt, handelt es sich um einen, aus Balken bzw. Strichen und Lücken bestehenden, eindimensionalen Binärcode. Die Daten in Form binärer Symbole können mit optischen Lesegeräten (Scanner, Kameras) und geeigneter Software maschinell eingelesen und elektronisch interpretiert werden. Die Speicherkapazität umfasst je nach Barcodeart etwa 20 Stellen, womit ein numerischer (nur Ziffern) oder alphanumerischer Code aus Ziffern, Buchstaben und Sonderzeichen dargestellt werden kann.

#### QR-Codes

Bei einem QR-Code (Quick Response Code) handelt es sich um einen zweidimensionalen Flächencode, in dem Informationen in einer quadratischen Matrix, i. d. R. aus schwarzen und weißen Quadraten bestehend, abgebildet werden. Die Daten können mit optischen Lesegeräten (Scanner, Smartphone-Kameras, Tablets o. ä.) und geeigneter Software maschinell eingelesen, decodiert und interpretiert werden. Durch die Kodierung in horizontaler und vertikaler Richtung können laut Entwickler ge-

genüber einem eindimensionalen Barcode auf der gleichen Fläche ein Vielfaches an Informationen gespeichert werden [Denso Wave Inc., 2019]. Die Speicherkapazität alphanumerischer Codes umfasst bis zu 4.000 Stellen, was etwa 500 Wörtern entspricht. Der abgebildete Beispielcode (Bild 2-4) enthält das Gedicht „Der Frühling ist die schönste Zeit“ von Annette von Droste-Hülshoff mit 95 Wörtern. Sollen nur numerische Ziffern abgebildet werden, sind sogar bis zu 7.000 Stellen möglich.

Aufgrund einer automatischen Fehlerkorrekturlasen sich bis zu 30 % Verlust des Codes rekonstru-



Bild 2-4: Beispiel für einen QR-Code



Bild 2-5: Beispiel für einen QR-Code mit Weiterleitung auf URL

ieren, z. B. bei verschmutzten oder durch Kratzer beschädigten Tags. Die maximale Scanreichweite ist vor allem von der Größe der Abbildung abhängig und liegt i. d. R. innerhalb eines Meters. Dabei sind die Herstellungs-, Einführungs- und Betriebskosten beim Auslesen mit einem bereits vorhandenen Smartphone oder Tablet vernachlässigbar gering.

QR-Codes sind weit verbreitet und finden neben dem Einsatz in der Produktionslogistik in zahlreichen Bereichen wie Navigationshilfen, Fahrplanauskünften oder mobilen Visitenkarten Anwendung. Weit verbreitet ist das kodierte Darstellen einer Webadresse (URL) und die Weiterleitung nach dem Scanvorgang auf die verwiesene Internetseite (Bild 2-5), aber auch Kurzbeschreibungen und Informationen können direkt als Text gespeichert und ausgelesen werden.

### **Gegenüberstellung Barcode – QR-Code**

Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Technologien spiegeln sich in deren typischen Anwendungsbereichen wider. Eine grundsätzliche Empfehlung einer bestimmten Technologie für den Einsatz im Straßenbetriebsdienst kann nicht ausgesprochen werden, die verschiedenen Möglichkeiten sind hinsichtlich der speziellen Einsatzanforderungen zu bewerten.

Das Hauptmerkmal von eindimensionalen Barcodes liegt in der mit optischen Sensoren erfassbaren Markierung von Objekten mit einer individuellen Seriennummer. Dabei spielen Fälschungssicherheit und Duplizierbarkeit der einzelnen Codes eine untergeordnete Rolle. In der Regel wird die dem Objekt zugeordnete Nummer mithilfe einer Datenbank weiterverarbeitet, wo die hinterlegten Produkteigenschaften zentral aktualisiert werden können, ohne dass eine Neuetikettierung notwendig wird. Wo die Lesbarkeit durch den Menschen zwingend erforderlich ist, müssen die Daten redundant in Code- und Schriftform dargestellt werden. Aufgrund der begrenzten Speicherkapazität der Codes, der minimalen Stückkosten und der vergleichsweise günstigen Systemkosten (Scanner, Software usw.) werden einfache Barcodes vor allem im Einzelhandel, in der Logistikbranche und bei der Lagerhaltung aber auch zur Ticketverifikation genutzt. Bei diesen Anwendungen müssen vergleichsweise günstige Objekte in großen Stückzahlen und in kurzer Zeit in einem Warenwirtschaftssystem registriert werden. Typische Beispiele sind die Produktkennzeichnung

im Supermarkt mit EAN-Strichcodes (European Article Number) oder die an das EAN-System gekoppelte ISBN-Nummer (International Standard Book Number).

Der Vorteil von QR-Codes gegenüber Barcodes liegt in der erheblich größeren Speicherkapazität, mit der ganze Texte auf der Abbildung selbst dargestellt werden können. Somit eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten zur unkomplizierten Informationsübertragung. Außerdem ist die Technik weniger empfindlich gegenüber Verschmutzung und teilweisem Verlust, sodass bei fehlenden Ecken oder Kratzern der Codeinhalt rekonstruiert und vollständig wiedergegeben werden kann. Die bekannteste Anwendung, die Weiterleitung auf Internetseiten, stellt nur eine mögliche Nutzung dar. Auch die Weitergabe von Kontaktdaten mit automatischer Speicherung im Adressbuch oder die komprimierte lokale Textdarstellung ist möglich. Neben dem ursprünglichen Einsatz in der Produktionslogistik finden sich QR-Codes vor allem im Marketing, werden aber z. B. auch in Museen zu Bildungszwecken, von der Deutschen Post AG als digitale Briefmarken oder von der Deutschen Bahn AG als digitale Fahrkarten eingesetzt. Beim dauerhaften Außeneinsatz von QR-Codes sollten allerdings zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor unbefugtem Überkleben getroffen werden.

### **2.3.2 RFID-System**

Ein RFID-System (RFID: Radio Frequency Identification) ist ein automatisches Identifikationssystem. Es besteht mindestens aus einem Transponder und einem Lesegerät (Reader). Der Transponder wird auf dem zu identifizierenden Objekt angebracht und ist der eigentliche Datenträger. Das Lesegerät ermöglicht den kontaktlosen Datenaustausch mit dem Transponder und ist im Allgemeinen mit einer Anwendung (z. B. Lagerbestandsmanagement) verbunden. Der Datenaustausch zwischen Lesegerät und Transponder erfolgt über ein vom Lesegerät erzeugtes elektromagnetisches Feld. Dieses Feld stellt bei passiven Transpondern auch die zum Betrieb benötigte Energie bereit. Aktive Transponder verfügen hingegen über eine eigene Energieversorgung (z. B. Batterie).

Die Arbeitsfrequenz des elektromagnetischen Feldes reicht von Langwelle bis in den Mikrowellenbereich. Nachfolgend sind die Frequenzen für gängige RFID-Systeme aufgeführt:

- 100 – 135 kHz Low Frequency (LF)
- 13,56 MHz High Frequency (HF)
- 868 MHz Ultra High Frequency (UHF)(Europa)
- 915 MHz Ultra High Frequency (UHF) (USA)
- 2,45 GHz Micro Wave (MW)

Bei der Beschreibbarkeit von Transpondern wird unterschieden zwischen:

- Transpondern, die einmalig bei der Herstellung mit einer Seriennummer beschrieben werden und anschließend nicht mehr verändert werden können und
- Transpondern, die wiederholt mit dem Lesegerät mit Daten beschrieben werden können.

Die Schreib- und Lesereichweite von RFID-Systemen reicht von wenigen Millimetern bis zu 15 Metern. RFID-Systeme mit Reichweiten bis zu einem Zentimeter werden als Close Coupling Systeme bezeichnet und werden vor allem dort eingesetzt, wo hohe Sicherheitsanforderungen jedoch keine hohen Reichweiten erforderlich sind. Remote Coupling Systeme bezeichnen RFID-Systeme mit Reichweiten bis zu einem Meter und RFID-Systeme mit Reichweiten deutliche über einem Meter werden als Long Range Systeme bezeichnet.

Die übliche Speicherkapazität von RFID-Transpondern reicht von wenigen Bytes bis zu mehreren Kilobytes. Eine Ausnahme bilden die 1-Bit-Transponder, die nur zwei Zustände an das Lesegerät

senden können und für einfache Überwachungsaufgaben verwendet werden. Die Datenübertragungsrate reicht von 4 kbit/s bis mehr als 140 kbit/s.

Metalle und Flüssigkeiten bereiten physikalisch bedingt Probleme, die jedoch teilweise durch technische Maßnahmen gemindert werden können. Beispielsweise können auf Metalloberflächen angebrachte Transponder mit einer Ferritabschirmung versehen werden.

Die RFID-Transponder erweisen sich als sehr temperaturresistent. Die Betriebstemperatur liegt häufig im Bereich zwischen -30 °C und +85 °C.

Die nahezu gleichzeitige Erfassung mehrerer Transponder durch das Lesegerät wird als Pulkfähigkeit bezeichnet. Abhängig von der Arbeitsfrequenz gibt es RFID-Systeme die bis zu 500 Transponder je Sekunde erfassen können. Transponder gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen, wie z. B. Disks, Glasröhrchen, Plastikkarten oder Labels. Die Eigenschaften gängiger RFID-Systeme und beispielhafte Anwendungen sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst.

**2.3.3 Bluetooth**

Mit der Bluetooth-Technologie lassen sich ebenfalls automatische Identifikationssysteme konzipieren. Ein solches System besteht, vergleichbar mit einem RFID-System, mindestens aus einem Transponder (mit Bluetoothchip) und einem Lesegerät (siehe auch Kapitel 2.3.2).

Arbeitsfrequenz	100 – 135 kHz	13,56 MHz	868/915 MHz	2,45 GHz
Energieversorgung	passiv	passiv	passiv oder aktiv	passiv oder aktiv
Reichweite	bis 1 m	bis 1,70 m	passiv: bis 6 m aktiv: > 100 m	passiv: bis 6 m aktiv: > 100 m
Einsatz auf Metall	problematisch	problematisch	weniger problematisch	weniger problematisch
Einsatz in Flüssigkeiten	relativ unproblematisch	relativ unproblematisch	problematisch	sehr problematisch
Pulkfähigkeit	möglich, aber kaum realisiert	bis 100 Stück pro Sekunde	bis 500 Stück pro Sekunde	bis 500 Stück pro Sekunde
Datenübertragungsrate	gering (4 kbit/s)	mittel (z. B. 105 kbit/s)	hoch (z. B. 140 kbit/s)	sehr hoch
Bauformen	Glasröhrchen Plastikkarte	Label Plastikkarte	passiv: Label aktiv: Kunststoffgehäuse	passiv: Label aktiv: Kunststoffgehäuse
Anwendung (Beispiele)	Wegfahrsperr, Zutrittskontrolle, Tieridentifikation	Zutrittskontrolle, Paletten usw.	Paletten usw., Mehrwegbehälter, Container, Wechselbrücken	Mehrwegbehälter, Container, Wechselbrücken, Mauterfassung

Tab. 2-1: Eigenschaften gängiger RFID-Systeme (Eigene Darstellung in Anlehnung an [VAHRENKAMP, 2012 und KOETHER, 2018])

Die Bluetooth-Technologie ist im Gegensatz zur RFID-Technologie weltweit standardisiert und lizenzfrei. Ebenfalls ist die Auswahl der Lesegeräte wesentlich vielfältiger, da heute bereits bei vielen Endgeräten ein Bluetooth-Funksystem standardmäßig integriert ist. Bluetooth ist unproblematisch auf metallischen Untergründen und weist eine geringere Störanfälligkeit durch das Frequenzsprungverfahren auf. Die Nachteile gegenüber der RFID-Technologie liegen ganz klar bei dem relativ hohen Energiebedarf, da die Energieversorgung über Batterie oder das Stromnetz erfolgt, und der höheren Identifikationsdauer durch die erforderliche Initialisierungsprozedur. Die Bluetooth-Technologie ist wesentlich komplexer und damit auch teurer als beispielsweise passive RFID.

## 2.4 Weitere Technologien

Im Folgenden werden weitere Systeme aufgeführt und kurz erläutert, die nicht eindeutig einer Technologie zugeordnet werden können und auf Grund ihrer systemabhängigen Besonderheiten (z. B. Datenschutz, Kosten, Komplexität) nicht für eine Nutzung im Rahmen der Pilotanwendungen geeignet sind. Dazu gehören

- Radar,
- Lidar,
- Laser und
- Umfeldsensorik.

### 2.4.1 Radar

Die Anwendung der Radio Detection and Ranging-Technik, kurz Radar, ermöglicht über die Aussendung von gebündelten elektromagnetischen Wellen (Primärsignal) und den Empfang, der von Objekten reflektierten Echos (Sekundärsignal), eine Auswertung nach verschiedenen Signalen. Aus den Echos können die aufgelisteten Informationen gewonnen werden:

- der Winkel bzw. die Richtung zum Objekt,
- die Entfernung zum Objekt (ergibt sich aus der Zeitverschiebung zwischen Senden und Empfangen des Signals),
- die Relativbewegung zwischen Sender und Objekt,

- das Aneinanderreihen einzelner Messungen (Pulsen) liefert die Wegstrecke und die absolute Geschwindigkeit des Objektes,
- bei guter Auflösung des Radars können Konturen des Objektes erkannt werden (z. B. die konkrete Fahrzeugart bei Verkehrszählungen) oder sogar Bilder gewonnen werden (Erd- und Planetenerkundung).

### 2.4.2 Laser

Der Laser, aus dem englischen für light amplification by stimulated emission of radiation, ist ein Begriff aus der Physik und bezeichnet den physikalischen Effekt genauso wie das Gerät, mit welchem die Laserstrahlen erzeugt werden. Es handelt sich hierbei ebenfalls um elektromagnetische Wellen, die sich jedoch durch ihre hohe Intensität, einem oft sehr engen Frequenzbereich, einer starken Bündelung des Strahls und der großen Kohärenzlänge beispielsweise vom Radar unterscheiden. Die Lasertechnik hat zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten und findet sich heute in Technik und Forschung, aber auch im Alltag, in nahezu jedem Bereich wieder. Vom einfachen Laserpointer bei Präsentationen über das Auslesen von optischen Speichermedien (CD, DVD etc.), die Übertragung von Nachrichten, der Einsatz als Messgeräte in der Vermessungstechnik (hochaufgelöste Bestandsvermessung im Tunnel- und Gleisanlagenbau) bis hin zum Einsatz als Laserskalpell in der Medizin (Augenlaserkorrektur) ist die Lasertechnik bereits etabliert.

### 2.4.3 Lidar

Das light detection and ranging, kurz Lidar, ist eine Methode zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung sowie zur Fernmessung atmosphärischer Parameter, die dem Radar verwandt ist. Anstelle der Radiowellen kommen hier Laserstrahlen zum Einsatz. Durch Lidar wird immer häufiger das Radar als Messinstrument ersetzt, das gilt insbesondere bei mobilen Geschwindigkeitskontrollen. Aber auch bei stationären Geschwindigkeitskontrollen ist Lidar eine Alternative zu Induktionsschleifen. Lidar-Systeme kommen in der jüngeren Vergangenheit immer häufiger im Bereich der Fahrerassistenzsysteme für Automobile und autonomes Fahren zur Anwendung. Für fahrerlose Transportfahrzeuge werden mögliche Hindernisse mittels Lidar erkannt.

### 2.4.4 Umfeldsensorik

Für zuverlässige, hochentwickelte Fahrerassistenzsysteme ist die ständige Erfassung des Umfeldes eines Fahrzeuges unabdingbar. Die dafür erforderlichen Sensoren werden dem Überbegriff Umfeldsensorik zugeordnet. Diese hat zum Ziel, die gesamte Fahrzeugumgebung, teilweise sogar nahtlos mit 360°-Wahrnehmung, detailgetreu und umfassend zu erkennen. Dafür sind verschiedene Sensoren notwendig, die Abstände zu Hindernissen und anderen Verkehrsteilnehmenden sowie deren Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit erkennen, die erlangten Informationen verarbeiten und interpretieren und eine Aktion daraus ableiten (z. B. Notbremsung). Die Umfeldsensorik ist die Grundlage für das automatisierte wie auch das autonome Fahren. Die Sensoren werden in zwei Arten unterschieden. Es gibt strahlen- und bildbasierte Sensoren.

Strahlenbasierte Sensoren sind:

- Ultraschallsensoren: Senden und Empfangen von Schallwellen
- Radarsensoren: Senden und Empfangen von elektromagnetischen Wellen
- Lidarsensoren: Senden und Empfangen von Lichtwellen

Bildbasierte Sensoren sind:

- Monokameras: Optische Bereichserfassung, eine Linse
- Stereokameras: Optische Bereichserfassung, zwei Linsen

Bereits etablierte Fahrerassistenzsysteme sind automatische Scheibenwisch- und Lichtfunktionen, das Anzeigen der Außentemperatur und signalgesteuerte Einparkhilfen. In moderneren Fahrzeugen kommen im häufiger standardisiert Spurhaltesysteme, Tote-Winkel-Warner und Notbremsassistenten zum Einsatz. Auch die Anzeige der aktuell zu fahrenden Geschwindigkeit im Bordcomputer und das halbautomatische Einparken gehören dazu. Die Car-to-Car-Kommunikation wie auch die Car-to-Infrastructure-Kommunikation bilden Sonderfälle, deren Bedeutung stetig steigt. Durch die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander oder mit Sensoren, die in der Infrastruktur (z. B. in Lichtsignalanlagen, Brücken und Tunnel) verbaut sind, können Fahrer Informationen erhalten, die das eigene Fahrzeug nicht erfassen kann und so vor Gefahren gewarnt werden.

## 2.5 Stand der Wissenschaft und Technik

Aufgrund starker Veränderungen im Straßenbetriebsdienst, wie der Einführung des Leistungsheftes Straßenbetrieb [BMDV, 2021] und der damit verbundenen Implementierung der ergebnisorientierten Steuerung des Betriebsdienstes, wurden Verbesserungen in der systematischen Planung, Durchführung und Abrechnung von Betriebsdienstleistungen denkbar. Die technische Ausstattung im Bereich Information und Kommunikation (IuK) hat mit den gestiegenen Anforderungen nicht Schritt gehalten. Aus diesem Grund wurde vor rund zehn Jahren ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durchgeführt, das eine Bestandsaufnahme in diesem Bereich und die Erarbeitung von Empfehlungen für den Betriebsdienst zur Aufgabe hatte [BASt 2013]. Neben weitgehend etablierten Anwendungen wie Sprachkommunikation, Automatisierte Einsatzdatenerfassung, Wetter- und Straßenzustandsinformation, Bestandsdatenmanagement und Systemen zur wirtschaftlichen Steuerung wurden darin innovative Informations- und Kommunikationstechnologien mit Potenzialen für den Straßenbetriebsdienst beschrieben. Mittlerweile sind diese IuK-Technologien fast flächendeckend im Einsatz, wurden aber selten bis gar nicht als Gesamtsystem implementiert. Vielmehr wurden verschiedene Einzelsysteme für Einzelanwendungen entwickelt und angeschafft. Die daraus resultierenden, erfassten Daten und Informationen können auf Grund der Schnittstellenproblematik und der teilweise fehlenden Normung bzw. Schnittstellendefinition oftmals nicht ausreichend interpretiert und effizient genutzt werden. Die Weitergabe einzelner Daten innerhalb der unterschiedlichen Systeme zur Weiterverarbeitung ist bisweilen unmöglich. Daher ist innerhalb dieses Forschungsvorhabens ein Ansatz innovativer Datennutzung die Verschneidung bereits vorhandener Daten, wie Wetterdaten, Daten von Glättemeldeanlagen, Verkehrsdaten aus Verkehrserfassungsanlagen, Salzmanagementdaten etc., und die Aufbereitung derer für andere Nutzergruppen. Daher werden im Folgenden bereits gängige Anwendungen kurz beschrieben.

### 2.5.1 Etablierte Systeme

#### Bestandsdatenmanagement

Die Grundlage für Auswertungen und Nachweisführung im Straßenbetriebsdienst bilden IT-Systeme,

in denen vielfältige Daten, von dem zu betreuenden Streckennetz und der zugehörigen Infrastruktur über Zustands-, Schadens- und Verkehrsdaten bis hin zu Informationen über Bau, Betrieb und Unterhaltung zusammenlaufen. Der Zweck solcher Systeme wird in der „Anweisung Straßeninformationsbank“ (ASB) wie folgt beschrieben: „Die Straßeninformationsbank soll das zentrale Werkzeug der Straßenbauverwaltung sein, das die vielfältigen Informationen hinsichtlich der Infrastruktur Straße verwaltet und den Mitarbeitern der Straßenverwaltungen für die Erledigung ihrer täglichen Aufgaben zur Verfügung stellt“ [BMVBS, 2009a]. Des Weiteren regeln die Richtlinien zur Erhebung des Anlagenbestandes, neben Hinweisen für die Praxisanwendung und die Erhebung der Daten, im Detail, welche Bestandsdaten und Parameter erfasst werden müssen. Während Geometrie und Aufbau der Fahrbahnbefestigungen in den Straßeninformationsbanken (SIB) schon zu großen Teilen aufgenommen und geführt werden, fehlen häufig Daten zu Grünflächen, Straßenausstattung und Entwässerungseinrichtungen. Zur bundesweiten Vereinheitlichung bei der Bestandserfassung initiierte das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) das Projekt Management der Straßenbetriebsdienstdaten (MSD), um für eine bessere Vergleichbarkeit der erfassten Bestandsdaten zu sorgen und die Erfassung von Einsatzdaten auf eine einheitliche Grundlage zu stellen. Zur Umsetzung einer bundesweiten Erfassung und Vereinheitlichung der Datenbestände in den Landesstraßenbauverwaltungen ist es aber bisher nicht gekommen.

### **Einsatzdatenerfassung**

Eine automatisierte Einsatzdatenerfassung ist eine wichtige Grundlage vieler Geschäftsprozesse und stellt die zentrale Informations- und Kommunikationstechnologie für den Straßenbetriebsdienst dar. Mit der Einsatzdatenerfassung lassen sich Einsätze effektiver und effizienter gestaltet, leistungsorientierte Abrechnungen optimieren oder im Schadensfall durch Einsatznachweise Rechtssicherheit bei der Beweissicherung gewährleisten. Die wesentlichen Komponenten einer automatisierten Einsatzdatenerfassung bestehen aus Sensoren, Satelliten-Empfängern, Aufzeichnungs- und Bediengeräten im Fahrzeug und Übertragungstechnologie in ein System, das zum Speichern und Verarbeiten der Rohdaten fähig ist. Die positionsgebundene Erfassung von fahrzeuggebundenen Einsätzen spielt vor

allem im Winterdienst und bei der Streckenkontrolle eine große Rolle. Um eine lückenlose und manipulationsfreie Aufzeichnung zu gewährleisten, wurden solche Systeme daher in fast allen Bundesländern bereits umgesetzt.

Daneben gibt es Systeme, die für den Ganzjahreseinsatz entwickelt wurden und alle fahrzeugbezogenen Leistungen inkl. der zur Leistungserbringung erforderlichen An- und Aufbaugeräte automatisch erfassen. Die eingesetzten Systeme unterscheiden sich dabei zum Teil erheblich und variieren zwischen entwickelten Standardprodukten bis hin zu bundeslandspezifischen Individualentwicklungen. In allen Systemen sollen nach Einsatzende die Rohdaten ausgewertet, auf Plausibilität geprüft und archiviert werden. Über standardisierte Schnittstellen ist eine Übertragung in andere Software, z. B. für die Kosten- und Leistungsrechnung, möglich. Die automatische Zuordnung und Erfassung von erledigten Arbeiten zu Positionen im Bundesleistungsheft, die nicht fahrzeugbezogen sind, beispielsweise Reinigungs- und Grünpflegeleistungen per Hand und das Auf- und Abbauen von Wildschutz-, Amphibien- und Schneezäunen, oder Leistungen, die exakte Aufmaße als Berechnungsgrundlage erfordern, wie das Mähen von Sichtdreiecken oder die Reinigung von Nebenanlagen, stellen nach wie vor ein Problem dar. Insbesondere bei der Erfassung der Einsätze, der Qualität ausgeführter Arbeiten und der Berücksichtigung der Bedingungen vor Ort stoßen die aktuellen Systeme an ihre Grenzen.

Die genaue Ortung von Betriebsdienstfahrzeugen und deren Besatzung sowie ein mögliches Tracking in Echtzeit führen in den technischen Verwaltungen immer wieder zu Diskussionen mit der Personalvertretung. Dennoch ist die Ortung der Fahrzeuge und der zugehörigen Besatzung, vor allem in Hinblick auf die gerichtsfeste Dokumentation der Betriebsdiensttätigkeiten sowie aus sicherheitsrelevanten Aspekten (1-Mann-Winterdienst) sinnvoll und nicht grundsätzlich ausgeschlossen. Die Umsetzung einer solchen Anwendung erfordert vielmehr die nötige Auseinandersetzung mit allen relevanten Interessengruppen und die schriftliche Fixierung von Anforderungen im Vorfeld einer Beschaffung.

### **Verkehrsinformation**

Darüber hinaus bieten alle Informations- und Kommunikationstechnologien für den Betriebsdienst Potenziale für die Arbeits- und Verkehrssicherheit. Sie

können gezielt zu einer Erhöhung der Sicherheit im Betriebsdienst beitragen, insbesondere bei Arbeitsstellen im Verkehrsraum. Dabei ist die rechtzeitige Information der Verkehrsteilnehmer über Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) von besonderer Bedeutung. Durch die genaue Positionsbestimmung von Warnanhängern und Arbeitsfahrzeugen können Verkehrsteilnehmer vor der Arbeitsstelle gewarnt werden (Baustelleninformationssysteme, Traffic Message Channel, Navigationsgeräte). Die Weiterleitung von aktuellen Verkehrsflussinformationen (Webcams, Radar- oder Lidar-Messungen) an die Einsatz- oder Verkehrsleitzentrale ermöglicht, rechtzeitig mit verkehrslenkenden Maßnahmen oder einer Unterbrechung der Arbeiten auf die Verkehrssituation zu reagieren, um so mit einem präventiven Auflösen der Arbeitsstelle dem erhöhten Staurisiko entgegenzuwirken. Voraussetzung für eine optimale Verkehrssteuerung mit Wechselwegweisern bei AkD ist, dass die Verkehrslage im Netz detailliert bekannt ist. Durch die dynamische Ortung von AkD (DORA, Hessen) können Standort, Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit von Absperranhängern, sowie die Schaltzustände von Leuchttafel und Pfeil an die Verkehrszentrale weitergeleitet werden. In Bayern hat sich der Einsatz speziell ausgestatteter Vorwarnanhänger zur Absicherung von Arbeitsstellen auf Bundesfernstraßen etabliert. Diese sind mit Modems versehen, die ab dem Moment des Aufklappens permanent ihren Standort übermitteln. Des Weiteren sind in den Modems Informationen über die Lage der Arbeitsstelle (rechter, mittlerer oder linker Fahrstreifen), die Projektnummer und die angeordnete Regelabsicherung hinterlegt, sodass auch diese an die zuständige Leitzentrale übermittelt werden. Auf der anderen Seite können an Dauerzählstellen erhobene, räumlich und zeitlich differenzierte Daten zur Verkehrsbelastung, sofern sie dem Betriebsdienst kontinuierlich zur Verfügung stehen, für eine optimierte Planung der Arbeitsstellen genutzt werden.

### **CB-Funk**

Personenwarnsysteme an Fahrzeugen und Warnleitanhängern der Autobahnmeistereien oder an Leitkegeln, die Lkw-Fahrer über CB-Funk rechtzeitig auf die unmittelbar folgende Arbeitsstelle hinweisen, können einen entscheidenden Beitrag zur Arbeits- und Verkehrssicherheit leisten. Das System ist in der Praxis erprobt und gilt als zuverlässig, ohne zusätzliche Belastung für das Betriebsdienstpersonal zu verursachen. Trotzdem wird empfoh-

len, mit Blick auf zukünftige Entwicklungen alternative Übertragungswege an die Verkehrsteilnehmer zu untersuchen.

### **Seitenstreifenüberwachung**

Der Grundgedanke bei dieser Art von Personenwarnsystem liegt darin, Fahrzeuge, die sich den Warneinrichtungen gefährlich nähern, zu erkennen und Arbeitskräfte hinter der Absperrung durch Warnsignale rechtzeitig auf die Gefahr aufmerksam zu machen und so ein Verlassen der Gefahrenzone zu ermöglichen.

## **2.5.2 Einsatz weiterer Geräte und Techniken im Betriebsdienst**

### **Mobile Geräte**

Derzeit werden verstärkt klassische mobile Endgeräte, wie Smartphones und Tablets, im Außeneinsatz und in Fahrzeugen zur Einsatzdatenerfassung, Bestandsaufnahme oder zum Bereitstellen von Informationen verwendet. Diese müssen den Anforderungen des Straßenbetriebsdienstes hinsichtlich Bedienkomfort und Robustheit (gemäß DIN EN 60529) gerecht werden. Dazu zählen neben einer guten Lesbarkeit aller Anzeigen bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen auch die Bedienmöglichkeit mit Handschuhen, eine übersichtliche Anordnung der Bedienelemente, intuitive Bedienung und die mögliche Nutzung durch Links- und Rechtshänder gleichermaßen. Auf dem marktbedingten Standardgeräten haben den Vorteil, dass sie bereits serienmäßig mit einer Standorterkennung (automatische Positionserfassung), einer integrierten Kamera für die Fotodokumentation oder die Nutzung für Scanvorgänge und eine automatische Datenübertragung mit Bluetooth ausgestattet sind. Zusätzliche Anwendungsbereiche, wie sie im Rahmen der Pilotanwendungen getestet werden sollen, können mit bereits vorhandenen mobilen Endgeräten erprobt werden. Einsatzgrenzen werden vermutlich die Speicherkapazität oder die Nutzung in Bereichen mit schlechter Netzabdeckung sein.

Zusammenfassend stehen bereits folgende IuK-Technologien zur Verfügung (Bild 2-6) und werden für die Optimierung des Straßenbetriebsdienstes bereits eingesetzt:

- Automatisierte Einsatzdatenerfassung
- Fortlaufende Online Datenübertragung an Meisterei

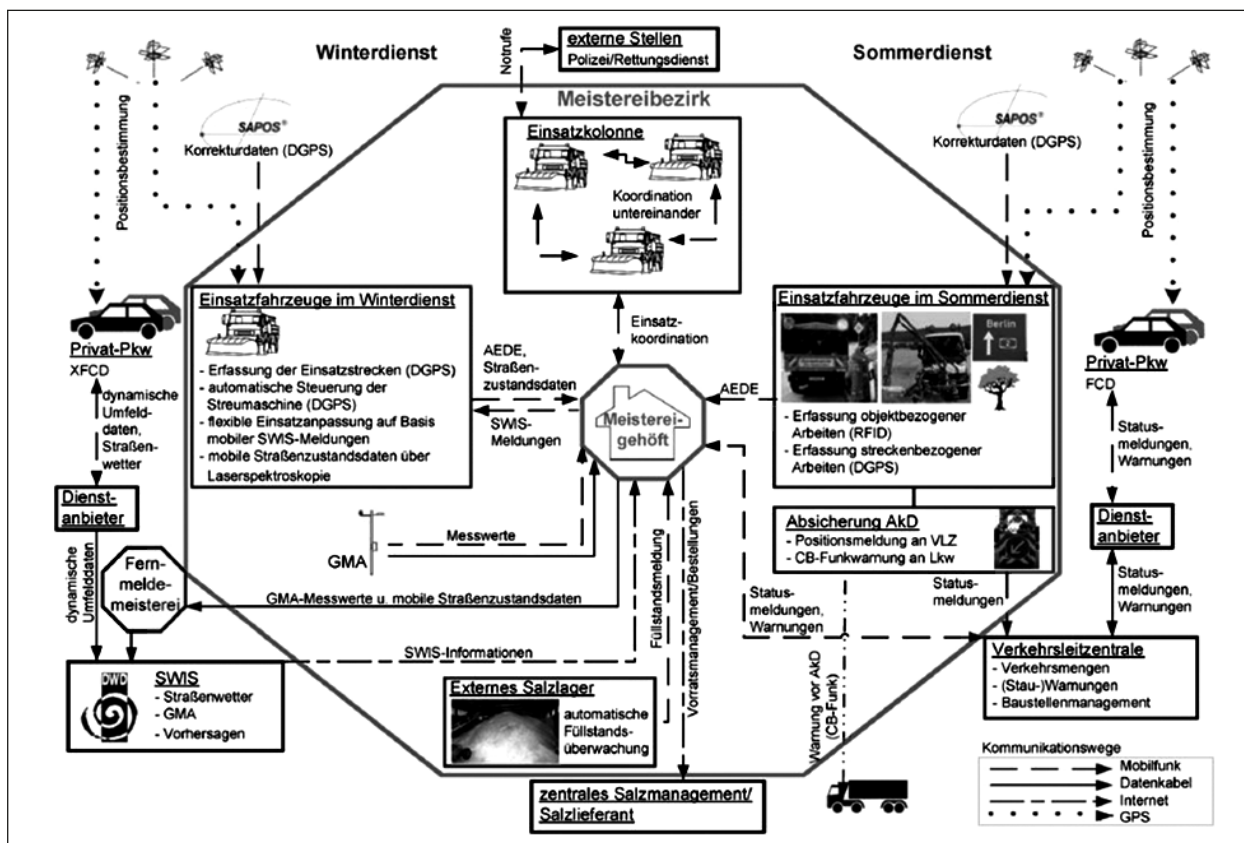


Bild 2-6: Übersicht über den Einsatz von IuK-Technologien im Straßenbetriebsdienst [BAST 2013]

- Personenwarnsysteme über CB-Funk
- Verkehrsmanagement bei Arbeiten im Verkehrsraum
- Objektidentifikation mit RFID

### 2.5.3 Neue Technologien in der Forschung/ Erprobung im In- und Ausland

#### Berührungslose Straßenzustandserkennung

Das Thema berührungslose Straßenzustandserkennung befindet sich noch in der Entwicklung. Verschiedene Forschungsvorhaben und auch Pilotanwendungen werden dazu sowohl im In- als auch im Ausland bearbeitet. Allerdings lassen sich derzeit aus beispielsweise Handysensoren von mitgeführten Smartphones (z. B. Cyface-Easy Riding [Cyface, 2020]), standardmäßig verbauten Fahrzeugensoren, wie Frontkameras, Wettersensoren, Raddrehzahlsensoren und Sensorkombinationen wie ESP und Airbag nur eng begrenzte Rückschlüsse auf die Fahrbahnoberfläche ziehen, nicht jedoch auf den Fahrbahnzustand im Sinne der ZEB.

In Finnland und Japan gibt es zudem Bestrebungen mittels solcher Daten ökologischere Winterdienst-

einsätze (auf die Umgebung und den Oberflächenzustand abgestimmte Streumengen) planen und durchführen zu können [PILLI-SIHVOLA et al., 2014]. In Deutschland ist die Frage der Datennutzung hinsichtlich der Eigentümerrechte an den erfassten, fahrzeugspezifischen Sensordaten nicht abschließend geklärt. Die Speicherung, Auswertung, Interpretation und Weiterverarbeitung dieser Daten muss auf Grund der Datenmenge cloudbasiert erfolgen, ist aber derzeit außerhalb von konkret definierten Pilotanwendungen nicht zulässig. Nach aktueller Interpretation der Datenschutzgrundverordnung müsste für einen Regelbetrieb jeder einzelne Fahrzeugführer der Nutzung der eigenen Daten zustimmen, was aufgrund der erforderlichen Fahrzeuganzahl und aus organisatorischen Gründen unrealistisch erscheint.

#### 3D Road Asset Inventory

Für die Erfassung der Straßenausstattung, wie Markierungen, Beschilderungen, Schutzeinrichtungen und der Technischen Ausstattung (LSA) in Verbindung mit einer Kartierung in gängigen GIS-Systemen findet sich eine Vielzahl an Forschungsprojekten. Vor allem im Ausland erlangte dieser Themen-



komplex in den vergangenen Jahren an Bedeutung. Unterschiede finden sich dabei lediglich in der Nutzung unterschiedlicher Erfassungstechniken und deren Kombinationen. In den Vereinigten Staaten erfolgten Versuche mit Lidar und GPS-Antenne [SAIRAN et al., 2016], in Italien mit hochauflösenden Videoaufnahmen und GPS-Antenne [BOTNER et al., 2013] und in Belgien kam ein Fahrzeug ähnlich der deutschen Messfahrzeuge zur Zustandserfassung mit Laser, Kamera und integriertem GPS-System zum Einsatz [VAN GEEM et al., 2010]. Alle Systeme hatten das Ziel, die einzelnen Objekte einer Straße hochgenau zu erfassen, exakt zu referenzieren und die Ergebnisse in einer Datenbank zur Weiterverarbeitung zu speichern. Eine praktikable Methode zur regulären Anwendung für alle verschiedenen Objektarten wurde noch nicht erarbeitet und die Vermutung liegt nahe, dass auch in diesem Bereich eher Einzelsysteme, abgestellt auf die spezifischen Anforderungen, entwickelt werden.

### Augmented Reality (AR)

Die sogenannte erweiterte Realität gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die Entwicklung von 3D-Brillen, neuen Visualisierungsmöglichkeiten in Fahrzeug-Cockpits, 3D-Planungen (BIM) im Hochbau und in der Infrastrukturplanung sowie die Digitalisierung im Bauwesen führen zu neuen Anwendungsfeldern auch im Straßenbetriebsdienst. Im Folgenden werden einige vielversprechende Systeme genannt und kurz beschrieben.

Die Darstellung neuer Planungen wie auch der bereits vorhandenen Infrastruktur (Leitungskataster, Kanalkataster) soll über verschiedene Ausgabemedien, wie Brillen, Helme oder Smartphones zukünftig möglich sein. Zudem soll damit nachvollzogen werden, wie sich die Umgebung im Laufe der Zeit verändert und in Zukunft aussehen wird, ohne selber Pläne, Zeichnungen oder Karten interpretieren zu müssen. Die Informationen werden maßstäblich, im Kontext der bestehenden Umgebung, dargestellt. Planungs-, Bau- und Instandhaltungsprozesse sollen vereinfacht werden. Aufgrund der vorhandenen maßstäblichen 3D-Umgebung können der Austausch und Einbau von maßangefertigten Bauteilen sowie der Einsatz neuartiger Bauprozesse im Vorfeld in der virtuellen Umgebung getestet werden. Die notwendigen personellen Ressourcen, die zu planende Umsetzungszeit sowie bisher nicht planbare Umfeldeinflüsse sollen durch die AR exakter abzuschätzen sein.

Head-up-Displays sind Anzeigesysteme, bei denen die Anwendenden ihre Kopfhaltung bzw. die Blickrichtung beibehalten können, da die erforderlichen Informationen direkt in ihr Sichtfeld projiziert werden.

Die Augmented Reality soll zukünftig ebenfalls die Fernwartung von Maschinen ermöglichen, indem die technischen Probleme erkannt und gelöst werden, ohne dass die Anwesenheit eines Experten oder einer Expertin vor Ort nötig ist.

Die TU Ilmenau bearbeitet derzeit das 2018 gestartete Projekt ROADWORKS – Outdoor-Augmented-Reality-System zu Unterstützung mobiler Einsatzszenarien für den Straßenbetriebsdienst. „Im Rahmen dieses Projekts sollen [...] neue Verfahren und Technologien erforscht werden, die (1) ein für die Aufgabenstellung hinreichend genaues Outdoor-Tracking ermöglichen, (2) eine kontextabhängige Interaktion mit einem Outdoor-AR-System im Straßenbetriebsdienst intuitiv und natürlich nutzbar machen, sowie (3) neuartige Schnittstellen zur Erfassung, Speicherung und den Abruf entsprechender Daten für mobile AR-Anwendungen ermöglichen.“ [TU Ilmenau, 2020]. Das Projekt wird noch bis 2021 laufen, Zwischenergebnisse wurden noch nicht veröffentlicht.

Die vorgenannten Anwendungen sind derzeit noch im Entwicklungsstadium und daher für den Einsatz der geplanten Pilotanwendungen im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes nicht geeignet.

## 2.6 Marktrecherche

### 2.6.1 Technologien in der Logistik

In allen Wirtschaftsbereichen, die sich durch Transportleistungen auszeichnen, wie z. B. das Speditionsgewerbe oder die Abfallbeseitigung, spielt die Tourenverfolgung eine zentrale Rolle. Mithilfe GPS-basierter Daten lässt sich jederzeit der aktuelle Fahrzeugstandort feststellen, Routen- und Transportzeiten rekonstruieren (z. B. zum Nachweis einer ununterbrochenen Kühlkette) oder durch GPS-Routensteuerung Einzelaufträge für eine wirtschaftlichere Routengestaltung zusammenfassen (z. B. Sperrmüllabfuhr, Lieferservice). Die automatisierte Einsatzdatenerfassung kann z. B. bei der Straßenreinigung zur Abrechnung und Nachweisführung zum Einsatz kommen. Daneben ist auch die Verortung und Verfolgung einzelner Waren oder Trans-

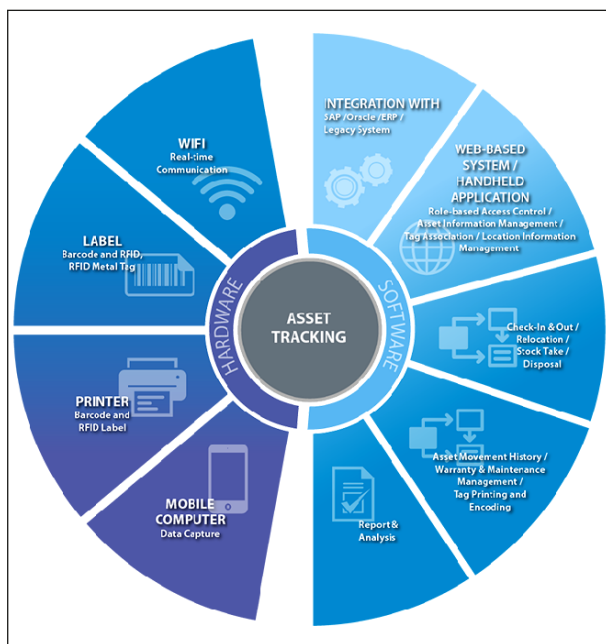


Bild 2-7: Komponenten beim Asset Tracking (Orten von Gegenständen durch kontaktlose Funktechnik) [SCHMIDT & Co, 2022]

portbehälter von Bedeutung (z. B. in der Containerlogistik). Dazu kommen diverse Informations- und Kommunikationstechnologien zum Einsatz, wie die Verwendung von Bluetooth-Tags zur Verfolgung wertvoller Güter. Weitere Anwendungsfälle sind die Überwachung des Füllstandes von Abfallbehältern, Zugangskontrollen, Diebstahlschutz für Fahrzeuge und Warenhäuser sowie die mobilfunkgestützte Ortung von Gegenständen ohne eigene Stromversorgung.

### 2.6.2 Technologien in der Landwirtschaft

Eine zentrale Informationstechnologie in der Landwirtschaft besteht in der Verfeinerung der GPS-basierten Verortung durch Zusatzantenne und Korrektursignal mit erreichbaren Genauigkeiten im Zentimeterbereich. Das erlaubt ein präzises Ausbringen von Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteln ohne Überlappungen für einen wirtschaftlicheren und umweltschonenderen Einsatz. Das precision farming erlaubt die Anpassung der Behandlung an individuelle Bodenbeschaffenheiten durch die sensorgestützte Abstimmung der Maschine an die Bodeneigenschaften (z. B. Düngemittelpfehlungen durch Nahinfrarot- und/oder Stickstoffsensoren). Neben einer verbesserten Qualität der Arbeiten stellen die Entlastung der Fahrzeugführer und die Bedienmöglichkeit durch weniger qualifiziertes Per-

sonal weitere Vorteile dar. Ein anderes, auf dem Markt verfügbares, System verspricht die vollautomatische, elektronische Dosierung bei der Düngemittelausbringung durch Durchflussmessung als präzisere Alternative zum Wiegestreuer. Aufgrund der vergleichbaren Anforderungen bei der Streustoffausbringung ist die Berücksichtigung solcher Entwicklungen auch im Winterdienst zu empfehlen.

Neben der Dokumentation von Aufwand, Ertrag und Qualität existieren weitere zahlreiche innovative Lösungen mit Potenzial für den Straßenbetriebsdienst, wie die kameragestützte Steuerung bei der Befüllung von Transportfahrzeugen (Auswurfkrümmersteuerung), vollautomatische Bewertung von Fahrzeugausstattung mit Zustands- und Stoßüberwachung zur Optimierung vorhersehbarer Wartungsarbeiten nach Betriebsstunden und Belastung, elektronische Reifendruck- und Federungsregelungen, Lenkhilfen- und Fahrassistenzsysteme, Wildrettung mit Drohnen und Infraroterkennung sowie Arbeitszeiterfassung mit RFID [BMEL o. D.; DBV o. D.].

### 2.6.3 Technologien in der Bauwirtschaft

Auch für die Bauwirtschaft ist eine automatisierte Einsatzdatenerfassung interessant, z. B. bei flächenhaften Arbeiten wie der Verdichtung von Asphaltsschichten zum Nachweis der Materialtemperatur zum Zeitpunkt der Walzengänge. Die automatische Maschinensteuerung im Straßenbau erlaubt außerdem die Übertragung von Planungsparametern an den Fertiger, der die Vorgaben an Achse, Neigung und Schichtdicke beim Fertigungsprozess präzise umsetzt. Ähnlich der Anwendungen im Bereich der Logistik ist bei komplexen Bauvorhaben mitunter die dynamische Steuerung einer Vielzahl an Transportfahrzeugen notwendig. Dies gilt vor allem für die eng getaktete Anlieferung des heißen Asphaltmischgutes bei der Herstellung des Straßenoberbaus oder beim Transport des flüssigen Betons durch eine große Zahl von Fahrmischern bei monolithischen Betonagevorhaben im Hoch- oder Brückenbau. Des Weiteren untersucht die Bundesanstalt für Straßenwesen die Machbarkeit eines adaptiven Systems zur Bereitstellung relevanter Informationen zur ganzheitlichen Bewertung von Brückenbauwerken (Intelligente Brücke). Dabei sollen Messdaten mit innovativen und ganzheitlichen Bewertungsverfahren in einem intelligenten Erhaltungsmanagement verknüpft werden.

### 3 Konzeptvorschläge

Zusammenfassend lassen sich aus der Grundlagenermittlung (Kapitel 2) Anwendungsfälle für eine innovative Datenerfassung und -nutzung für den Straßenbetriebsdienst ableiten.

#### 3.1 Anwendungsbereiche im Straßenbetriebsdienst

##### 3.1.1 Einsatzdokumentation bei objektbezogenen Arbeiten

Die Objekterkennung mit RFID kann in der automatisierten Einsatzdatenerfassung zur vereinfachten Dokumentation objektbezogener Arbeiten an der Straßenausstattung angewandt werden, wie z. B. bei der Baumkontrolle sowie Arbeiten an Entwässerungseinrichtungen und Regenrückhaltebecken, Verkehrszeichen und Lichtsignalanlagen sowie an technischen Anlagen von Tunneln und Brücken. Durch Kontrollvermerke beim Auslesevorgang der Transponder könnten tatsächlich durchgeführte Prüfungen und Arbeiten nachgewiesen und detailliert dokumentiert werden. Weiterhin kann der exakte Standort gespeichert und übermittelt werden. Dabei muss die Manipulationssicherheit der Datenhaltung gewährleistet sein. Die Übertragung der Daten in ein zentrales System ermöglichen in einem weiteren Schritt die Nutzung dieser Informationen. Dabei können der Standort und die Objektinformation in das Bestandsdatenmanagementsystem eingehen und dadurch die Datenquantität und -qualität sukzessive verbessern. Übermittelte Kontrollvermerke können in einem anderen System, beispielsweise einem Pavement-Management-System, die Arbeits- und Zeitplanung für Instand- und Erhaltungsmaßnahmen erleichtern sowie die Erfüllung der Verkehrssicherungspflicht gerichtsfest dokumentieren.

##### 3.1.2 Verbessertes Bestandsdatenmanagement

Es wird empfohlen, ein umfassendes Bestandsdatenmanagement als Grundlage einer wirtschaftlichen Steuerung zu betreiben und die Erfassung von Objekten im Bestand mit dem Einsatz neuer Techniken wie RFID-Identifikation voran zu treiben.

##### 3.1.3 Verbesserte Streckenkontrolle

Im Rahmen der Streckenkontrolle werden heute nur negative Feststellungen dokumentiert. Bei kritischer

Betrachtung der Dokumentation stellt sich damit die systematische Frage, ob nicht erwähnte Elemente der Verkehrsanlage mängelfrei waren oder gar nicht kontrolliert wurden. Mit moderner Erfassungstechnik, wie Tablets und Smartphones im Fahrzeugcockpit, lässt sich die Dokumentation derart verbessern, dass die erfolgte Kontrolle aller Objekte beispielsweise durch einfache Bestätigung während der Streckenkontrolle automatisch vermerkt und neu entdeckte Mängel oder weitere Bemerkungen unmittelbar vor Ort im System objektbezogen aufgenommen werden können. Die erfassten Daten der jeweiligen Streckenkontrolle können am Ende des Einsatzes auf ein zentrales System übertragen und von anderen Beteiligten interpretiert werden. So können Bestell- und Instandsetzungsaufträge generiert werden und in das System zurückgespielt werden. Der automatische Datenbankabgleich für alle Anwender führt dazu, dass die Streckenkontrolle zu jedem Objekt eine aktuelle Information zur Mängelbeseitigung erhält. Die Verhinderung von Doppelbearbeitung gleicher Objekte sowie die Dokumentation des Abarbeitungsfortschrittes führen zu einer effizienteren Durchführung der Betriebsdiensttätigkeiten. Durch die automatisierte Erfassung werden Verwechslungen von Objekten vermieden, der Arbeitsaufwand bei der Bestandskontrolle und der nachträgliche Dokumentationsaufwand kann erheblich reduziert werden.

##### 3.1.4 Erfassung von Ausstattungsobjekten

Die Ausstattung der zu erfassenden Objekte mit Transpondern sollte durch den Betriebsdienst im Zuge der Bestandsdatenerfassung und -pflege oder regelmäßiger Kontrollen der Objekte erfolgen. Analog dazu muss den Objekten deren Transponder-Seriennummer in einem Datenbanksystem zugeordnet werden. Objekte, die gegenwärtig nicht im Einzelnen erfasst werden, sondern nur als Streckenmerkmal in den Bestandsdatenbanken geführt werden, erfordern ggf. weitergehende Bestandsaufnahmen und eine Aktualisierung der Straßeninformationsbank (SIB). Wird eine Einzelerfassung als nicht zielführend angesehen, sind ausgehend von den einzelnen Anwendungsfällen zugehörige Algorithmen für die Datenverarbeitung und -haltung zu erarbeiten.

Eine automatisierte Objekterkennung kann ebenfalls zur Identifikation von Werkzeugen, Anbaugeräten und Arbeitsmitteln sowie Material für die Verkehrssicherung/-führung (z. B. Verkehrszeichen)

bei der Ausgabe oder Wiederkehr im Meistereigehöft zum Einsatz kommen. Somit herrscht auf einfache Weise stets Gewissheit über die Lagerbestände. Ein solches Management der Lagerbestände wird mit Blick auf den verbesserten Logistikfluss der genannten Güter insbesondere bei Warn- und Absperrmaterial für Arbeits- und Gefahrstellen als sinnvoll erachtet.

Bei den Investitionskosten müssen die Transponder, Auslesegeräte in geringer Stückzahl und Software berücksichtigt werden. Als Transponder sind passive Systeme mit Seriennummer ab Werk und kurzem Ausleseabstand anwendungsbedingt hinreichend, je Meisterei werden ca. 10.000 Stück benötigt. Da die RFID-Technik im Rahmen des Bestandsdatenmanagements und der Einsatzdatenerfassung zur Anwendung kommen soll, sind lediglich Erweiterungen und Anpassungen der vorhandenen Systeme erforderlich, welche als kostengünstig eingeschätzt werden.

### 3.2 Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen

#### 3.2.1 Gegenüberstellung Barcode – QR-Code

Sprechen für Barcodes das kostengünstige und einfache System, stellt die unproblematische Vielfältigkeit bei der statischen Anwendung von nachweisbedürftigen Scanvorgängen ein Problem dar, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass es sich bei dem abgescannten Code um ein Duplikat handelt. Bei der Anwendung von RFID-Transpondern kann dagegen sichergestellt werden, dass der Scanvorgang am Objekt selbst durchgeführt wurde. Des Weiteren ist eine Änderung der Informationen auf dem RFID-Transponder selbst möglich, z. B. zur Speicherung des letzten Kontrolldatums, wohingegen der Inhalt von Barcodes nicht nachträglich geändert oder ergänzt werden kann, lediglich der Inhalt von verlinkten Websites oder Dokumenten oder produktspezifische Datenbankeinträge können aktualisiert werden. Während Barcodes aufgrund des optoelektronischen Auslesevorgangs auf

	1D Strichcode	2D QR-Code	RFID
Datenmenge	ca. 20 Stellen	4000-7000 Stellen	10-1800 Stellen
Lesbarkeit/Fehlertoleranz	nur wenn vollständig/keine	omnidirektional/hoch	auch bei Verschmutzung
Wiederbeschreibbarkeit	nicht möglich	nicht möglich	wenn gewünscht
Datenzugriff	write once, read only	write once, read only	read&write/read only
Nachweisführung	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet
Reichweite/Sichtbarkeit	wenige cm/erforderlich	i.d.R innerhalb 1 m/erforderlich	1-10 m/nicht erforderlich
Kosten Medium	vernachlässigbar	vernachlässigbar	ca. 5€ /Stück (30ct - 30 €)
Kosten Scanner	ca. 100 €	> als 1D, abwärtskompatibel	ca. 1000 €
Pulkerfassung/-verarbeitung	nicht möglich	nicht möglich	möglich
manuelles Einlesen	Redundanz üblich	nicht möglich	nicht möglich
Untergrund	unerheblich	unerheblich	negativer Einfluss aus Metall
Signal/Senderenergie	optisch/nicht erforderlich	optisch/ nicht erforderlich	funk/induziert
Dauerhaftigkeit	zeitlich begrenzt	zeitlich begrenzt	quasi unbegrenzt
Herstellung	Heimdrucker o. Spezialdrucker	Heimdrucker o. Spezialdrucker	Industrie o. Spezialdrucker
Anforderung an Druckqualität	hoch	gering	-
mit Smartphone lesbar	mit App	mit App	nur mit Reader-Aufsatz
Anbringung	selbstklebend/als Ausdruck	selbstklebend/als Ausdruck	selbstklebend oder integriert
Sicherheit	ggf. Prüfnummer	Verschlüsselung möglich	Kopierschutz u. Verschlüsselung
Datenbankverknüpfung	sinnvoll	nicht notwendig	optional
bevorzugte Anwendung	objektbezogene Seriennummer	objektbez. Datenspeicherung	Speicherung u. auto.Erkennung

Tab. 3-1: Gegenüberstellung Strich-/QR-Codes und RFID (Eigene Darstellung, DRC)

eine direkte Sichtverbindung angewiesen sind, können RFID-Transponder durch die funkbasierte Übertragungstechnik auch verdeckt ausgelesen werden. Beim dauerhaften Außeneinsatz von QR-Codes sollten zusätzliche Maßnahmen zum Schutz von unbefugtem Überkleben berücksichtigt werden.

Die Angaben wurden zwecks der tabellarischen Gegenüberstellung verkürzt wiedergegeben. Die einzelnen Parameter sind stark von der Bauart und der Systemausführung abhängig.

### 3.2.2 Gegenüberstellung Bluetooth – NFC

Die Vor- und Nachteile der beiden vorgestellten Kommunikationstechnologien ergeben sich aus den gänzlich unterschiedlichen Anwendungsbereichen, für die diese jeweils entwickelt wurden. Während die NFC-Technik ursprünglich das Ziel hatte, kontaktlose Bezahlvorgänge zu ermöglichen, wurde Bluetooth als Ersatz für kabelgebundene Geräteverbindungen entwickelt. Daraus ergeben sich auch die großen Unterschiede in der Reichweite. Während NFC nur für sehr kurze Distanzen innerhalb weniger Zentimeter geeignet ist, damit die Kontaktaufnahme bei Bezahlvorgängen auch als Einverständnis für die Transaktion gewertet werden kann, können Bluetooth-Geräte je nach Modell und Technologiestandard über mehrere bis hundert Meter hinweg kommunizieren. Die hohen möglichen Reichweiten begründen auch den von Bluetooth-Geräten praktizierten Frequenzwechsel zur Vermeidung von Störungen aus Überlastung und Überlagerung, während NFC-Transmitter an eine bestimmte Frequenz gebunden sind.

### 3.3 Anforderungen an Implementierung und Betrieb

Noch vor der Implementierung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien sollte bereits bei der Konzeption und Auswahl geeigneter Anwendungsfälle beachtet werden, ob im geplanten Erprobungszeitraum eine effektive Pilotphase möglich ist, z. B. aufgrund saisonaler Wetterbedingungen. Alternativ muss die Testphase entsprechend der geplanten Anwendung terminiert werden. Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung sind ausreichend lange Pilot- und Testphasen, ggf. empfiehlt sich auch die Implementierung von Teilsystemen in separaten Projektschritten. Während der Erprobung ist es notwendig, dass die späteren An-

wender von Beginn an in die Planung und Erprobung einbezogen werden, um die Handhabung und Tauglichkeit im praktischen Einsatz zu testen, möglichst frühzeitig spürbaren Nutzen zu generieren und die Akzeptanz durch die Anwendergruppen zu fördern. Weiter sind Schnittstellen und die Auswertung der in der Testphase gewonnenen Daten zu prüfen und die Ergebnisse mit dem zuvor definierten Zielen abzugleichen.

Im Betrieb zeichnen sich stabile Systeme dadurch aus, dass die erwarteten und vorgesehenen Leistungen durch das System erfüllt, Daten verlustfrei übertragen werden und alle Komponenten zuverlässig, mit minimalen Ausfallzeiten, funktionieren. Dazu empfiehlt sich ein dauerhaft verfügbarer Support, regelmäßige Wartung und Updates durch eine möglichst zentrale Administration, um durch einheitliche Programmversionen auch eine einheitliche Funktionalität gewährleisten zu können.

## 3.4 Einsatzkonzept und Pilotanwendung

### 3.4.1 Materialverfolgung

#### Motivation und Zielsetzung

Im Alltag kommt es immer wieder zu Verunsicherungen über scheinbar vergessene Verkehrsschilder und temporäre Warn-/Leiteinrichtungen sowie Meldungen von gestohlenen, beschädigten oder durch Unbefugte verstellte Leitkegel und Warnbaken. Tatsächlich kommt es vor, dass im Straßenbetriebsdienst einzelne Objekte zum Anzeigen von Gefahrenstellen (z. B. VZ Gefahrenstelle + Zusatzhinweis) oder für die temporäre Verkehrsführung bei der Wiederaufnahme vergessen oder beschädigt werden sowie vor Ort nicht mehr aufzufinden sind (z. B. mobile Lichtsignalanlagen). Neben dem daraus resultierenden finanziellen Schaden bedeuten vergessene Schilder Mehraufwand und sorgen für sinkende Akzeptanz von Verkehrsregelungen in der Öffentlichkeit.

Bei einer zentralen Lagerung von handgeführten Geräten/Kleingeräten (wie Motorsägen oder handgeführten Mähgeräten), deren Bestand begrenzt ist, ist es ebenso sinnvoll den Warenaus- und -eingang digital zu erfassen und in einer Datenbank zu hinterlegen. Dabei können an jedem Gerät mithilfe von Barcodes oder RFID-Chips nicht nur die Gerätenummern/Inventarisierungsnummern hinterlegt werden, sondern auch weiterführende Informatio-

nen wie Betriebsstoffe, Prüfintervalle etc. Bei nicht erfolgter Rückgabe (= Wareneingang) kann zudem nachverfolgt werden, wer das Gerät zuletzt mit sich geführt hat. Weiterhin könnte eine Geräteausgabe bei nicht erfolgter Wartung verhindert werden, indem in der Datenbank ein Kontrollvermerk hinterlegt wird.

Das vorliegende Konzept beschreibt also Möglichkeiten zur Verminderung von Verlust, zur besseren Übersicht über eingesetzte temporäre Objekte im Netz sowie Verbesserungen im Lagerbestandsmanagement durch die Ausstattung der genannten Objekte und des Straßenbetriebsdienstes mit RFID- und Bluetooth-Technik am Beispiel von Gefahrenzeichen, GNSS-Trackern, am Beispiel von mobilen LSA sowie mittels Barcodes oder RFID-Chips an Kleingeräten. Aufgrund der zuverlässigen Funktion, auch bei starken Verschmutzungen im Winter, erscheint die RFID Technik im Vergleich zu bspw. Barcode oder QR-Codes für diese Anwendungen besser geeignet, was aber im Rahmen der Pilotanwendung in der Realität zu überprüfen ist. Die eindeutige Zuordnung von Seriennummern zu jedem Objekt stellt sicher, dass die Scanvorgänge auch tatsächlich am Objekt selbst vorgenommen werden. Ziel ist u. a. eine wirtschaftlichere Lagerverwaltung, bessere Arbeitsplanung sowie Steigerung der Verkehrs- und Rechtssicherheit.

### Durchführung

Im Kreislauf zwischen Lagerausgabe und Widereinlagerung der Gefahrzeichen oder mobilen LSA und dem dazwischen stattfindenden Transport sind vier Scan-Operationen mithilfe eines mobilen Lesegerätes notwendig:

#### 1. Entnahme aus Lager

Bei der Entnahme wird nach Anmeldung und Auswahl der entsprechenden Operation (Entnahme – Start) jedes Objekt gescannt. Nach

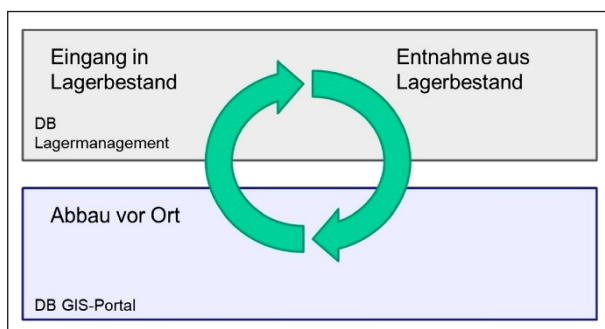


Bild 3-1: Systemskizze zum Ablauf (Eigene Darstellung, DRC)

Ende der Operation (Entnahme – Ende) wird jedes entnommene Objekt im Lagerbestandssystem unter Angabe von Ort, Datum, Uhrzeit und des verantwortlichen Beschäftigten als entnommen registriert. Der Scanvorgang findet dabei manuell statt, jedoch ist auch eine automatische Erfassung, z. B. über stationäre Reader am Lagerzugang, denkbar.

#### 2. Aufstellen oder Nutzung der Objekte an Gefahren- oder Arbeitsstellen

Nach Transport zur Einsatzstelle und Auswahl der entsprechenden Operation (Aufstellen – Start) wird jedes Objekt erneut gescannt. Zusätzlich zu den automatisch erfassten Standards (Ort, Datum, Uhrzeit etc.) muss manuell die geplante Standdauer eingegeben werden.

#### 3. Abbau bzw. Einsammeln der Objekte

Nach Einsatzende oder wenn ein Arbeitsauftrag zum Einsammeln einer oder mehrerer Objekte erteilt wird werden die Elemente nach Auswahl der Operation „Einsammeln – Start“ gescannt. In Abhängigkeit des auf dem Endgerät eingegangenen Arbeitsauftrags informiert eine Anzeige darüber, ob bereits alle Objekte aufgenommen wurden (Elemente eingesammelt 4/5). Im Falle von Verlust oder Beschädigung wird die Operation trotzdem beendet (Einsammeln – Ende). Verbleibt danach eine Differenz zwischen aufgestellten und eingesammelten Objekten wird darauf hingewiesen (1 verbleibend) und die Möglichkeit verknüpft, den Schaden oder Verlust zu melden und bei Bedarf eine Nachbestellung für das Objekt in Auftrag zu geben.

#### 4. Einlagern

Die Operation „Einlagern“ funktioniert analog zur Lagerentnahme. Nach Eingang wird das betreffende Objekt im Lagerbestandssystem wieder auf „vorrätig“ gesetzt.

### Ausstattung

Die Objekte werden zur Überprüfung einer entsprechenden Bandbreite mit unterschiedlicher Technik ausgestattet. Dabei ist der Einsatz von passiven RFID-Transponder, Bluetooth-Tags oder GNSS-Tracker geplant. Zum Scannen werden mobile Lesegeräte eingesetzt, die auch in der Lage sind, die gescannten Seriennummern sowie weitere Infor-

mationen an die Schnittstelle zu übertragen. Die Schnittstellen-Hardware wird sowohl im Lager als auch in die Fahrzeuge des Straßenbetriebsdienstes integriert und sendet die Daten mit separat erfasseter GPS-Position gesammelt an das Portal. Alternativ kann durch Verknüpfung des Scanners mit einem geeigneten Endgerät (z. B. Smartphone-Aufsatz) auf die fahrzeuggebundene Schnittstelle verzichtet werden. In jedem Fall muss die Stromversorgung der Reader im Außeneinsatz durch geeignete Maßnahmen (Ersatzakku, Lademöglichkeit etc.) sowie eine zuverlässige Datenübertragung gewährleistet sein.

### Portal: Objekte im Einsatz

In einem (Web-)Portal werden die Informationen über sämtliche Objekte im Einsatz gesammelt und in übersichtlichen Darstellungen dem Benutzer (z. B. Einsatzplaner) zur Verfügung gestellt. Dabei sollten vor allem die Standorte und die Standdauern auf einer Karte des Straßennetzes visualisiert werden. Ein Abgleich der geplanten Einsatzdauer mit der tatsächlichen Standzeit wäre ebenfalls wünschenswert. So könnten z. B. Standzeiten innerhalb des vorhergesehenen Rahmens grün, und solche, die die geplante Einsatzdauer überschreiten, rot dargestellt werden, um Probleme auf einen Blick identifizieren zu können (Bild 3-2). Bei Bedarf sollten aus dem Portal heraus Arbeitsaufträge zum Einsammeln bestimmter Objekte generiert werden können und die Informationen zu Standort und Objektanzahl dem mobilen Endgerät zur Verfügung gestellt werden.

### Lagerbestand-Managementsystem

Um auch die Potenziale bei der Lagerverwaltung voll ausschöpfen zu können, empfiehlt sich begleitend die Einführung eines geeigneten Manage-

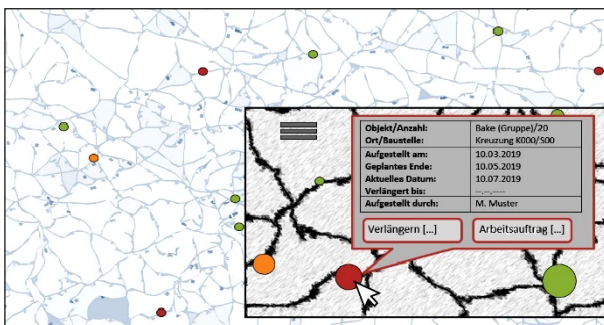


Bild 3-2: Systemskizze zur Visualisierung (Eigene Darstellung, DRC)

mentsystems, sofern noch nicht vorhanden. Die Informationen über die Objektverfügbarkeit (vorrätig, im Einsatz, Bestellung im Gange, Kontrollintervall abgelaufen etc.) ermöglichen eine wirtschaftlichere Arbeitsplanung und Materialauslastung. Zusätzlich könnten in einem solchen System u. a. Bestellaufträge verwaltet und eingesehen werden sowie die Arbeitssicherheit erhöht werden.

### Implementierung und Erprobung

Das Vorhandensein oder die parallele Einführung eines Lagerbestandsmanagement-Systems ist zwar grundsätzlich von Vorteil, stellt aber keine zwingende Voraussetzung dar. Eine unabhängige Einführung und Erprobung der beschriebenen Technologien sowie des dazugehörigen Portals sind gegebenenfalls sinnvoll. Je nach Ressourcenverfügbarkeit ist auch die schrittweise Einführung einzelner Komponenten wie z. B. der automatischen Lagerbestandserfassung möglich.

### Ausblick

Bei Erfolg können weitere Anwendungsbereiche für andere ähnliche Objekte abgeleitet werden, die in größeren Mengen temporär im Straßennetz eingesetzt werden, wie z. B. Leitbaken, Leitkegel, Schilder etc.

### 3.4.2 Baumkontrolle und Grünpflege

#### Motivation und Zielsetzung

Im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht ist der Straßenbetriebsdienst zur regelmäßigen Kontrolle des Baumbestandes verpflichtet. Darüber hinaus ist die Grünpflege Teil der zu erbringenden Leistung nach Bundesleistungsheft. Zur Vermeidung von Gefahren durch beschädigte Bäume nach Extremwetterereignissen spielen die Besitzverhältnisse und die grundsätzliche Verantwortung für den einzelnen Baum eine untergeordnete Rolle, weil zunächst eine Absicherung und Beseitigung der Gefahren gewährleistet werden muss. Die anschließende Zuordnung der Bäume und die damit verbundene Ermittlung des Verantwortlichen bei Rechnungsstellung und Haftungsfragen stellt allerdings häufig ein Problem dar. Die Kontrollintervalle bei der Baumbesichtigung sind u. a. abhängig vom Baumalter und -zustand. Das Auffinden des richtigen Baumes vor Ort sowie die effiziente Arbeitsplanung und Durchführung stellt die zuständigen Be-

schäftigten vor besondere Herausforderungen. Der Einsatz von RFID-Technik ermöglicht die eindeutige und schnelle Identifikation jedes zugeordneten Objektes. Mängel oder Ähnliches können vor Ort objektbezogen ins Verwaltungssystem gespeichert und damit Verwechslungen und Übertragungsfehler vermieden werden.

Ziel ist eine wirtschaftlichere Gestaltung der Arbeitsplanung und bessere Leistungszuordnung bei der Grünpflege sowie erhöhte Rechtssicherheit durch den Nachweis, dass der Sorgfaltspflicht bei der Baumkontrolle nachgekommen wurde.

### Leistungen

Das Erfassen der erbrachten Leistungen nach dem Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst auf Bundesfernstraßen ist insbesondere bei der Beauftragung Dritter für die Abrechnung von Bedeutung. Die Feststellung der Zuständigkeitsgrenzen spielt bei der Grünpflege zur Vermeidung von nicht notwendigen Zusatzarbeiten eine entscheidende Rolle:

Leistungsbereich 2: Grünpflege

**Leistung 2.3.1:** Gehölze im Straßenbereich zurückschneiden

**Leistung 2.3.3:** Gehölze an Erholungs- und Aufenthaltsflächen zurückschneiden

**Leistung 2.3.4:** Gehölze außerhalb des Straßenbereiches pflegen

**Leistung 2.3.5:** Einzelbäume pflegen

### Durchführung

Bei der Gehölzpflege und der Baumkontrolle im Rahmen der Grünpflege ist jeweils ein Scanvorgang erforderlich, die Auswahl der Zuständigkeiten und die Eingabe aller relevanten Daten erfolgt über ein mobiles Handgerät, das PDA (Personal Digital Assistant). Zuerst wird der Transponder gescannt und die darauf hinterlegte Objekt-ID sowie die Zuständigkeit mit dem Arbeitsauftrag verglichen. Bei Übereinstimmung kann je nachdem, ob es sich um eine Gehölzfläche oder einen Einzelbaum handelt, eine entsprechende Leistung ausgewählt und gegebenenfalls benötigte Informationen aus der Datenbank eingesehen werden. Dabei werden auch automatisch Datum, Uhrzeit sowie der Name der Beschäftigten (z. B. Kontrolleure) erfasst und mit

der Leistung verknüpft abgespeichert. Handelt es sich um eine Regelkontrolle oder eingehende Baumuntersuchung können im PDA die Ergebnisse in einem Formular ausgefüllt werden. Nach Abschluss werden die Informationen über die erfolgten Arbeiten, optional mit Bildnachweisen oder Kurzberichten, objektbezogen an das Verwaltungssystem übertragen.

### Ausstattung

Jeder Baum und jede Gehölzfläche im Zuständigkeitsbereich werden mit einem beschreibbaren RFID-Transponder ausgestattet. Dazu sind bspw. umweltverträgliche, witterungs- und harzbeständige Kunststoffnägel oder scheibenförmige Transponder mit Größen von wenigen Zentimetern und langer Haltbarkeit am Markt erhältlich. Auf jedem Transponder wird eine eindeutige Seriennummer gespeichert. Wenn ein durchgehender Zugriff auf das Verwaltungssystem nicht garantiert werden kann, muss zusätzlich zumindest die Zuständigkeit hinterlegt sein.

Zum Scannen wird ein geeignetes mobiles Endgerät (PDA) oder Smartphone/Tablet mit Scanner-Aufsatz benötigt. Die inhaltlichen Anforderungen an die ausfüllbaren Formulare zur Baumkontrolle ergeben sich aus dem Stand der Technik (FLL Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen). Wenn die direkte Übertragung der Daten nach Abschluss der Arbeiten nicht gewährleistet ist, muss zum späteren Auslesen des PDA im Büro eine geeignete Schnittstelle zur Verfügung stehen.

### Verwaltungssystem (GIS-Baumkataster)

Für einen effektiven Einsatz von RFID ist ein Verwaltungssystem in Form eines GIS-Baumkatasters erforderlich. Die Kombination ermöglicht eine effiziente Arbeits- und Kostenplanung und Durchführung der anfallenden Arbeiten. Insbesondere der Dokumentations- und Übertragungsaufwand wird im Vergleich zur zeitaufwendigen Erfassung mit Stift und Papier erheblich reduziert. Der schnelle Zugriff auf gesuchte Informationen stellt, vor allem bei großen Baumbeständen, einen weiteren Vorteil dar. Im System müssen die hinterlegten Daten strukturiert und übersichtlich dargestellt werden. Dazu empfiehlt sich die Visualisierung in unterschiedlichen Ebenen. Im Vordergrund sollte die Darstellung des Bestandes stehen, bei der zwischen Gehölzflächen (intensiv/extensiv), Einzelbäumen und Baumgrup-



pen/Alleen differenziert wird, z. B. durch unterschiedliche Grüntöne und Größen der kreisförmigen Baumsymbole. Für jeden Einzelbaum sind für den Betriebsdienst relevante Informationen, wie Identifikationsnummer, Standort, Zuständigkeit, Alter, Status (Gefahrenbäume, Naturdenkmäler), zurückliegende Maßnahmen usw. zu hinterlegen. In weiteren Ebenen könnten Prüfindervalle nach Gefährdungsklassen oder anstehende Kontrollen innerhalb einer bestimmten Frist angezeigt werden, aus denen dann Arbeitsaufträge abgeleitet werden können.

### Implementierung und Erprobung

Die umfangreiche Ausstattung der einzelnen Bäume sollte abschnittsweise erfolgen und zur Erprobung der Funktionstüchtigkeit im Rahmen des Pilotprojekts vorerst auf einige wenige Objekte beschränkt werden. Da die Einführung der RFID-Technik im Vordergrund steht, sollte zur Erprobung ein geeignetes Verwaltungssystem bereits vorhanden sein. Die Implementierung in ein bestehendes GIS-Baumkataster ist wenig aufwendig, da das Anbringen der Transponder und die Aktualisierung der Daten im Zuge der regelmäßigen Kontrollen schrittweise erfolgen kann.

### Ausblick

Bei Erfolg könnte der Einsatz auch auf Bäume auf privaten Flächen, deren Gefährdungsbereich in den öffentlichen Raum reicht, nach Zustimmung deren Besitzer, ausgeweitet werden, um so für noch eindeutige Abgrenzung der Zuständigkeitsbereiche zu sorgen.

### 3.4.3 Kombinierte Ortung von Tagesbaustellen

#### Motivation und Zielsetzung

Das genaue Lokalisieren von Störungen im Verkehrsfluss ist bei der Entscheidung über verkehrslenkende und vorwarnende Maßnahmen von zentraler Bedeutung. Die Ermittlung geeigneter Ausweichrouten infolge stark belasteter Straßenabschnitte erfordert möglichst genaue Kenntnis über die Verkehrslage im Einzugsbereich. Auch Arbeitsstellen kürzerer Dauer, sogenannte Tagesbaustellen, beeinträchtigen den Verkehr durch temporäre Fahrstreifensperrungen und verursachen darüber hinaus ein besonderes Stau- und Unfallrisiko, da sie im Vergleich zu Dauerbaustellen von anderen

Verkehrsteilnehmenden nicht vorhergesehen werden. Ziel der Maßnahme ist die Ortung der fahrbaren Absperrtafel und die Nutzung der Positionskennntnis zum Prüfen von Gegenmaßnahmen wie Umleitungsempfehlungen oder temporärer Seitenstreifenfreigabe und die Weitergabe der gewonnenen Informationen an die einzelnen Verkehrsteilnehmer über Radio, Navigations- oder Baustelleninformationssysteme.

### Funktion und Durchführung

Die Ortung der Warnanhänger bezüglich Straße und Fahrtrichtung erfolgt über GPS im Zuge der mobilen Einsatzdatenerfassung. Da die Genauigkeit der GPS-Ortung nicht ausreicht, um den Aufstellort fahrstreifenscharf zu ermitteln, geschieht dies in bisherigen Pilotanwendungen durch die Eingabe des Fahrstreifens durch Betriebsdienstmitarbeiter. Diese Information wird zusammen mit der automatisch erfassten Pfeilstellung auf der Warntafel an das Verwaltungssystem des Straßenbetriebsdienstes gesendet. Die damit vorliegende exakte Position kann nun zur Weiterverarbeitung, z. B. in einem Baustelleninformationssystem oder für Verkehrsprognosen, genutzt werden. Der Start- und Endpunkt der Maßnahme und der Positionsübermittlung können z. B. über die Stellung des Pfeils, der den erforderlichen Spurwechsel für den nachfolgenden Verkehr anzeigt, bestimmt werden.

### Ausstattung und Implementierung

Um auch fahrbare Absperrtafeln erfassen zu können, die im Netz kurzzeitig als Vorwarneinrichtung abgestellt werden und nicht mehr an das mit der automatischen Einsatzdatenerfassung ausgestatte-

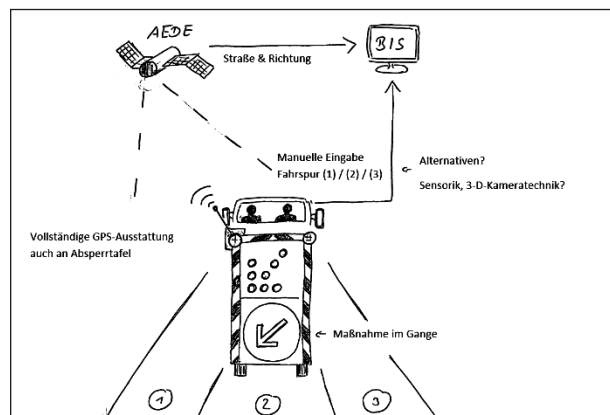


Bild 3-3: Kombinierte Ortung von Tagesbaustellen (Eigene Darstellung, DRC)

te Zugfahrzeug gekoppelt sind, ist die zusätzliche Ausstattung der Anhänger mit eigener Technik zur Ortung erforderlich. Zur Erprobung empfiehlt sich die Implementierung in bestehende Systeme zur automatischen Einsatzdatenerfassung. Bereits vorhandene Schnittstellen zu Baustellenmanagement- oder Baustelleninformationssystemen wären ebenfalls wünschenswert. Bei entsprechenden Voraussetzungen ist nur wenig Entwicklung- und Einführungsaufwand zu erwarten.

### 3.4.4 Schachtmanagement

#### Motivation und Zielsetzung

§ 61 des Wasserhaushaltsgesetz (WHG) verpflichtet i. V. m. den zugehörigen Verordnungen der Länder zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen durch den Betreiber. Dies beinhaltet auch die Pflicht zur regelmäßigen Kontrolle von Zustand und Funktionstüchtigkeit der öffentlichen Kanalisationsnetze (vgl. SüwVO Abw NRW). Die Überwachung und insbesondere die Reinigung von Schächten und Straßenabläufen ist nach dem Bundesleistungsheft Bestandteil der Leistungen des Betriebsdienstes und dient der Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit durch Beseitigung von Verunreinigungen, die die Funktionsfähigkeit der Entwässerungseinrichtungen beeinträchtigen. Der Vorteil der RFID Technik im Schachtmanagement liegt in der dauerhaften und wartungsfreien Möglichkeit, jedes Objekt eindeutig zu markieren und zu identifizieren, sowie den Nachweis der Kontrolle und der Anwesenheit vor Ort zu führen. Die Inspektion mittels mobilen Endgeräts ermöglicht die lückenlose Dokumentation von Wartungs- und Reparaturarbeiten, sowie die Übertragung der objektbezogenen Informationen in ein Verwaltungssystem.

Ziel ist eine wirtschaftlichere Gestaltung der Arbeitsplanung und bessere Leistungszuordnung bei der Reinigung von Entwässerungseinrichtungen und erhöhte Rechtssicherheit durch den Nachweis, dass der Pflicht zur Selbstüberwachung nachgekommen wurde.

#### Leistungen

Das Erfassen der erbrachten Leistungen nach dem Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst auf Bundesfernstraßen ist insbesondere bei der Beauftragung Dritter für die Abrechnung von Bedeutung. Die Feststellung der Zuständigkeitsgrenzen spielt

bei der Reinigung von Entwässerungseinrichtungen zur Vermeidung von nicht notwendigen Zusatzarbeiten eine Rolle:

#### Leistungsbereich 4: Reinigung

**Leistung 4.2.1:** Straßenrinnen, befestigte Straßenmulden und -gräben und Straßenabläufe reinigen

**Leistung 4.2.2:** Schächte, Rohrleitungen, Durchlässe und Düker reinigen

#### Durchführung

Bei der Reinigung von Schächten wird zuerst die Abdeckung entfernt und daraufhin der im Schacht angebrachte RFID-Transponder gescannt. Bei Straßenabläufen kann der Transponder gegebenenfalls auch an der Abdeckung selbst angebracht sein und ohne Herausheben gescannt werden, sofern eine Sichtprüfung ausreichend ist. Dabei wird die eindeutige Seriennummer (Objekt-ID) durch ein mobiles Handgerät, das PDA (Personal Digital Assistant) ausgelesen. Bei konkreten Arbeitsaufträgen kann nun, um Verwechslungen vorzubeugen, die ID verglichen, und bei Übereinstimmung die gewünschte Leistung ausgewählt werden. Dabei werden auch automatisch Datum, Uhrzeit sowie der Name des Beschäftigten (z. B. Kontrolleur) erfasst und mit der Leistung verknüpft abgespeichert. Nach Abschluss der Leistung im PDA und Schließen der Abdeckung wird der Nachweis der Kontrolle bzw. der Reinigungsleistung in das Verwaltungssystem übertragen.

#### Ausstattung

Wie beschrieben wird jeder Schacht und jeder Straßenablauf mit einem RFID-Transponder versehen. Zum Scannen wird ein geeignetes mobiles Endgerät (PDA) oder Smartphone/Tablet mit Scanner-Aufsatz benötigt. Die Lage der haltbaren und säurebeständigen Transponder ist objektabhängig und richtet sich danach, ob manche Arbeiten auch ohne Entfernen der Abdeckung durchgeführt werden können. Wenn weder ein geeignetes Verwaltungssystem zu Verfügung steht, noch mit dessen zeitnahe Einführung zu rechnen ist, können sämtliche objektbezogenen Informationen über zurückliegende Maßnahmen auch auf dem Transponder selbst gespeichert und bei Bedarf (z. B. bei Rechtstreitigkeiten) ausgelesen werden.

## Verwaltungssystem (GIS)

In einem Verwaltungssystem werden die für den Betriebsdienst relevanten Informationen über sämtliche Schächte etc. gesammelt und in übersichtlichen Darstellungen dem Benutzer zur Verfügung gestellt. Die automatische Übertragung ohne Zeitverzug erspart ein aufwendiges Abtippen und schließt so inhaltliche Übertragungsfehler aus. Zur besseren Arbeitsplanung könnten Prüf- und Reinigungsintervalle hinterlegt, anstehende Maßnahmen farblich gekennzeichnet und daraus Arbeitsaufträge abgeleitet werden. Die erfassten Daten über durchgeführte Leistungen können außerdem zur Rechnungsprüfung herangezogen werden.

## Implementierung und Erprobung

Die umfangreiche Ausstattung der einzelnen Entwässerungseinrichtungen sollte abschnittsweise erfolgen und zur Erprobung der Funktionstüchtigkeit im Rahmen des Pilotprojekts vorerst auf einige wenige Objekte beschränkt werden. Zudem sollten im Rahmen der Erprobung verschiedene Technologien getestet werden und insbesondere das schnelle Auffinden der Entwässerungseinrichtungen wie auch die Darstellung und Übertragung wichtiger Informationen überprüft werden. Da die Einführung der RFID-Technik im Vordergrund steht, sollte zur Erprobung ein geeignetes Verwaltungssystem bereits vorhanden sein. Die Implementierung in ein bestehendes GIS-Kataster ist wenig aufwendig, da das Anbringen der Transponder im Zuge der regelmäßigen Kontrollen schrittweise erfolgen kann.

## Ausblick

Bei Erfolg können zur weiteren Effizienzsteigerung Scanner direkt in die Anbauwerkzeuge zum Herausheben von Sinkkästen oder in Reinigungsgeräte (Sauger) integriert werden. Damit würde der Arbeitsschritt des Scannens entfallen und die Leistung bereits dem Werkzeug entsprechend vorgelegt sein.

### 3.4.5 Ortung von Objekten hoher Wichtigkeit

Dieses Konzept stellt eine Ergänzung des vorgenannten Konzeptes dar, kann aber auch als Einzelanwendung im Rahmen der Pilotanwendung für eine Überprüfung der technischen Möglichkeiten und deren Praxistauglichkeit getestet werden.

## Motivation und Zielsetzung

Bei der regelmäßig anfallenden Kontrollprüfung und Wartung der gesamten Infrastruktur stellt das Auffinden von bei der Streckenkontrolle nicht direkt sichtbaren Objekten, insbesondere von Leitungen und querenden Rohren (Dolen, Düker), eine Herausforderung für die Beschäftigten im Betriebsdienst dar. Die Suche nach bestimmten Schächten und ähnlichen Einrichtungen innerhalb eines Abschnitts nimmt dabei zusätzlich Zeit in Anspruch, die nicht produktiv genutzt werden kann. Um die Auffindbarkeit der Objekte mit hoher Relevanz zu vereinfachen, könnten diese mit Sendern ausgestattet werden, die im Betriebsdienstfahrzeug durch einen Detektor erfasst werden. Ein akustisches Signal könnte dabei bei Bedarf einen Mitarbeiter auf das nahegelegene Objekt aufmerksam machen. Alternativ oder in Kombination mit dem zuvor beschriebenen Verfahren können bei einer vorhandenen Bestandsdatenbank die dort hinterlegten georeferenzierten Objekte auf einem mobilen Endgerät (z. B. Tablet oder Smartphone) mit einer geeigneten App angezeigt und aufgefunden werden.

## Ausstattung und Implementierung

Als Signalsender kommen aufgrund der erforderlichen Reichweite Bluetooth-Tags oder aktive RFID-Sender infrage. Beide Technologien benötigen eine eigene Stromversorgung. Da selbst bei semiaktiven RFID-Transpondern, die lediglich nach Empfang eines Aktivierungssignals eine Antwort senden, die Akku-/Batterielaufzeit nur wenige Jahre betragen dürfte, sollten dauerhafte und wartungsarme Lösungen, z. B. der Anschluss an ein Solarpanel, in Betracht gezogen werden. Ansonsten müssen Objekte, deren Auffindbarkeit im Straßennetz aufgrund

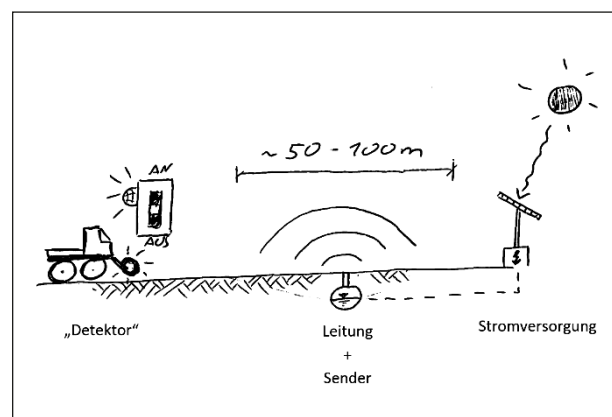


Bild 3-4: Konzeptskizze „Ortung von Objekten mit hoher Wichtigkeit“ (Eigene Darstellung, DRC)

erhöhter Wichtigkeit als problematisch angesehen wird, mit geeigneten Sendern ausgestattet werden. Zusätzlich werden am Fahrzeug ein Detektor und ein Signalgeber benötigt, der bei Bedarf zugeschaltet werden kann.

### 3.4.6 Informationssystem

Dieses Konzept stellt eine Erweiterung bzw. Ergänzung zu den Anwendungskonzepten aus den Kapiteln 3.4.1, 3.4.4 und 3.4.5 dar, kann in der Erprobung aber auch losgelöst getestet werden.

#### Motivation und Zielsetzung

Die Fülle an unterschiedlichen Anbaugeräten, Maschinen und Hilfsmitteln im Straßenbetriebsdienst erfordert eine umfassende Kenntnis vom individuellen Umgang mit der fortschreitend komplexer werdenden Technik. So könnten mithilfe von Barcodes oder RFID-Transpondern einfache aber spezifische Informationen neben der Gerätenummer/Inventarisierungsnummer hinterlegt werden. Informationen zu Anbau und Kopplung würden die Arbeit erleichtern. Wichtige (Warn-)Hinweise zur Nutzung handgeführter Geräte, z. B. zu Betriebsstoffen oder Prüfintervallen, wären dazu geeignet, den Einsatz mit solchen Geräten sicherer zu gestalten oder bei nicht erfolgter Wartung einen solchen sogar zu verhindern.

Ein weiterer Anwendungsbereich für Informationen an baulichen Anlagen sind digitale Beckenbücher bei Regenrückhaltebecken, die vor Ort abgefragt werden können, oder Handbücher und Supportnummern bzw. weitergehende Informationen zu Objekten der Verkehrsanlage, wie Prüfintervalle und Kontrollvermerke, an technischen Anlagen in Tunneln, an Brücken oder entlang der freien Strecke.

#### Beschreibung

QR-Codes bieten die Möglichkeit bei nicht veränderlichen Informationen, ganze Texte mit einigen Sätzen lokal auf minimalem Raum darzustellen. Diese können sogar mit dem Smartphone unkompliziert und ohne Zeitverzögerung ausgelesen und der Text dargestellt werden. Durch die mögliche Rekonstruktion nicht lesbarer Teile können QR-Codes auch bei Verschmutzung oder Beschädigung gelesen werden und sind demnach bei fachgerechter Anbringung hochqualitativer Etiketten für den Au-

ßeneinsatz im Straßenbetriebsdienst geeignet. Eine Verbindung zu einem Netzwerk, einer Datenbank oder Ähnlichem ist dabei optional und keine Voraussetzung. Der Einsatz von RFID- oder Bluetooth-Technik ist ebenfalls zielführend, insbesondere dann, wenn eine Aktualisierung der hinterlegten Informationen (Updates der Kontrollvermerke etc.) erforderlich ist.

### Implementierung und Erprobung

Die Implementierung und Erprobung erfolgten analog Kapitel 3.4.4, wird aber ergänzt um die Ausstattung verschiedener Objekte mit QR-Codes. Das gilt insbesondere bei Objekten, an denen statische Informationen ausreichend sind. Hintergrund der Tests im Rahmen der Erprobung ist hier die Dauerhaftigkeit der aufgeklebten QR-Codes und die Ableitung von möglichen Anwendungsbereichen im Straßenbetriebsdienst.

### 3.4.7 Auswahl der Konzepte für die Erprobung

Für das Anwendungskonzept „Baumkontrolle und Grünpflege“ (Kapitel 3.4.2) laufen bereits Pilotprojekte, um die Praxistauglichkeit für den Straßenbetriebsdienst zu überprüfen (z. B. in Borsdorf bei Leipzig). Darüber hinaus sind bereits verschiedene Produkte für Teilbereiche der Anwendung am Markt erhältlich. Eine parallele Erprobung im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens erscheint daher nicht erforderlich.

Für das Anwendungskonzept „Kombinierte Ortung von Tagesbaustellen“ gibt es ebenfalls bereits Lösungsansätze, die in der Praxisanwendung schon Eingang finden (z. B. Vorwarnanhänger in Bayern, DORA in Hessen). Auch wenn die automatische Zuordnung der gesperrten Fahrstreifen noch nicht möglich ist, erscheinen der Aufwand für eine Erprobung im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens und der im Erfolgsfall daraus entstehende zusätzliche Nutzen gegenüber den vorhandenen Lösungen in keinem vertretbaren Verhältnis zu stehen.

Hamburg hat sich als erstes Bundesland dafür entschieden, flächendeckend Leitbaken mit GPS-Trackern einzusetzen, um diese bei Bedarf orten zu können und im Zweifelsfall vor Ort neu auszurichten. Bei den Bakern handelt es um eine von vielen Objektarten, deren Verfolgung im Rahmen des Betriebsdienstes zweckmäßig erscheint. Weitere Ob-

jektarten einerseits der Verkehrssicherung und Verkehrsführung und andererseits der Ausstattung von Verkehrsanlagen sind in vergleichbaren Anwendungskonzepten zu erschließen.

Vor dem Hintergrund vorhandener Anwendungen und laufender Pilotanwendungen werden für das vorliegende Forschungsvorhaben solche Konzepte für die Erprobung ausgewählt, die noch nicht untersucht werden und die vor dem Hintergrund des vergleichsweise kurzen Erprobungszeitraumes einen Erkenntnisgewinn versprechen. Unter Beachtung dieser Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung einer realistischen Umsetzbarkeit innerhalb der Laufzeit der Erprobung innerhalb der Projektlaufzeit werden die folgenden Konzepte für eine Pilotanwendung ausgewählt:

- Materialverfolgung (Kapitel 3.4.1)
- Schachtmanagement (Kapitel 3.4.4)
- Ortung von Objekten hoher Wichtigkeit (Kapitel 3.4.5)
- Informationssystem (Kapitel 3.4.6)

## 4 Praxiserprobung

Die Forschungsnehmerin begleitete die Erprobung und führte parallel eigene Untersuchungen der eingesetzten luK-Technik durch, sammelte Daten und Ergebnisse, kontrollierte die vertragsgemäße Durchführung und stand den Auftragsstellen der Pilotanwendungen beratend zur Seite. Nachfolgend wird das Vorgehen bei der Beschaffung erläutert und die Erfahrungen bei der Einführung innovativer Systeme beschrieben.

### 4.1 Auswahl der Praxispartner und Anpassung der Pilotprojekte

Für eine möglichst praxisnahe Erprobung der Identifikations- und Kommunikationstechnologien im laufenden Betrieb war die Forschungsnehmerin auf die Beteiligung von Partnern und Partnerinnen aus den Straßenbauverwaltungen der Länder angewiesen, die sich dazu bereit erklären, die notwendigen Ressourcen über die Dauer der Pilotphase bereitzustellen. Dabei ist es von Vorteil, wenn die Technik bei erfolgreicher Erprobung auch über die Pilotpha-

se hinaus eingesetzt wird und eine Bereicherung für die Praxispartner darstellt.

Im Rahmen der Betreuerkreissitzungen fand mit den leitenden Experten und Expertinnen aus dem Betriebsdienst verschiedener Bundesländer und weiteren Fachleuten aus der Praxis ein reger Austausch statt. Anhand der aktuell bestehenden Herausforderungen konnten relevante Anwendungsgebiete bedarfsorientiert identifiziert werden. Dabei dienten die durch die Forschungsnehmerin erstellten Pilotkonzepte auch als Anregung für weitere vielversprechende Testszenarien.

Für eine erfolgreiche Erprobung müssen die Praxispartner Ressourcen einzelner Meistereien oder Einrichtungen binden, ohne dass der laufende Betrieb dadurch gestört wird. Trotz bestehendem Interesse gegenüber bestimmten Pilotanwendungen verfügen manche Bundesländer derzeit nicht über ausreichend freie Kapazität. Dies führt dazu, dass auf der einen Seite manche vorgeschlagenen Pilotanwendungen nicht erprobt werden konnten, auf der anderen Seite ergaben sich so modifizierte innovative Anwendungsfälle, zugeschnitten auf die Bedürfnisse der Praxispartner. Als Grundlage für die Klärung der Finanzierung sowie die Wahl des Ausschreibungsverfahrens ist eine Kostenschätzung erforderlich, die auf die zur Anwendung kommenden Konzepte bezogen dargestellt und den Beteiligten aus der Praxis zur Verfügung gestellt wurde.

Die Praxispartner stellten daraufhin den Kontakt zu infrage kommenden Meistereien bzw. Einrichtun-

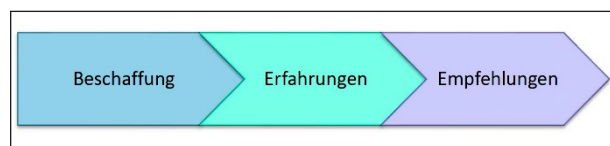


Bild 4-1: Vorgehen (Eigene Darstellung, DRC)



Bild 4-2: Praxispartner für die Pilotanwendungen (Eigene Darstellung, DRC)

gen her, die auch hinsichtlich weiterer Aspekte, wie eingesetzte Fahrzeug- und Gerätetechnik, vorhandene Organisationsstrukturen oder netzstrukturelle Umfeldbedingungen, für eine Pilotierung der jeweiligen Anwendungen geeignet sind.

Ursprünglich waren in dieser Phase auch Besuche der Meistereien und Gespräche mit deren (operativen) Beschäftigten vorgesehen, die aber aufgrund der pandemischen Lage nicht wie geplant stattfinden konnten.

### Zentrallagerverwaltung

Der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg (LSBG) bot die Erprobung eines Systems zur Nachverfolgung von handgeführten Geräten zum Einsatz in einem (Zentral-)Lager an. Das ausgeschriebene System entspricht dem ursprünglichen Entwurf aus der Konzepterarbeitung, bei der die Erprobung der RFID-Technik (stationärer UHF-Reader, Richtungserkennung, Schleusenbetrieb etc.) im Vordergrund steht.

### Werkstattmanagement

Der Landesbetrieb für Straßenbau des Saarlandes (LfS) zeigte Interesse an einem Lagerhaltungs- und Managementsystem zum Einsatz in deren Zentralwerkstatt. Im ersten Schritt wurde der volle Funktionsumfang aus der Konzepterarbeitung (Lagerverwaltung, Leihfahrzeugverwaltung, Auftragsverwaltung usw.) ausgeschrieben. Erst während der Vorstellung der Angebote stellte sich heraus, dass der volle Funktionsumfang zu komplex ist und reduziert werden muss. Das daraus entstandene System beschränkt sich in erster Linie auf die Komponenten der Lagerhaltung (Ein- und Ausgangskontrolle, teilautomatisierte Nachbestellung) mittels QR-Codes/Barcodes.

### Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern

In Kooperation mit der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) wurden auf der AM Hannover und der AM Fallingb. je ein System zur Ortung von Verkehrssicherungsanhängern getestet. Ziel war die Erprobung am Markt erhältlicher Systeme zur Positionsbestimmung mittels GNSS hinsichtlich Genauigkeit und Zuverlässigkeit i. V. m. einer Erfassung der Zustände der Warneinrichtung.

### Entwässerungsmanagement

In der Vorbereitungsphase der Beschaffung stellte sich heraus, dass das Auffinden von Entwässerungseinrichtungen nicht die größte Herausforderung in der Praxis darstellt. Daraufhin wurde anstelle des ursprünglichen Pilotprojekts „Management schwer auffindbarer (Entwässerungs-)Einrichtungen“ zusammen mit der NLStBV der Einsatz einer 3D-Kamera i. V. m. künstlicher Intelligenz beim Management von Entwässerungseinrichtungen getestet. Bisher werden im Straßenbetriebsdienst vor allem Systeme zur Einsatzdatenerfassung eingesetzt, die auf eine breite Palette von Sensoren, Steuerungstechnik und digitalen Endgeräten angewiesen sind. Einbau und Wartung sind mitunter sehr aufwendig, die Systeme sind je nach Funktionsumfang kompliziert und teilweise fehleranfällig. Das Pilotprojekt verfolgt einen alternativen Ansatz zur Erfassung von Leistungen im Straßenbetriebsdienst. Anstelle von Sensoren erfasst eine 3D-Kamera die Umgebung des Fahrzeuges. Eine künstliche Intelligenz identifiziert relevante Vorgänge anhand zuvor festgelegter Muster. Die Fähigkeiten einer KI, die Erkennung solcher Muster zu erlernen, wird anhand von Reinigungsleistungen an Entwässerungseinrichtungen in der Pilotmeisterei untersucht werden.

## 4.2 Beschaffung

### 4.2.1 Auswahl Unternehmen

In Anknüpfung an die Marktrecherche wurden für die jeweiligen Pilotprojekte Unternehmen ermittelt, deren Portfolio möglichst große Überschneidungen mit den Anforderungen verspricht. Neben eigenen Erkenntnissen erfolgte die Zusammenstellung von

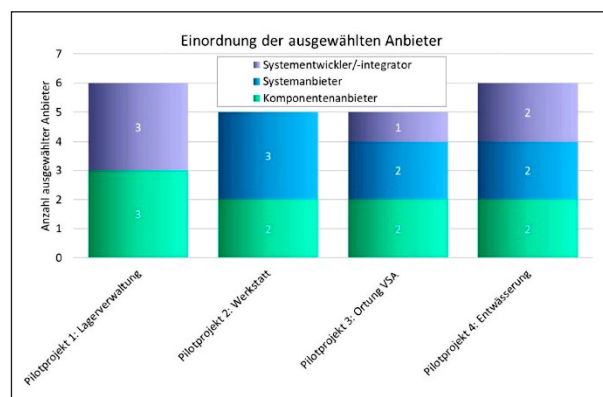


Bild 4-3: Einordnung der zur Angebotsabgabe aufgeforderten Unternehmen (Eigene Darstellung, DRC)

Unternehmen u. a. auf Grundlage von Fachzeitschriften, Erfahrungsberichten von Anwendern sowie Herstellerangaben im Internet und in Prospektmaterial. Die Unternehmen können anhand ihrer primären Ausrichtung in eine der drei folgenden Gruppen eingeordnet werden:

- Systementwickler/-integratoren fokussieren die Softwareentwicklung oder die Zusammenstellung von Komponenten nach Kundenwunsch. Im Entwicklungsprozess werden (eigene oder fremde) Soft- und Hardwareprodukte zusammengestellt, angepasst und erweitert. Solche Unternehmen sind überwiegend flexibel, was die Erfüllung von spezifischen Anforderungen angeht. Da hier der Gestaltungsspielraum am größten ist, können die Anbieter bei der Priorisierung von Anforderungen mit ihrem Spezialwissen umsetzungsorientiert beraten. Der (Entwicklungs-) Aufwand und die daraus entstehenden Kosten sind i. d. R. höher als bei vorgefertigten Systemlösungen, dafür bestehen hier weitreichende Möglichkeiten, auf das bestellte Endprodukt und ganz konkret den Lieferumfang (keine ungewollten/nicht benötigten Funktionalitäten) Einfluss zu nehmen.
- Systemanbieter vertreiben i. d. R. eine vorgefertigte Komplettlösung für einen bestimmten Anwendungsfall (z. B. Werkstattmanagement). Die Anpassungsmöglichkeiten bestehen häufig in der Auswahl und Zusammenstellung von einzelnen (Hard- und Software-)Bausteinen mit dazugehörigen Schnittstellen. Grundlage solcher modularen Lösungen sind Basisanwendungen, die entsprechend (proprietär) erweitert werden können. Diese Module sind zwar i. d. R. weitgehend unabhängig voneinander erhältlich, dennoch entfalten solche Systeme ihr volles Potenzial erst ab einer gewissen Größenordnung, bei der Synergien und Schnittstellen der einzelnen Module untereinander zum Tragen kommen. Eine Integration/Implementierung in Bestandssysteme anderer Hersteller muss im Einzelfall überprüft werden.
- Komponentenanbieter vertreiben vor allem Hardwareelemente (ggf. mit zugehöriger Software) unabhängig vom konkreten Anwendungsfall. Die Zusammenstellung zu einer Systemlösung, die Konfiguration der Komponenten oder deren Einbau erfordert je nach Komplexität besonderes Fachwissen (z. B. Kompatibilität verschiedener Hersteller, Schnittstellen). Das Produktangebot eignet sich insbesondere bei der

Erweiterung von bestehenden Systemen, z. B. zur Integration zusätzlicher RFID-Scanner in einem Warenwirtschaftssystem oder bei vergleichsweise einfachen Anwendungen, wie dem Einbau von GPS-Trackern. Das Zusammenstellen von Komponenten zu einem umfangreichen Gesamtsystem übernehmen i. d. R. Dritte (z. B. Systemintegrator).

Die Übergänge dieser Klassifizierung sind fließend, so arbeiten Systemintegratoren häufig mit mehr oder weniger elementaren Bausteinen um den Entwicklungsprozess effizient zu gestalten. Komponentenanbieter und insbesondere Systemanbieter werben mitunter mit maßgeschneiderten Lösungen, die tatsächlichen Anpassungsmöglichkeiten variieren aber stark, je nach Unternehmen und Auftragsvolumen. Größere Unternehmen decken teilweise mehrere Ausrichtungen in unterschiedlichen Abteilungen ab oder arbeiten in entsprechenden Partnerschaften zusammen.

Die zur Angebotsabgabe aufgeforderten Anbieter kommen aus unterschiedlichen Branchen, nur wenige verfügen über Erfahrung bei der Zusammenarbeit mit dem Straßenbetriebsdienst. Je nach Pilotprojekt liegen die ursprünglichen Tätigkeitsfelder u. a. in der Industrie, Lager und Logistik, Warenwirtschaft, Kfz-Werkstätten oder der Baustellensicherung und -überwachung.

#### 4.2.2 Ausschreibung

Während der Vergabevorbereitung wurden durch die Forschungsnehmerin Vergabeunterlagen, bestehend aus Leistungsbeschreibung und Leistungsverzeichnis zusammengestellt und den jeweiligen anbietenden Unternehmen als Grundlage für die Angebotsabgabe übermittelt. Die zuvor durchgeführte Grundlagenerhebung und die Marktrecherche zeigen, dass i. d. R. unterschiedliche Lösungsansätze zur Umsetzung der beschriebenen Konzepte verfolgt werden können. Eine zu spezifische Beschreibung von technischen Komponenten birgt das Risiko, dass Anbietende alternativer Lösungswege im Vorfeld ausgeschlossen werden. Zu unkonkrete Vorgaben erschweren den Anbietenden dagegen die Kalkulation, was sich in ungewollten Risikoaufschlägen widerspiegelt. Da die Identifikation von Komponenten im Sinne eines eindeutigen, widerspruchsfreien und erschöpfenden Leistungsverzeichnisses unter diesen Umständen eine Herausforderung darstellt, ist eine ergänzende Leistungsbeschreibung von besonderer Bedeutung. Die

Leistungsbeschreibung enthält eine Darstellung der gewünschten Funktionalitäten unter Einsatz einer bestimmten Technologie.

Es muss im Detail geklärt werden, inwieweit vorhandene Standardausstattung (z. B. Diensttelefone) in die Pilotanwendung eingebunden werden können, ohne den laufenden Geschäftsbetrieb durch die Implementierung übermäßig einzuschränken. Um den nötigen Gestaltungsfreiraum zu gewährleisten, wurden für solche Standardhardware Wahlpositionen im LV eingeführt. Damit besteht für den Auftraggeber bei Auftragserteilung die Möglichkeit, je nach Preisangebot und Machbarkeit eine Entscheidung zu treffen, z. B. ob ein bestehender Server im Rahmen des Pilotprojektes erweitert und mitbenutzt werden kann oder neu angeschafft werden muss. Wahlpositionen wurden auch für bestimmte Softwarebausteine eingeführt, z. B. bei Funktionen, die sowohl als Desktop-Programmlösung als auch als Online-Anwendung infrage kommen. Über solche Softwarebausteine und Standardhardware hinaus enthalten die Leistungsverzeichnisse je nach Pilotprojekt zusätzlich spezifische Hardware, die nur für das erprobte System benötigt wird, ggf. die Digitalisierung von Unterlagen, die Integration digitaler Systeme (z. B. GIS) sowie Bedienschulungen und Supportleistungen.

Die Ausschreibung erfolgte zunächst seitens der Praxispartner in Eigenverantwortung über deren übliche Kanäle bzw. durch direktes Anschreiben im Rahmen eines freihändigen Vergabeverfahrens. In den meisten Fällen fielen die Rückmeldungen eher zögerlich und zurückhaltend aus. Nachfragen bei einigen Unternehmen ergaben, dass die Vergabeunterlagen teilweise nicht eingegangen waren, intern nicht zugeordnet werden konnten oder nicht an die zuständigen Stellen weitergeleitet wurden. In solchen Fällen wurde die erneute Übermittlung der Ausschreibungsunterlagen um ein Anschreiben ergänzt. Das Anschreiben setzt das Vorhaben in den Kontext des Forschungsauftrages der Bundesanstalt für Straßenwesen, weist auf die angestrebten Ziele und insbesondere die Gelegenheit hin, neue Einsatzgebiete zu erschließen. Daraufhin gingen vermehrt Rückmeldungen ein, sodass schließlich für alle Pilotprojekte vielversprechende Angebote eingeholt werden konnten.

#### 4.2.3 Angebote

Für sämtliche Pilotprojekte wurden die eingegangenen Angebote gesichtet und gewertet. Ausschlag-

gebend war dabei in erster Linie die Erfüllung der ausgeschriebenen Leistung im wirtschaftlichen Rahmen, aber auch weitere Überlegungen bzgl. Komplexität des Systems, Folgekosten oder Anpassungsaufwand innerhalb der sechsmonatigen Pilotanwendung. Außerdem erfolgte eine grundsätzliche Einschätzung der anbietenden Unternehmen anhand der Angebotsunterlagen.

Die Vergabeentscheidung oblag den Vergabestellen der jeweiligen Praxispartner. Hierzu wurden die Angebote dahingehend eingeschätzt, wie viele der in den Ausschreibungsunterlagen geforderten Funktionalitäten erfüllt werden und ob sie geeignet erschienen, die primären Ziele der Pilotanwendung zu erreichen. Dabei ist es von Vorteil, wenn bereits etablierte System(-komponenten) angeboten werden und wenig Entwicklungsaufwand erforderlich ist, damit während der Pilotphase nicht die Erfüllung der angebotenen Leistung im Vordergrund steht, sondern der Fokus auf die Anwendung durch den Straßenbetriebsdienst (Nutzen/Auswirkungen) gelegt werden kann. Eine zusammenfassende Beschreibung der einzelnen Angebote bzgl. Inhalt, Umfang und Schlüssigkeit sowie die Ergebnisse der Angebotsauswertung wurden für die Praxispartner als Entscheidungshilfe aufbereitet und zur Verfügung gestellt.

Bei Bedarf wurden Videokonferenzen zwischen Anbietenden und Auftraggebern vereinbart, in denen die angebotene Lösung vorgestellt und Fragen beantwortet werden konnten.

### 4.3 Erfahrungen

#### 4.3.1 Anpassung der Pilotprojekte und Anforderungsdefinition

Vereinzelt wurden nicht sämtliche Anforderungen, die aus Leistungsbeschreibung und -verzeichnis hervorgehen, im angestrebten wirtschaftlichen Rahmen angeboten. Die Frage, ob alle angestrebten Teilfunktionalitäten (auch solche von untergeordneter Bedeutung) erfüllt werden sollen, wenn dies einen erheblichen Entwicklungsaufwand bzw. Mehrkosten bedeutet, sorgt prinzipiell für ein Spannungsfeld bei der Erstellung eines Angebots. Einige Unternehmen lösten dieses Problem, indem sie ihr Angebot abstufen und Teile für eine optionale oder nachträgliche Beauftragung ausgliederten. Solche Abweichungen wurden wiederum bewertet und mit den Auftraggebern kommuniziert (vgl. Kapitel 4.2.3).



Maßgeschneiderte Lösungen werden bspw. eher in der Industrie 4.0 und in größeren Warenlagern umgesetzt. Der Unterschied zu den neuen Anwendungsgebieten im Straßenbetriebsdienst besteht darin, dass hier häufig wechselnde und teils extreme Randbedingungen einwirken, die sich nicht ohne Weiteres beschreiben lassen, während die äußeren Einflüsse auf IuK-Technik innerhalb industrieller Abläufe meistens klar definiert werden können (z. B. Temperatur). Wo unterschiedliche Menschen mit unterschiedlichen Gewohnheiten mit IuK-Technik interagieren, treten vermehrt Unwägbarkeiten auf. Bedienkomfort und Verständlichkeit spielen eine Rolle.

Erste Auswertungen zeigen, dass Randbedingungen und Anforderungen nicht unverändert von der freien Wirtschaft auf den öffentlichen Dienst übertragen werden können: Während z. B. in der Logistikbranche die zentrale Echtzeit-Überwachung von Standort, Lenk- und Pausenzeiten keine Seltenheit darstellt, ist eine solche Kontrolle der Beschäftigten im öffentlichen Dienst häufig nicht erwünscht.

Trotz umfassender konzeptioneller Überlegungen im Vorfeld und intensiver Marktbeobachtung konnte nicht ausgeschlossen werden, dass erst in der Testphase ein zusätzlicher Bedarf an Verbesserungen oder Anpassungen entsteht oder ganz neue Einsatzmöglichkeiten erkannt werden.

### 4.3.2 Auswahl Unternehmen

Die Beschaffung hat gezeigt, dass eine Nähe der Anbietenden zum Straßenbetriebsdienst nicht zwangsläufig erforderlich ist. Auch solche Unternehmen, die bis dahin nicht in dieser Branche aktiv waren, gaben Angebote ab.

Es hat sich ebenfalls gezeigt, dass auch bei großer Übereinstimmung der etablierten Anwendungsbereiche mit den angestrebten im Betriebsdienst (z. B. RFID-gestützte Eingangs- und Ausgangskontrolle) teils große Hürden bei der Übertragbarkeit auftreten. Insbesondere bei Systemanbietern und Systemanbieterinnen konnte festgestellt werden, dass die Produkte stark für den vorgesehenen Einsatzbereich ausgelegt und optimiert sind. Von dieser Konfiguration abzuweichen bzw. solche Systeme anzupassen wird oft als nicht lukrativ wahrgenommen, insbesondere bei vergleichsweise geringer Abnahmemenge. In solchen Fällen sahen sich die Unternehmen eher als Komponentenanbieter. Dies ist trotz intensiver Marktrecherche nicht immer vorhersehbar.

Insbesondere in einem freihändigen Vergabeverfahren können die Chancen, ein vielversprechendes Angebot zu erhalten, sowohl durch die Auswahl von Firmen unterschiedlicher Anbietergruppen, als auch durch die Anzahl an Unternehmen, die zur Abgabe eines Angebots aufgefordert werden, beeinflusst werden. Vor allem bei neu konzipierten Anwendungsfällen erfordert dies eine gründliche Marktrecherche im Vorfeld.

Im Pilotprojekt zur Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern ging der Zuschlag für die Erprobung einer der beiden Lösungen an eine Komponentenanbieterin, der zweite an eine Systemanbieterin. Die beiden Systeme unterscheiden sich in ihrem jeweiligen Lösungsansatz, ihrer Komplexität und im Angebotsumfang.

Im Pilotprojekt zur Lagerverwaltung gingen trotz intensiver Gespräche keine Angebote von Systemanbietern oder Systemanbieterinnen ein, den Auftrag erhielt eine Systementwicklerin/-integratorin. Die Lieferung von Einzelteilen durch Komponentenanbieter hätte in diesem Fall nicht nur Fachwissen über die Technologie selbst, die Einsatzgrenzen und die Kompatibilität der Komponenten untereinander erfordert, sondern auch einen fachgerechten Einbau vor Ort sowie das Entwickeln von Software- und Datenbanklösungen. Dieses ist i. d. R. nicht in Eigenleistung abbildbar und mit hohen Risiken behaftet.

Die Angebotslage und die Auswertung der Rückmeldungen ermöglicht Rückschlüsse auf die Zusammenhänge zwischen Projekteigenschaften und zuschlagserhaltender Anbietergruppe. Diese Erkenntnisse können bei der Auswahl geeigneter Unternehmen zukünftig von Nutzen sein. Eine Nähe zum Straßenbetriebsdienst spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Es hat sich gezeigt, dass das Maß an Komplexität und Innovation der Projekte ausschlaggebend für die Angebotslage und die Ausrichtung der Anbieter ist.

Lediglich bei Projekten, die bzgl. Innovation und Komplexität so übersichtlich sind, dass die Auswahl, die Verknüpfung und die Inbetriebnahme einzelner Komponenten auch für Dritte (z. B. durch die Projektbegleitung oder Beschäftigte der Meisterei) machbar ist, kommen reine Komponentenanbieter zur Bereitstellung der Technik infrage. Bei komplexen und umfangreichen Anforderungen kommen insbesondere Systemanbieter infrage, die bereits über ein entsprechendes System verfügen und dieses vor Ort ohne größeren Entwicklungsaufwand in

Betrieb nehmen. Innovative Systeme, die so noch nicht am Markt sind, müssen neu entwickelt und in den Bestand integriert werden. Eine solche Leistung bieten i. d. R. nur Systementwickler/-integratoren an, die auch zu umfangreichen Anpassungen bis hin zur Neuentwicklung nach Kundenwunsch im wirtschaftlichen Rahmen in der Lage sind.

### 4.3.3 Ausschreibung

Sämtliche Ausschreibungen konnten im Rahmen einer freihändigen Vergabe stattfinden. Diese zeichnet sich durch ein gewisses Maß an Flexibilität aus und eignet sich deshalb besonders für Pilotprojekte mit geringem Auftragsvolumen.

Es hat sich gezeigt, dass es bei Auftragsvolumen, die für Unternehmen von untergeordnetem Interesse sind, eines gewissen Aufwandes bedarf, dennoch attraktive Angebote zu erhalten. Einige der größeren angeschriebenen Unternehmen, die über ausreichend Ressourcen und Know-how verfügen, um auch komplexe individuelle Anforderungen durch Entwicklungs- und Anpassungsaufwand zu erfüllen, verzichteten mit Verweis auf das geringe Auftragsvolumen auf die Abgabe eines Angebots.

Das Vorgehen bei der Ausschreibung der Pilotprojekte zeigt, dass die Wahl des Kommunikationsweges und die des Adressaten der Unterlagen essentiell ist. Im ersten Schritt veröffentlichten die Verwaltungen die vorbereiteten Vergabeunterlagen über die üblichen Kommunikationswege bzw. übermittelten diese an die offiziellen (Post-)Adressen der ausgewählten Unternehmen. Daraufhin gingen größtenteils keine Angebote ein, häufig erfolgte keinerlei Rückmeldung. Nachforschungen ergaben, dass die meisten der Unternehmen den Straßenbetriebsdienst nicht als Zielgruppe wahrnehmen und sich durch die Randbedingungen nicht angesprochen fühlten. Darüber hinaus erreichten die Unterlagen wider Erwarten nicht immer die zuständige Empfangsstelle rechtzeitig. Die zügige Zuordnung scheiterte mehrfach an firmeninternen Verteilmechanismen größerer Unternehmen, die mehrere Schwerpunkte in unterschiedlichen Abteilungen abdecken (RFID-Systemintegration, Entwicklungsabteilung etc.). Dies erschwert die Wahl des Adressaten zusätzlich.

Im zweiten Schritt kontaktierte die Forschungsnehmerin die Unternehmen proaktiv und informierte über das Vorhaben. Dadurch konnten Kontakte zu den jeweils zuständigen Stellen geknüpft werden.

Diese Stellen erhielten infolge dessen die Angebotsunterlagen auf direktem Weg, ergänzt um ein Anschreiben mit der Bitte um die Abgabe eines Angebotes. Das Anschreiben setzt das Vorhaben in den Kontext des Forschungsauftrages der Bundesanstalt für Straßenwesen und weist auf die angestrebten Ziele hin und insbesondere die Gelegenheit, neue Einsatzgebiete zu erschließen.

Vereinzelt kamen Unternehmen nach der Durchsicht der Ausschreibungsunterlagen und Abgleich mit deren Standard-Softwarekomponenten zu dem Schluss, dass die Anforderungen nicht ohne größeren, für ein Projekt dieser Größe nicht wirtschaftlichen, Anpassungsaufwand erfüllt werden können. Auch mehrere Komponentenhersteller verzichteten auf die Abgabe eines Angebots mit dem Verweis auf zu geringe Stückzahlen, so betrug die Mindestmenge für geeignete RFID-Transponder in mehreren Fällen über 100.

Einzelne Anbietende (Systementwickler/-integratoren) empfanden die Ausschreibungsunterlagen trotz Leistungsbeschreibung als unscharf, was dem in Kapitel 4.2.2 beschriebene Kompromiss bzgl. Detaillierung im Leistungsverzeichnis geschuldet ist. In solchen Fällen wurden durch die Forschungsnehmerin intensive Gespräche mit den Anbietenden geführt, Rückfragen beantwortet und benötigte Zusatzinformationen bereitgestellt. Üblicherweise sind in solchen Fällen auch Besuche vor Ort und Machbarkeitsprüfungen Teil der Angebotsentscheidung. Diese konnten aufgrund der zu dieser Zeit geltenden Kontaktbeschränkungen nicht oder nur stark eingeschränkt stattfinden.

Andere Anbietenden sahen eine umfassende Übereinstimmung der geforderten Leistung mit ihrem Angebot (z. B. beim Pilotprojekt zur Positionsbestimmung von VSA) und waren in der Lage, die benötigten Komponenten innerhalb kurzer Zeit bereitzustellen.

### 4.3.4 Angebote

Die abgegebenen Angebote unterscheiden sich teilweise stark in Umfang und Preis, erfüllen aber alle zumindest einen Großteil der Funktionalitäten. Dabei zeigt sich, dass Systemanbieter im Vergleich mit Systementwickelnden/-integrierenden i. d. R. erheblich günstigere Angebote für das gleiche Projekt abgeben. In den Fällen, in denen der Lösungsweg nicht ausreichend nachvollzogen werden konnte, wurde dieser durch konkrete Nachfragen beim je-

weiligen Anbietenden plausibilisiert. Für sämtliche Pilotprojekte konnten vielversprechende Angebote innerhalb des kalkulierten Rahmens eingeholt werden.

Im Falle der Pilotprojekte zur Nachverfolgung handgeführter Geräte sowie zum Management schwer auffindbarer (Entwässerungs-)Einrichtungen wurden jeweils sechs Unternehmen zur Abgabe eines Angebotes aufgefordert, davon ging nur ein Angebot je Pilotprojekt ein. Mangels weiterer Angebote ist kein Vergleich möglich, es kann jedoch geschlossen werden, dass es nur wenige Systeme am Markt gibt, die mit wirtschaftlich vertretbarem Anpassungs- und Entwicklungsaufwand geeignet sind, die Anforderungen im Rahmen einer nur sechsmonatigen Pilotanwendung zu erfüllen. Gestützt wird diese These dadurch, dass bereits im Zuge der Marktrecherche keine vielversprechenden Systemanbieter ermittelt werden konnten.

### **Zentrallagerverwaltung**

Das Angebot für die Nachverfolgung handgeführter Geräte wurde infolge von Verhandlungen mit der Anbieterin mehrstufig aufgebaut (vgl. Kapitel 4.3.1). In der ersten Phase soll das grundlegende System für eine kontrollierte Geräteentnahme bereitgestellt werden. Dieses umfasst den Aufbau einer Schleuse, Erkennung der Geräte sowie die Zuordnung von Personal und Zeit. Zusätzliche Funktionalitäten wie eine Datenbank für Zusatzinformationen (Wartungshinweise, Prüfindervalle etc.) sowie ein Webportal mit unterschiedlichen Zugriffsebenen und weiteren Funktionen (Bestellung, Vorrätigkeit etc.) sind mögliche Bestandteile optionaler Folgeaufträge.

### **Werkstattmanagement**

Für das Pilotprojekt „Werkstattmanagement“ wurde von dem Auftraggeber eine Liste solcher Materialien bereitgestellt, die entweder häufig aus Gebinden/Packungen entnommen werden, öfters zur Neige gehen, gelegentlich nicht mehr aufzufinden sind, häufig verbaut werden oder aufgrund hoher Kosten nicht verloren gehen dürfen. Aufgrund von Bedenken bzgl. Komplexität und Anwenderfreundlichkeit seitens des Praxispartners wurde für das Pilotprojekt „Werkstattmanagement“ mit einer Anbieterin ein Vorstellungstermin vereinbart, um Einblicke in die Funktionalitäten und Abläufe zu erhalten. Da die Bedenken nicht ausgeräumt werden konnten, fiel

die Wahl schließlich auf ein alternatives System mit geringerem Funktionsumfang.

### **Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern**

Für das Pilotprojekt „Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern“ wurden zwei Angebote abgegeben, die sich sowohl in der eingesetzten Technik als auch im Preis erheblich unterscheiden. Ein Angebot verspricht eine hochpräzise Positionsbestimmung unter Zuhilfenahme von Korrekturverfahren und die automatische Erkennung des Zustands der Warneinrichtung (aufgeklappt/zugeklappt). Die Schaltzustände von Richtungspfeil und Blinkpfeil sollen im Rahmen des Pilotprojektes über ein Tablet manuell eingegeben werden. Das zweite Angebot umfasst ein offenes, flexibel einsetzbares System, bei dem vier frei nutzbare Eingänge zur Erfassung von Schaltzuständen zur Verfügung stehen. In Abstimmung mit der Praxispartnerin wurde im Sinne des Forschungsauftrages eine parallele Erprobung der beiden Systeme auf unterschiedlichen Pilotmeistereien vereinbart.

### **Entwässerungsmanagement**

Das ursprüngliche Angebot für das Management von Entwässerungseinrichtungen umfasste ein System zur Erfassung sämtlicher Aktivitäten an Sinkkästen oder Haltungen, inklusive Verortung und die Übergabe der Daten an ein GIS-System. Infolge von Gesprächen mit den Beschäftigten der Pilotmeisterei und Verhandlungen mit der Systemanbieterin entwickelte sich ein alternatives Anwendungsfeld mit besonders innovativem Charakter und weitreichendem Potenzial für die Anwendung im Straßenbetriebsdienst. Dabei handelt es sich um den Einsatz einer 3D-Kamera i. V. m. einer künstlichen Intelligenz (KI). Das System soll während der Pilotphase an einem Kehr-/Saugfahrzeug der Pilotmeisterei installiert und während der Testphase zur Erfassung von Reinigungsleistungen an Entwässerungseinrichtungen eingesetzt werden. Im Sinne des Forschungsvorhabens wurde in gegenseitigem Einvernehmen beschlossen, den neuen Lösungsansatz zu testen. Daneben ist die Verortung und die verbesserte Auffindbarkeit von Entwässerungseinrichtungen weiterhin Bestandteil der angebotenen Leistung.

## 5 Pilotprojekte

### 5.1 Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern System 1

Das System 1 kam von einer Firma, die Produkte zur mobilen und digitalen Datenerfassung mit Anwendung im öffentlichen Dienst, in der Forstwirtschaft und bei der Gewässerverwaltung führt. Haupteinsatzgebiet der Produkte ist eigenen Angaben zufolge der Straßenbetriebsdienst, dazu liegen positive Erfahrungsberichte unterschiedlicher Stellen vor.

#### 5.1.1 Vorbereitung und Einbau

Durch die Auftragnehmerin wurden auf der Meisterei vier Verkehrssicherungsanhänger mit einem System zur Positionsbestimmung ausgestattet und in einem Montagebericht protokolliert. Bild 5-1 zeigt eine schematische Darstellung von Fahrzeug, Verkehrssicherungsanhänger und den eingebauten Systemkomponenten, bestehend aus GPS-Modul, Funksensor und Tablet. Ein Ausschnitt aus dem Montagebericht mit diesen Systemkomponenten ist in Bild 5-2 zu sehen. Der Auftragnehmerin wurde im Vorfeld eine Liste der zur Verfügung stehenden Sicherungs- und Vorwarnanhänger nebst Herstellerangaben übermittelt.

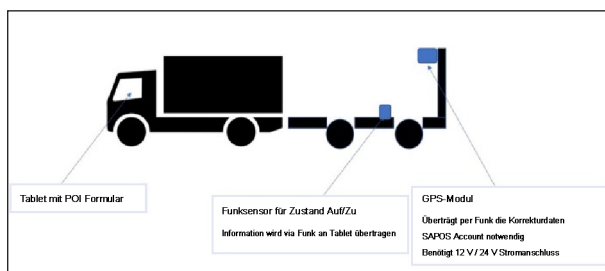


Bild 5-1: Darstellung von Fahrzeug, Verkehrssicherungsanhänger und Systemkomponenten (Eigene Darstellung in Anlehnung an Angebot Bieter, DRC)

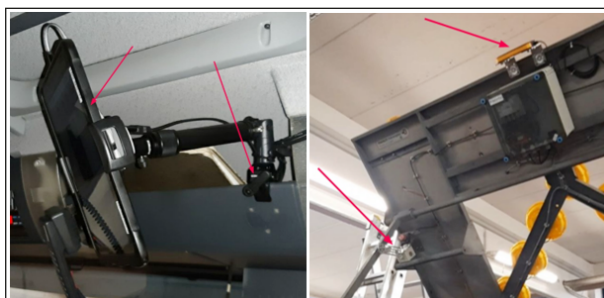


Bild 5-2: Dokumentierte Montage der Systemkomponenten (netwake)

#### 5.1.2 Funktionalitäten

Der Zustand der Warneinrichtung (aufgeklappt/zugeklappt) wird automatisch erfasst. Die Schaltzustände von Richtungspfeil und Blinkpfeil werden über ein Tablet manuell eingegeben. Die Bedienoberfläche der App zeigt Bild 5-3. In einem von der Auftragnehmerin bereitgestellten Webportal können aktuelle und historische Positionen der Verkehrssicherungsanhänger sowie die Zustände von Richtungspfeil und Blinkpfeil angezeigt werden (Bild 5-4). Diese Daten können in verschiedenen Datenformaten exportiert werden.

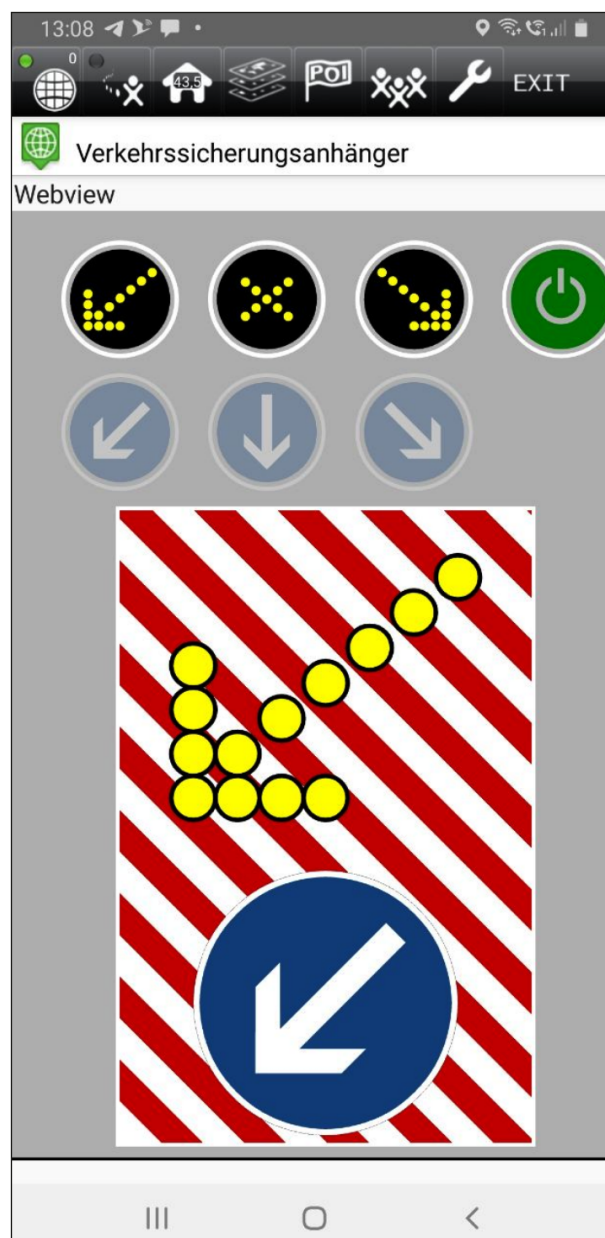


Bild 5-3: App zur Eingabe der Schaltzustände von Richtungspfeil und Blinkpfeil (netwake)

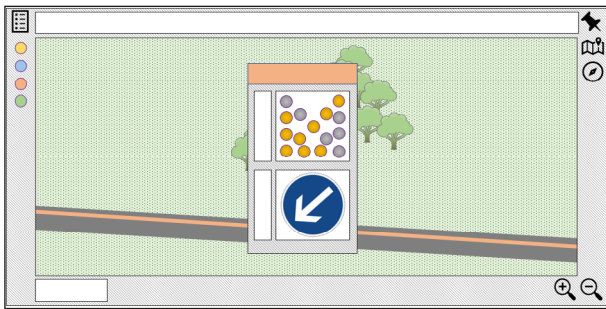


Bild 5-4: Webportal-Darstellung (Systemskizze)

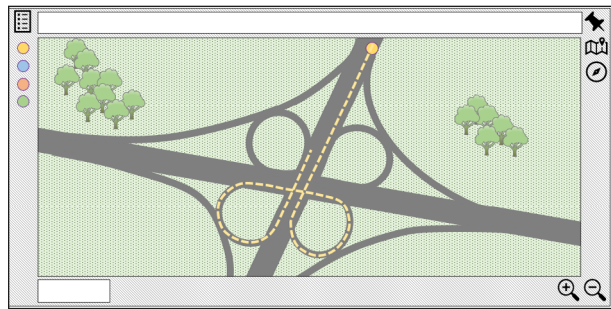


Bild 5-5: Präzise und fahrfstreifengenaue Darstellung der Position im Webportal (Systemskizze)

### 5.1.3 Ergebnisse

Die automatische Erfassung des Zustands der Warneinrichtung (aufgeklappt/zugeklappt) sowie die manuelle Eingabe der Schaltzustände für Richtungspfeil und Blinkpfeil funktionierten zuverlässig. Nach Angaben der Auftragnehmerin können diese Schaltzustände bei vorhandener und freigeschalteter Schnittstelle auch automatisch erfasst werden. In diesem Pilotprojekt wurde dieses Verfahren aus Kostengründen nicht verfolgt, für den Produktivbetrieb wird es jedoch aus arbeitserleichternden Gründen empfohlen.

Das Webportal ist übersichtlich gestaltet und die Bedienung weitgehend intuitiv. Die Darstellung der Position des Verkehrssicherungsanhängers erfolgte teilweise fahrfstreifengau (Bild 5-5). Jedoch wurden vermehrt auch Sprünge zu Positionen abseits des Streckennetzes dokumentiert (Bild 5-6). Stellenweise konnte der Fahrtverlauf nur schwer nachvollzogen werden, da räumlich weit auseinanderliegende Positionen linear zu Streckenverläufen verbunden wurden (Bild 5-7).

Das Potenzial des von der Auftragnehmerin bereitgestellten Systems ist deutlich erkennbar und nach Behebung der noch vorhandenen Schwächen sind viele Einsatzmöglichkeiten im Straßenbetriebsdienst denkbar.

Die Steuerung der Schaltzustände des Verkehrssicherungsanhängers kann auch über eine freigeschaltete Schnittstelle erfolgen und daher in ein anderes System integriert werden. Über ein beispielsweise vorhandenes Tablet für eine Einsatzdatenerfassung kann somit auch die Steuerung des Verkehrssicherungsanhängers erfolgen. Die Anzahl von Bedienpulten kann somit reduziert werden. Daher empfiehlt sich bei Erwerb von neuen Verkehrssicherungsanhängern die Freischaltung der vorhandenen Schnittstellen.

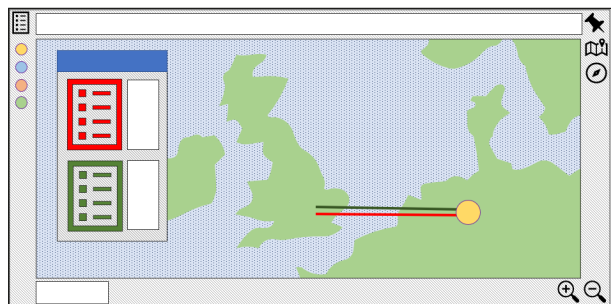


Bild 5-6: Darstellung von Sprüngen über weite Entfernungen im Webportal (Systemskizze)

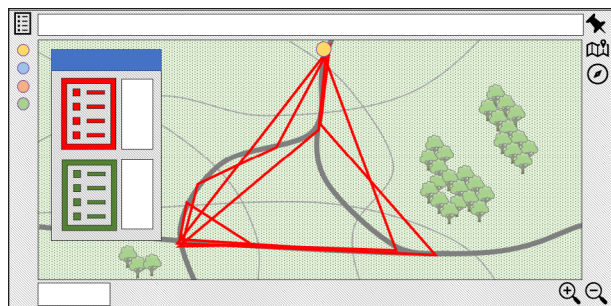


Bild 5-7: Darstellung von unübersichtlichen Streckenverläufen (Systemskizze)

## 5.2 Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern System 2

Das System 2 kam von einer Firma, die Datenerfassungs- und Trackingsysteme, u. a. für das Fuhrparkmanagement, zu Abrechnungszwecken und zum Diebstahlschutz für Fahrzeuge, Baumaschinen und Anbaugeräte im Baugewerbe oder bei der Maschinenvermietung entwickelt und liefert. Das angebotene System für die Positionsbestimmung von Verkehrssicherungsanhängern umfasst Standardkomponenten (Datentracker), die ab Lager lieferbar sind und keines zusätzlichen Entwicklungs-/Anpassungsaufwandes bedürfen.

Obwohl das System keine fahstreifengenaue Positionsangabe zulässt, wurde das System aufgrund seiner Einfachheit und Robustheit bei geringen Anschaffungskosten zusätzlich für den Pilotbetrieb ausgewählt. Ziel des Pilotbetriebs war die Erprobung des Systems auf Eignung in alternativen Einsatzgebieten im Straßenbetriebsdienst, wie beispielsweise die Positionsbestimmung mobiler Lichtsignalanlagen.

### 5.2.1 Einbau und Inbetriebnahme

Die Systemkomponenten nebst Einbauanleitung und Handbuch wurden durch die Anbieterin vorbereitet und versendet. Der Einbau in die drei Verkehrssicherungsanhänger erfolgte durch den Schlosser der Meisterei und war ohne Komplikationen möglich. Die Erfassung der Schaltzustände des Verkehrssicherungsanhängers wurde aus Kostengründen nicht umgesetzt, wäre jedoch technisch grundsätzlich möglich. Ein weiteres System wurde durch einen Mitarbeiter der Forschungsnehmerin in einen privaten Pkw eingebaut, um zusätzliche Tests durchzuführen.

### 5.2.2 Funktionalitäten

Die Erfassung von Schaltzuständen über die vier frei nutzbaren Eingänge und die Übertragung zum Server wurden durch die Forschungsnehmerin am Fahrzeug des Mitarbeiters getestet. In einem zugangsbeschränkten Webportal können die Einsatzdaten als Protokoll (z. B. Fahrstreckenreport Bild 5-8) angezeigt werden. Auch der Export der Einsatzdaten ist in verschiedenen Formaten möglich. Es erfolgt keine Plausibilisierung im Sinne einer gefahrenen Route.

Im Webportal lassen sich die aufgezeichneten Fahrstrecken und die aktuelle Position anzeigen. Bewegt sich das Fahrzeug, so wird die Position jede Minute erfasst, bei Bedarf kann diese Zeit auf 15 s

Zeit	Eingang2	Eingang3	Ort	Straße
10:09			Start 22.03.21	
10:09	aus	an	41334 Nettetal	Sittard 13
10:10	aus	an	41334 Nettetal	Kempener Straße 2
10:11	aus	an	41334 Nettetal	Steegerstraße 19A
10:12	aus	an	41334 Nettetal	Niedieckstraße 56
10:42	aus	an	41334 Nettetal	K1 27

Bild 5-8: Fahrstreckenreport (Systemskizze)

verringert werden. Steht das Fahrzeug, so werden keine Positionsdaten erfasst.

Es besteht die Möglichkeit, Warnmeldungen (auch über SMS) zu generieren, z. B. bei Verlassen eines definierten Arbeitsbereiches oder bei Lageveränderungen (Schocksensor) während definierter Ruhezeiten.

Die Schaltzustände der vier Eingänge und der Batteriespannungsverlauf lassen sich je Gerät und Zeitraum filtern und anzeigen. Betriebsstunden werden je Eingang erfasst. Damit lassen sich auch definierte Serviceintervalle überwachen und Wartungsarbeiten rechtzeitig einplanen.

### 5.2.3 Ergebnisse

Die Erprobung ergab, dass die Praxistauglichkeit des Systems grundsätzlich für Anwendungen im Betriebsdienst gegeben ist. Das System funktioniert wie beschrieben, die Anforderungen wurden erfüllt. Das System ist einfach und wenig fehleranfällig.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung liegt häufig innerhalb weniger Meter. In Einzelfällen betragen die Abweichungen bis zu 25 m von der tatsächlichen Position. Bild 5-9 zeigt einen Ausschnitt aus einer Fahrstrecke, die auf Grundlage von exportierten Positionsdaten erstellt wurde. Je Minute liegt ein Datensatz mit Position und Uhrzeit vor.

In Bild 5-10 sind die Fahrzeugpositionen während einer Testfahrt in einem städtischen Gebiet dargestellt. Auch wenn die Fahrzeugposition nur einmal je Minute erfasst wird, lässt sich auf die ungefähre Fahrstrecke der Testfahrt schließen.

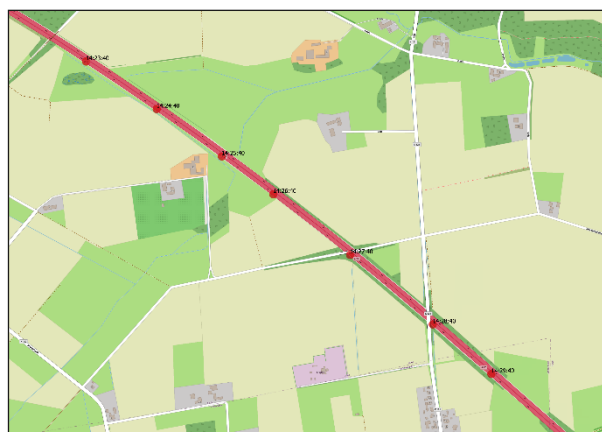


Bild 5-9: Fahrzeugposition 1 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)

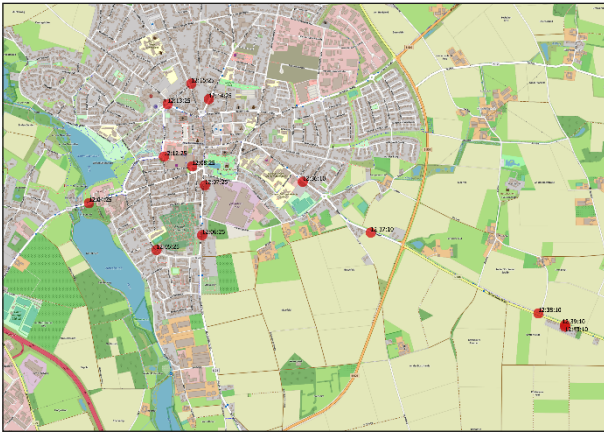


Bild 5-10: Fahrzeugposition 2 (Kartengrundlage: © Open-StreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)

KW	Wochentag	Start	Stop	Total	Effektiv - Eingang3																				
2021 - 21	24.05.21 - Montag	11:39	13:07	01:28	00:36	▼																			
2021 - 21	25.05.21 - Dienstag	09:57	17:19	07:21	01:23	▼																			
2021 - 21	26.05.21 - Mittwoch	09:45	16:51	07:05	00:15	▼																			
2021 - 21	27.05.21 - Donnerstag	09:36	19:26	09:49	01:50	▼																			
2021 - 21	28.05.21 - Freitag	10:08	18:49	08:40	01:22	▼																			
<b>Stunde</b>		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2021 - 21	29.05.21 - Samstag	10:14	14:35	04:21	01:54	▼																			
2021 - 21	30.05.21 - Sonntag	11:21	13:12	01:50	01:28	▼																			
		<b>Gesamt</b>		<b>40:34</b>	<b>08:48</b>																				

Bild 5-11: Wochendaten (Screenshot aus projekt-spezifischem Webportal)

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist für die Auffindbarkeit des Fahrzeugs (im Anwendungsfall beispielsweise eine mobilen Lichtsignalanlage) in jedem Fall hinreichend.

Bild 5-11 zeigt die Darstellung der Betriebsdaten einer Kalenderwoche im Webportal. Aufgeführt wird die Betriebszeit je Wochentag des Fahrzeugs (Total), die Start- und Stopzeit sowie die Zeitdauer, an dem der ausgewählte Eingang (hier Eingang 3) aktiv war. Die aufgeklappte Stundenübersicht für den Freitag zeigt an, zu welcher Stunde das Fahrzeug mit der angegebenen Zeitdauer aktiv war.

## 5.3 Entwässerungsmanagement

Für das Entwässerungsmanagement kam eine Anwendung einer Firma zum Einsatz, die Produkte für das Management von (kommunalen) Infrastruktur-objekten wie Straßenlaternen, Abfallbehältern und Sinkkästen anbietet. Im Sinne des Smart-City-Gedankens werden KI-Systemlösungen zur digitalen Erfassung, Überwachung und Wartung von Bestandsobjekten eingesetzt. Der angebotene Prototyp für die Erfassung von Straßenabläufen (Gullys/Sinkkästen) umfasst eine 3D-Kamera (Bild 5-12)



Bild 5-12: 3D-Kamera für den Einsatz im Pilotprojekt „Entwässerungsmanagement“ (Eigenes Foto, DRC)



Bild 5-13: Provisorischer Anbau der Kameraeinheit an einer Großkehrmaschine der NLStBV (Eigenes Foto, DRC)

und die Weiterentwicklung einer KI-gestützten Bilderkennung.

### 5.3.1 Vorbereitung

Auf mehreren Autobahnrastplätzen wurden durch die Auftragnehmerin Sinkkästen fotografiert und georeferenziert. Die Fotos der hier verbauten Sinkkästen wurden einer bereits bestehenden Datenbasis hinzugefügt und dienen zum Training des neuronalen Netzwerkes.

### 5.3.2 Einbau und Erprobung

Während mehrerer Ortstermine wurde ein Reinigungsfahrzeug einer Meisterei (Bild 5-13) sowie ein Fahrzeug der Auftragnehmerin mit der Hardware (3D-Kamera) temporär ausgestattet. Mit dem Reinigungsfahrzeug wurde eine Testfahrt auf einem Au-

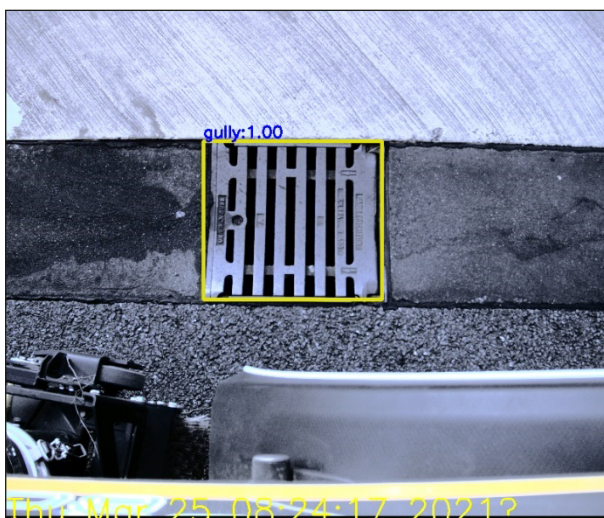


Bild 5-14: Eindeutig identifizierter Sinkkasten auf einem Autobahnrastplatz (Foto aus Pilotprojekt, iLocator)

tobahnrastplatz durchgeführt, die Testfahrt mit dem Fahrzeug der Auftragnehmerin erfolgte im innerstädtischen Bereich. Bei einer Testfahrt wurden gezielt (Stör-)Objekte auf den Sinkkästen platziert und die Straßenabläufe somit teilweise verdeckt. Die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs betrug während der Bildaufnahme gut 15 km/h.

Die erfassten Daten wurden in einem nachgeschalteten Prozess mit einer Software ausgewertet, die in den Bildausschnitten Sinkkästen identifiziert und die Sicherheit der Identifizierung in Prozent angibt (Bild 5-14).

Weiterhin wurde auch die Auffindbarkeit der georeferenzierten Entwässerungseinrichtungen unter Verwendung einer App der Auftragnehmerin getestet.

### 5.3.3 Ergebnisse

Die Erprobung ergab, dass der Prototyp Sinkkästen zuverlässig identifizieren kann. Während der innerstädtischen Testfahrt wurden 1.765 Bilder erzeugt und dabei 36 von 37 Sinkkästen erkannt, darunter auch jene, die durch Pappe oder Laub teilweise verdeckt waren (Bild 5-15).

Ein Sinkkasten wurde aufgrund ungünstiger Lichtverhältnisse beim Unterfahren einer Brücke nicht als solcher erkannt. Darüber hinaus wurde ein Objekt fälschlicherweise als Sinkkasten identifiziert (Bild 5-16). Dabei handelte es sich um einen Plastiksack, der in seiner Lamellenstruktur für den Algorithmus Ähnlichkeiten mit der Struktur eines Einlaufgitters aufwies.

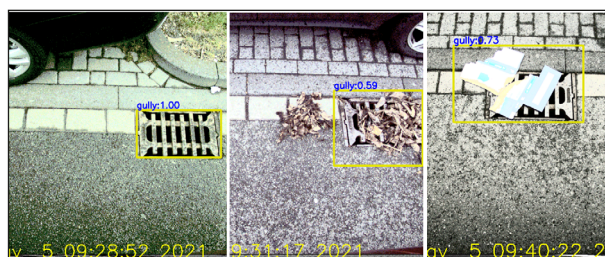


Bild 5-15: Erkennung der teilweise bedeckten Sinkkästen (Foto aus Pilotprojekt, iLocator)



Bild 5-16: Plastiksack wird als Sinkkasten erkannt (Foto aus Pilotprojekt, iLocator)

Derzeit umfasst der Datensatz, der zum Training des neuronalen Netzwerkes dient, etwa 20.000 Sinkkästen. Mit einer erweiterten Datenbasis wird eine Steigerung der Erfassungsqualität erwartet. Grenzfälle lassen sich somit noch zuverlässiger bewerten. Eine weitere Steigerung der Erfassungsqualität kann durch Verwendung von LED-Beleuchtung für einen Einsatz bei ungünstigen Lichtverhältnissen erzielt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass trotz des frühen Entwicklungsstandes mit dem Prototyp praxistaugliche Ergebnisse bei der Erkennung von Sinkkästen erzielt werden können. Die Erfassung von Reinigungsleistungen wurde nur stark vereinfacht durch das Zählen von Sinkkästen umgesetzt. Die zurzeit noch im Nachgang stattfindende Identifizierung der Objekte kann grundsätzlich auch während des Einsatzes vorgenommen werden.

Prinzipiell ist die Anwendung für eine Vielzahl an Objekten im Straßenraum denkbar. Dies ermöglicht weitergehende Anwendungen, z. B. zur automatischen Abrechnung oder zu Zwecken der Leistungsdokumentation. Die Qualität der Erfassung hängt



stark davon ab, ob der hinterlegte Datensatz für die spezifische Anwendung geeignet ist.

Die Auffindbarkeit von Sinkkästen unter Verwendung der App der Auftragnehmerin gestaltete sich problemlos. Voraussetzung ist jedoch eine hinreichend genaue Positionsbestimmung über GNSS.

## 5.4 Werkstattmanagement

Für die Erprobung eines Lagermanagements in der Zentralwerkstatt des LfS wurde eine Softwareanbieterin/Systemintegratorin beauftragt. Die benötigte Hardware lieferte eine Komponentenanbieterin. Die in der Angebotsphase vermittelte Zusammenarbeit zwischen den beiden Unternehmen blieb im Rahmen der Umsetzung weitgehend aus. Die Zentralwerkstatt des LfS führt Reparaturen und Wartungen an Geräten des Landesbetriebs durch und nimmt darüber hinaus auch Aufträge von Dritten entgegen (Forstwirtschaft, Autobahn etc.). Um die Leistungsfähigkeit und effiziente Bearbeitung von Anfragen sicherstellen zu können, bestellt die Zentralwerkstatt Ersatzteile und Verbrauchsmaterialien, die erfahrungsgemäß regelmäßig angefragt werden. Neben der Abwicklung von Reparaturen fungiert die Zentralwerkstatt des LfS auch als Beschaffungsstelle für die fünf Außenstellen. Das Lager der Zentralwerkstatt des LfS umfasst mehrere Räume, darunter ein Reifenlager, einen separaten Raum für Betriebsflüssigkeiten sowie zutrittsbeschränkte Bereiche für die Lagerung bestimmter Verschleißteile. Große Teile des Lagerbestands sind in Hochregalen organisiert, die über eine exakte Kennzeichnung verfügen. Ein solches Ordnungssystem, das den Beschäftigten ermöglicht, benötigte Lagerbestände zu lokalisieren, ist eine Grundvoraussetzung für das Lagermanagement.

### 5.4.1 Vorbereitung

In Zusammenarbeit mit dem Leiter der Zentralwerkstatt wurden für die Pilotanwendung solche Ersatzteile und Verbrauchsmaterialien ausgewählt, die bspw. häufig benötigt und nachbestellt werden müssen oder deren Verlust eine besondere finanzielle Belastung darstellt. Materialien und Ersatzteile, die in unterschiedlichen und teilweise vielfältigen Ausführungen vorhanden sind (Glühbirnen, Reifen etc.) wurden für die Pilotanwendung in übergeordneten Materialgruppen zusammengefasst.

Nach Lieferung der Hardwarekomponenten wurde in mehreren Online-Konferenzen mit der Auftrag-



Bild 5-17: Etikettierte Lagerplätze (Eigene Fotos, DRC)

nehmerin die angebotene Standardsoftware vorgestellt, Funktionalitäten und Anpassungsbedarf diskutiert und Endgeräte sowie Apps eingerichtet. Während zur Ausschreibung lediglich eine funktionale Leistungsbeschreibung erstellt wurde, wurde während dieser Vorbereitung die Notwendigkeit zusätzlicher Vorgaben und detaillierter Beschreibungen von Funktionen und Anforderungen deutlich.

Für die Dauer der Pilotanwendung wurde auf das SAP-System der Auftragnehmerin als erforderliche Back-End-Lösung zugegriffen, in dem die zusammengestellten Materialien und deren Lagerort hinterlegt wurden. Für die dort hinterlegten Kennnummern wurden durch die Forschungsnehmerin selbstklebende Etiketten mit QR-Codes erstellt und an ausgewählten Lagerplätzen angebracht (Bild 5-17).

### 5.4.2 Funktionalitäten

Das erprobte System besteht grundlegend aus mobilen Endgeräten mit Android-Betriebssystem und integriertem Scanner und der App für die Lagerverwaltung, die in der Pilotversion über die Funktionen Wareneingang (Bestellung), Warenausgang und Bestandsabfrage verfügt.

Nach Öffnen der App stehen diese Funktionen in einem übersichtlichen, kachelbasierten Menü über die Touch-Oberfläche zur Auswahl.

Die Kommunikation der Buchungsvorgänge mit dem Hintergrundsystem erfordert eine dauerhafte Verbindung zum Internet.

Für die Abbildung des Wareneingangs wurde exemplarisch eine (fiktive) Bestellung im SAP-System hinterlegt, die sämtliche übergeordneten Materialien beinhaltet, um den Materialfluss im Lager isoliert von etwaigen Vorkäufen abbilden zu können. Die

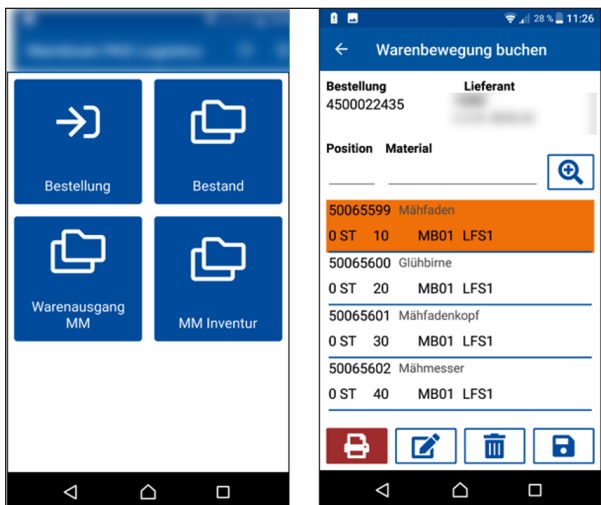


Bild 5-18: Screenshots Warenwirtschaftssystem – Hauptmenü und Modul Bestellung (Screenshot aus projektspezifischer Handyapp)

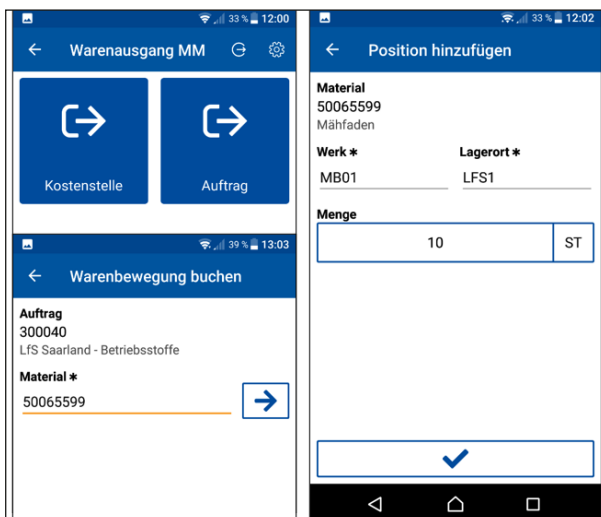


Bild 5-19: Screenshots Warenwirtschaftssystem – Modul Warenausgang (Screenshot aus projektspezifischer Handyapp)

Bestellübersicht wird durch Scan bzw. Eingabe der Bestellnummer geöffnet. Von dort aus lassen sich innerhalb des Bestellumfangs Materialien unter Angabe von Lagerort und Menge in den Lagerbestand einbuchen. Parallel erfolgt der physische Einlagerungsprozess wie gewohnt.

Analog zum Wareneingang erfolgt auch das Ausbuchen der Waren bei Entnahme aus dem Lager. Dazu wurden exemplarisch eine (fiktive) Kostenstelle und eine Auftragsnummer im SAP-System angelegt, auf die die Warenbewegung nach Auswahl von Material, Menge und Lagerort gebucht werden können. Die Warenbewegung mit entsprechender Zuordnung wurde im SAP-System gespeichert.



Bild 5-20: Erprobung bei der Warenentnahme im Lager der Zentralwerkstatt (Eigene Fotos, DRC)

Die Bestandsabfrage (Lagerort und Menge) erfolgt durch Auswahl im Menü und Scan eines beliebigen Materialcodes. Der Scanner wird durch Drucktasten am Endgerät aktiviert.

### 5.4.3 Erprobung

Die genannten Funktionalitäten wurden durch Mitarbeiter des LfS und der Zentralwerkstatt getestet. Unterstützend stellte die Forschungsnehmerin detaillierte bebilderte Schritt-für-Schritt Anleitungen zur Verfügung, um Reibungsverluste bei der Eingewöhnung zu minimieren. Damit waren die Mitarbeiter des LfS und der Zentralwerkstatt in der Lage, nach einer kurzen Einweisung den gesamten Workflow selbstständig abzubilden (Bild 5-20). Parallel wurden die Funktionen der App auf Smartphones der Forschungsnehmerin sowie eine Desktop-Version ausführlich getestet.

Da in der Zentralwerkstatt derzeit kein WLAN vorhanden ist, wurden die mobilen Endgeräte über WLAN-Hotspots der Diensttelefone mit dem Internet verbunden.

Erst nachdem sich die Mitarbeiter des LfS und der Zentralwerkstatt mit dem System und insbesondere der App in der Praxis auseinandersetzen konnten, ergaben sich weitere Wünsche und Anpassungsbedarf, sowohl die Handhabung betreffend, als auch für zusätzliche Funktionen. Geringfügige Anpassungen an der App, wie das Ausfüllen von Feldern mit Standard-Inhalten wurden durch die Auftragnehmerin kurzfristig umgesetzt. Die dazu notwendigen Updates konnten die verantwortlichen Mitarbeiter des LfS selbstständig installieren. Vereinzelt traten Fehlfunktionen seitens dem Back-End-Systems

auf, die den Abschluss von Buchungen verhindern, die aber ebenfalls kurzfristig behoben werden konnten.

Die Installation von Software auf den Rechnern des LfS stellte dagegen eine Herausforderung dar, da in der öffentlichen Verwaltungsstruktur die erforderlichen Berechtigungen nicht rechtzeitig vorlagen. Veraltete Betriebssysteme in der Zentralwerkstatt erschwerten die Inbetriebnahme zusätzlich. Die Inbetriebnahme eines Etikettendruckers während der Pilotphase scheiterte an der Installation der zugehörigen Installationssoftware.

#### 5.4.4 Ergebnisse

Unabhängig von der speziellen Softwarelösung war die Resonanz nach Abschluss der Erprobung gegenüber einem Einsatz von mobilen Endgeräten und QR-Codes positiv. Das Systemkonzept ist prinzipiell praxistauglich, die Mehrheit der Mitarbeiter kann sich vorstellen, ein vergleichbares System in Zukunft zu nutzen. Vereinzelt wurde die Handhabung der App kritisiert, bspw. wenn die intuitive Bedienung nicht gegeben war. Sich automatisch öffnende Textfelder zur alternativen Handeingabe der Materialnummern oder die fehlende Plausibilisierung bei der Eingabe von Materialnummern (unbeabsichtigter Mehrfachscan führt zu Aneinanderreihung der gleichen Nummer) wurde als störend empfunden.

Die eingesetzten Endgeräte entsprachen den Erwartungen. Die Beschäftigten des LfS und der Zentralwerkstatt zeigten sich jedoch von Reichweite, Lesegeschwindigkeit und Lesequalität der Scanfunktion positiv überrascht, z. B. beim Scannen von Codes an höher gelegenen Lagerplätzen oder in Bodennähe. Auch bei teilweise verdeckten oder beschädigten Etiketten wurde der Inhalt beim Scannen erkannt. Eine Bedienung mit Handschuhen sei i. d. R. nicht erforderlich, weshalb in diesem Zusammenhang keine Einschränkungen berichtet wurden.

Die Beschaffung von geeigneter Hardware erfordert über die Beschreibung der zu erwarteten Einwirkungen beim Einsatz hinaus keine besonderen Kenntnisse. Mobile Endgeräte, die für vergleichbare Einsatzzwecke entwickelt wurden, sind grundsätzlich und unabhängig von der Systemlösung erhältlich. Die Trennung von mobilen Endgeräten und Apps für spezielle Anwendungen entspricht dem Standardfall. Dies hat den Vorteil, dass nach Erwerb geeigneter mobiler Endgeräte diese prinzipiell

mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Apps betrieben werden können.

Es wurde beobachtet, dass der Auftraggeber erst mit zunehmender Kenntnis der verfügbaren, technischen Möglichkeiten Problem- und Sonderfälle in den etablierten Abläufen identifizieren konnte. Darunter auch solche, die sich aus Notlösungen oder temporären Workarounds ergeben oder infolge der Adaption an sich ändernde Randbedingungen erforderlich wurden. Das Ergebnis wurde in Flussdiagrammen festgehalten und dient als Vorlage für die Abbildung der Workflows.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass geeignete Systeme zur Lagerverwaltung existieren und basierend auf Standardsoftware mit geringem Anpassungsbedarf erhältlich sind. Die erprobte Lösung ist geeignet, als Bestandteil eines Gesamtsystems das Lagermanagement zu verbessern. Rein isoliert betrachtet erfüllt das System technisch die Anforderungen, bietet aber über die Bestandsabfrage hinaus keinen Mehrwert.

## 5.5 Nachverfolgung handgeführter Geräte

Für die Nachverfolgung handgeführter Geräte aus dem zentralen Gerätelager des LSBG wurde eine Systemlösung beauftragt. Das Lager auf der AM Othmarschen verfügt über mehrere Eingänge (Rolltor und Türen) und umfasst einen Vorraum für die Ablage, Reparatur und Wartung von Geräten (Freischneider, Motorsägen, Laubgebläse etc.) sowie einen zugangsbeschränkten Lagerraum. Ausgabe und Rückgabe wird i. d. R. durch einen Mitarbeiter des LSBG betreut und quittiert.

### 5.5.1 Vorbereitung

Die Systemintegratorin plant den Aufbau aus einzelnen (modularen) Teilsystemen, ergänzt durch besondere technische Komponenten (z. B. Antennen mit hoher Reichweite). Laut Auftragnehmerin wurden die Rahmenbedingungen am Projektstandort des Zentrallagers in firmeninternen Versuchsaufbauten zu Anordnung und Konfiguration der Komponenten simuliert. Ein geeignetes RFID-System muss hinsichtlich Sendereichweite und Abdeckung auf die Gegebenheiten vor Ort abgestimmt werden. Dazu wurde der Standort durch die Auftragnehmerin nach Projektstart besichtigt.

Während der Vor-Ort-Termine und in mehreren Telefonaten zwischen Auftragnehmerin, Auftraggeber und Forschungsnehmerin wurden die Konzeptentwürfe mehrfach überarbeitet. Grund dafür waren u. a. Sicherheitsbedenken bei der Einbindung des Systems in die IT-Infrastruktur des LSBG und der Verknüpfung von Datenbanken. Auch die angestrebte Manipulationssicherheit wurde ausführlich diskutiert, mit dem Ergebnis, dass vorerst nicht auf das Lagerpersonal als Kontrollinstanz verzichtet werden soll.

### 5.5.2 Konzept

Das Ergebnis der Abstimmungen wurde in einem Konzeptpapier festgehalten, das eine konkrete Beschreibung von Workflows und Schnittstellen der vereinbarten Stand-alone-Lösung beinhaltet:

Im Vorraum des Lagers wird mithilfe eines RFID-Systems der vorhandene Prozess der Ein- und Auslagerung digitalisiert. Dazu identifiziert sich der oder die Entleihende mit einer personalisierten RFID-Karte am Lesegerät des Bedienterminals und startet damit den Vorgang. Der Lagerbestand wird mit RFID-Tags versehen, die im UHF-Bereich innerhalb weniger Meter erfasst werden können. Ein Lesevorgang erfolgt, wenn die handgeführten Geräte an der RFID-Lesestation mit zwei UHF-Midrange-Antennen vorbeigeführt werden. Der Lesevorgang wird durch das System mit einem akustischen Signal bestätigt. Der oder die Entleihende kann dann den Vorgang am Bedienterminal einsehen mit seiner Karte bestätigen. Überwacht wird die ordnungsgemäße Durchführung durch einen Lagermitarbeiter durch Quittierung der Korrektheit mit der eigenen RFID-Karte nach Abschluss des Vorgangs.

Das Bedienterminal verfügt über eine zugriffsbeschränkte Such- und Auswertefunktion, darüber hinaus können die Daten in strukturierter Form (MS-Excel-Export) via USB-Port entnommen werden. Ein Software-Modul ermöglicht darüber hinaus das Anlegen und Löschen sowohl von Identifikationskarten als auch von Geräten am Bedienpult. Nach abgeschlossener Schulung sollen die Beschäftigten des LSBG in der Lage sein, selbstständig den Lagerbestand auszustatten und Nutzerkonten anzulegen.

### 5.5.3 Aktueller Stand und Ausblick

Aufgrund der im Frühjahr 2021 herrschenden Kontaktbeschränkungen während der Corona-Pande-

mie konnten Besichtigungen und Vor-Ort-Termine nicht wie geplant durchgeführt werden. Darüber hinaus berichtet die Auftragnehmerin von erheblichen Lieferverzögerungen bei der Bestellung elektronischer Bauteile infolge des weltweiten Zusammenbruchs von Lieferketten. Die Überführung der IT-Systeme in den Zuständigkeitsbereich der Autobahn GmbH des Bundes sorgte zusätzlich für Verzögerungen zum Projektbeginn. Neben den unerwartet zeitaufwendigen Vorbereitungen und dem erhöhtem Abstimmungsbedarf sind dies Gründe dafür, dass die Pilotphase nicht innerhalb der gesetzten Frist abgeschlossen werden konnte.

Perspektivisch sollen nach erfolgreicher Einführung auch Prüfprotokolle- und Zertifikate eingebunden und eine Schnittstelle zur Hamburg Port Authority (HPA) eingerichtet werden.

Die Forschungsnehmerin ist weiterhin in Kontakt mit den Beteiligten und verfolgt die weitere Durchführung über das Ende des Forschungsvorhabens hinaus.

## 6 Erkenntnisse und Empfehlungen

### 6.1 Beschaffungskonzept

Wenn innovative Techniken im Straßenbetriebsdienst eingesetzt werden sollen, ist es zweckmäßig, nicht nur solche Anbietenden zu fokussieren, die bereits in der Branche etabliert sind. Prinzipiell ist für jedes Vorhaben eine passende Lösung erhältlich, die Herausforderung besteht darin, passende Anbietende zu identifizieren und den Kontakt herzustellen. Die Wahl der Kommunikationswege und die Motivation der Unternehmen spielen dabei eine entscheidende Rolle.

Nur eine gründliche Marktrecherche ermöglicht die gezielte Auswahl von Angeboten mit Potenzial für den Straßenbetriebsdienst und insbesondere solcher Systeme mit möglichst geringem Anpassungsbedarf. Es sollte im Vorfeld geprüft werden, wie auch solche Anbietende über die Ausschreibung informiert werden können, die den Straßenbetriebsdienst bisher nicht als Zielgruppe wahrnehmen und somit auch nicht deren einschlägigen Ausschreibungsportale im Blick haben. Für Unternehmen, die in profitablen Wirtschaftszweigen wie bspw. der Baubranche oder in der Logistik und Lagerhaltung

erfolgreich sind, spielt die Beauftragung durch den Straßenbetriebsdienst aufgrund der erwarteten Gewinnspanne eher eine untergeordnete Rolle. Um dennoch das Interesse branchenfremder Unternehmen zu wecken, empfiehlt es sich, auf wirtschaftliche Chancen und Expansionspotenziale hinzuweisen, die das Risiko, in ein ggf. unbekanntes Geschäftsfeld zu expandieren, wert sind.

Wenn die Anforderungen an ein innovatives System im Vorfeld klar definiert werden können und sich alle Beteiligten über die geforderten Funktionalitäten einig sind, lässt sich der Kreis an geeigneten Anbietenden je nach Maß an Innovation und Komplexität eingrenzen. Mit einem Systemanbieter kann häufig ein Mittelweg zwischen flexiblen Anpassungsmöglichkeiten und teurem Entwicklungsaufwand beschritten werden. Lassen sich Ziele und Funktionalitäten dagegen nicht eindeutig festlegen, z. B. wenn der Bedarf an finanziellen Mitteln zum Erreichen bestimmter Ziele nicht abgeschätzt werden kann, erhöht die Auswahl unterschiedlicher Anbietergruppen die Wahrscheinlichkeit, ein passendes Angebot zu erhalten. I. d. R. bedarf es aber bei Systemlösungen eines professionellen Unternehmens aus der jeweiligen Branche, welches die Installation verantwortet und auch darüber hinaus während des Betriebs zur Verfügung steht. Die Bestellung von Einzelkomponenten dagegen ist nur im Einzelfall unter bestimmten Voraussetzungen zu empfehlen. Dennoch konnte gezeigt werden, dass der Erwerb von Komponenten und deren Einbau durch die eigenen Meistereimitarbeiter zielführend sein kann, sofern geeignete Handbücher/Einbauanleitungen mitgeliefert werden und die Abläufe einfach gehalten sind.

Bei umfangreichen und komplexen Anforderungen kann eine schrittweise Implementierung empfohlen werden. Dies erleichtert die Definition von Funktionalitäten und sorgt für eine überschaubare Inbetriebnahme und bessere Kostenkontrolle. Dazu muss das Gesamtsystem bzw. das Zielkonzept in sinnvolle elementare Bausteine (Teilsysteme) zerlegt werden. Diese Bausteine können dann entlang einer zuvor festgelegten Prioritätenreihung stückweise in Betrieb genommen werden. Bei dem Pilotprojekt zur Nachverfolgung handgeführter Geräte bestehen solche Bausteine bspw. aus den technischen Komponenten zur kontrollierten Geräteentnahme (Schleuse, Tags, Software), einer Datenbank für die Verknüpfung von Zusatzlösungen und einem Webportal.

## 6.2 Anforderungsdefinition

Standardausführungen aus dem Bereich der freien Wirtschaft sind häufig nicht ohne Weiteres auf den Straßenbetriebsdienst und insbesondere auf die Mitarbeiter im öffentlichen Dienst übertragbar (z. B. Systeme aus der Logistikbranche). Die speziellen Randbedingungen erfordern eine möglichst exakte Beschreibung der Anforderungen.

Selbst wenn die Ziele eines Einsatzes innovativer Technik klar definiert werden konnten, ist für die Auswahl an Komponenten und deren konkrete Beschreibung in einem Leistungsverzeichnis technisches Fach- und Spezialwissen erforderlich. Beim Aufstellen der Ausschreibungsunterlagen muss bedacht werden, dass ggf. unterschiedliche Lösungen geeignet sind, die definierten Ziele zu erreichen. Wird also im Vorfeld keine bestimmte Herangehensweise priorisiert, schränkt eine zu konkrete Beschreibung von einzelnen geeignet erscheinenden Komponenten in einem Leistungsverzeichnis die Diversität an Angeboten ggf. stark ein. Eine zu unscharfe Beschreibung des ausgeschriebenen Gegenstandes ist ebenso zu vermeiden. Um dennoch eine gute Angebotsgrundlage bereitzustellen, muss deshalb der exakten Beschreibung von Anforderungen besondere Bedeutung beigemessen werden. Ggf. sind die zukünftig angestrebten Arbeitsabläufe (Workflows) darzustellen. Damit sind Anbietende modularer Systeme und Systementwickelnde/-integrierende in der Lage, durch die Zusammenstellung passender Module oder die Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen die Erwartungen zu erfüllen.

Je größer der Funktionsumfang eines Systems, desto mehr Wert muss auf einfache Handhabung und überschaubare Abläufe gelegt werden. Der Einsatz innovativer Techniken soll die anfallenden Arbeiten unterstützen, ohne zu viel Zeitaufwand für die Bedienung zu verursachen. Damit ein solches System effizient eingesetzt werden kann, ist die Akzeptanz der Mitarbeiter und die Bereitschaft, sich mit diesem auseinanderzusetzen von oberster Bedeutung. Voraussetzung dafür ist ein komfortables und verständliches Bedienungskonzept, das die Anwender nicht überfordert. Ggf. ist es von Vorteil, den Anforderungskatalog zu Gunsten der Anwenderfreundlichkeit zu reduzieren, da Systeme mit größerem Funktionsumfang i. d. R. auch anspruchsvoller in der Bedienung sind.

Der innovative Charakter der Techniken erschwert ggf. die Definition von Anforderungen, wenn nicht

abschließend geklärt ist, was damit alles möglich gemacht werden kann. In solchen Fällen bietet sich die Erprobung der Techniken innerhalb eines Pilotprojekts an. Um möglicherweise passende Anbietende nicht im Vorfeld aufgrund untergeordneter Anforderungen auszuschließen, kann es zweckmäßig sein, Leistungen in obligatorische Bestandteile (Must-have) und optionale Bestandteile (Nice-to-have) zu unterteilen. Besteht bspw. das primäre Ziel bei der Positionsbestimmung von VSA in der fahrstreifengenauen Erfassung als Grundlage für ein automatisiertes Baustelleninformationssystem, muss eine hochpräzise Ortung dauerhaft gewährleistet sein. Dient ein solches Ortungssystem dagegen an mobilen LSA der Auffindbarkeit und der Übersicht über gebundene Ressourcen, können Abstriche in der Genauigkeit zu Gunsten von Kosten oder weiteren Funktionalitäten in Kauf genommen werden. Darüber hinaus ist zu beachten, dass hochpräzise GNSS-Positionsbestimmung und die Referenzierung auf das Straßennetz i. d. R. auf komplexe Korrekturverfahren angewiesen ist, die nicht immer zuverlässig arbeiten und teilweise fehleranfällig sind. Je nach Anwendungszweck reicht deshalb ein einfaches und robustes System vollkommen aus.

Ein solches Vorgehen ermöglicht den Anbietenden einen gewissen Gestaltungsspielraum, wenn z. B. einzelne Funktionalitäten untergeordneter Bedeutung nur mit erheblichem Mehraufwand angeboten werden können. Insbesondere, wenn die Beurteilung der Marktlage schwerfällt, können so die Chancen verbessert werden, ein passendes Angebot zu erhalten. Ungewollte Funktionalitäten, die z. B. den Schutz personenbezogener Daten betreffen, sind dagegen im Vorfeld auszuschließen.

Innovative Systeme für den Straßenbetriebsdienst müssen für einen flächendeckenden Einsatz infolge eines eingeschränkten Pilotbetriebs flexibel erweiterbar bzw. skalierbar sein. Dies gilt sowohl für die Ausstattung von Fahrzeugen oder Anhängern als auch beim Umgang mit Verbrauchsmaterialien oder Gerätschaften. Gehört eine Erweiterung zum Regelbetrieb (z. B. das Taggen von Verbrauchsmaterialien) muss sichergestellt werden, dass dies durch die Mitarbeiter gewährleistet werden kann.

Grundsätzlich empfiehlt sich die aktive Beteiligung der Meistereien bei der Definition der Anforderungen. So lassen sich frühzeitig Befürchtungen der Betroffenen erkennen und ausräumen. Die Schaffung von Dienstanweisungen für eine definierte

Handlungsgrundlage zwischen Personalvertretung und fachlichen Beteiligten kann dabei ebenfalls hilfreich sein. Dies ist im Rahmen eines Pilotprojektes nicht immer möglich und muss je nach Potenzial im Einzelfall abgewogen werden.

### 6.3 Ausschreibungsverfahren

Im Rahmen der Pilotprojekte hat sich die Freihändige Vergabe aufgrund der Flexibilität und weitreichender Freiheiten bewährt. Dennoch sind grundsätzlich ausreichend Angebote einzuholen und über den eigenen Horizont hinaus neue und alternative Lösungsvorschläge in Betracht zu ziehen.

Sollen Systeme in großem Umfang bereitgestellt werden, ist je nach Auftragsvolumen nach den üblichen nationalen oder europäischen Regelungen auszuschreiben. Dabei eröffnet insbesondere das Verhandlungsverfahren mit Teilnahmewettbewerb Gestaltungsspielräume, da noch im Verlauf des Ausschreibungsverfahrens Anforderungen überarbeitet, konkretisiert und ergänzt werden können.

Darüber hinaus kann es zweckmäßig sein, vor Versenden der Angebotsunterlagen Kontakt zu Unternehmen herzustellen, die für eine Angebotsabgabe infrage kommen, um frühzeitig zuständige Ansprechpartner ausfindig zu machen. Einige der relevanten Unternehmen verfügen über eigene Entwicklungsabteilungen oder spezialisierte Tochterunternehmen. Da je nach Vorhaben bei der Posteingangsbearbeitung in einer zentralen Poststelle nicht immer offensichtlich ist, welche Abteilung eines Unternehmens für die Angebotsabgabe zuständig ist, vermeidet eine konkrete Adressierung das Herumwandern der Unterlagen zwischen den Abteilungen. Somit geht keine wertvolle Zeit innerhalb der Angebotsfrist verloren und der Erhalt der Unterlagen kann zeitnah abgefragt werden. Die (parallele) elektronische Übermittlung der Unterlagen per E-Mail hat sich dabei ebenfalls bewährt.

Das Anschreiben, das den Ausschreibungsunterlagen voransteht, kann den Kontext des Vorhabens beleuchten und zur Angebotsabgabe motivieren. Werden nach Sichtung der Angebote Produktvorstellungen mit den Anbietenden vereinbart, ist es von Vorteil, vorab die Priorität einer solchen Präsentation zu kommunizieren: Soll bspw. die Bedienbarkeit der angebotenen Komponenten gezeigt werden, sorgt die Präsentation des gesamten Leistungsspektrums mit Blick auf eine zukünftige Erwei-

terung ggf. für Verwirrung und Unsicherheit seitens der Auftraggeber.

## 6.4 Durchführung

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Entwurfs des Schlussberichtes sind vier der Pilotanwendungen abgeschlossen. Eine fünfte Pilotanwendung wird über das Forschungsvorhaben hinaus in der Verantwortung des beteiligten Straßenbaulastträgers weitergeführt. Es hat sich gezeigt, dass je nach Projekt weitere Vorbereitungen zum Start getroffen werden mussten. Dabei treten die mit der Durchführung beauftragten Personen mit den Pilotmeistereien in Kontakt, Besichtigungen, Beratungsgespräche und Einbautermine werden vereinbart. Die zeitweise geltenden Kontaktbeschränkungen ließen solche Vor-Ort-Termine nur in Einzelfällen zu. In einigen Fällen waren die zuständigen Verwaltungen dazu angehalten, solche Termine bis auf Weiteres zu vermeiden. Auf der Gegenseite setzten wiederum Anbietende für bereits entwickelte Komponenten Vor-Ort-Termine des Montagepersonals aus. Die daraus resultierenden Verzögerungen führten dazu, dass die geplanten Pilotanwendungen nur unter großen Verzögerungen umgesetzt werden konnten.

In solchen Projekten, in denen Fahrzeuge ausgestattet wurden, ließen sich die zu erwartenden Randbedingungen aus Erfahrungen übertragen. Innovative Lösungen, die in erster Linie die technischen Komponenten betreffen, lassen sich ggf. auch unabhängig vom Trägerfahrzeug oder von den Arbeitsabläufen entwickeln.

In solchen Projekten, in denen (stationäre) Systemlösungen auf die Bedingungen vor Ort zugeschnitten werden müssen, muss den dort üblichen Arbeitsabläufen und Gewohnheiten der zukünftigen Anwender besondere Bedeutung beigemessen werden. Regional charakteristische Workflows sowie Besonderheiten und die allgemeinen baulichen Gegebenheiten lassen sich i. d. R. nur durch Vor-Ort-Termine durch den Durchführungsbeauftragten selbst abschließend erfassen. Beteiligte Personen können dann zu deren Arbeitsgewohnheiten und zu individuellen Wünschen befragt werden. So ist es z. B. im Falle der Nachverfolgung handgeführter Geräte für die Auswahl von Komponenten entscheidend, ob derzeit mehrere Geräte mithilfe einer Schubkarre aus dem Lager transportiert oder Geräte einzeln getragen werden. Außerdem muss die Erfassung über eine Vorverifikation und Plausibili-

sierungslogik verfügen, um das Lesen systemfremder Transponder zu vermeiden. Wird nur ein Zugang für die Einlagerung und die Entnahme von Ausrüstung genutzt, ist eine Richtungserkennung erforderlich.

Die Beteiligung der Mitarbeiter, die später täglich mit dem System zu tun haben werden, ist in dieser Phase besonders wichtig. Nicht nur um die Anforderungen im Detail zu konkretisieren bzw. anzupassen, sondern auch um die spätere Akzeptanz zu verbessern und die Motivation, neue Arbeitsabläufe zur Gewohnheit zu machen, zu erhöhen. Üblicherweise sind solche Betrachtungen Bestandteil von Machbarkeitsstudien oder von Erprobungen während der Angebotsphase. Darüber hinaus ergeben sich in dieser Phase weitere Potenziale im persönlichen Austausch der Beteiligten aus unterschiedlichen Branchen. Ausgehend von den Angeboten ist für die Dauer der Entwicklungsphase je nach Aufwand mit zwei bis vier Monaten zu rechnen.

Die Abstraktion der gewohnten Abläufe im Rahmen einer Pilotphase sowie die Entwicklung einer realistischen Zielvorstellung stellt mitunter eine Herausforderung für die Beschäftigten dar: Teilweise fehlte das Verständnis für den reduzierten Funktionsumfang und die nicht vollständige Abbildung aller bekannten Abläufe. Daraus wird die Notwendigkeit deutlich, Anwender frühzeitig über die Ziele vergleichbarer Projekte zu informieren und in die Planung mit einzubeziehen, einerseits um die anfängliche Akzeptanz zu verbessern und andererseits deren Expertise und Erfahrung für das Herausarbeiten sinnvoller Anpassungen zu nutzen. Grundsätzlich gilt jedoch, dass Vertrauen und Akzeptanz schwinden, wenn Systeme zu früh in den laufenden Betrieb eingeführt werden und erst bei paralleler Anwendung im Tagesgeschäft weiterentwickelt bzw. an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden. Auch wenn i. d. R. Anpassungen erforderlich sind, sollte die verpflichtende Nutzung erst nach entsprechender Reife des Systems beginnen, damit den Beschäftigten durch die Nutzung kein Mehraufwand entsteht.

Es hat sich gezeigt, dass die digitale Infrastruktur der öffentlichen Verwaltung und insbesondere in der Betriebsdienstbranche nicht mit der Privatwirtschaft zu vergleichen ist. Trotz der Parallelen bspw. zu Logistik- und Warenwirtschaftsbranche handelt es sich im Betriebsdienst nicht um Standardprozesse. Dies stellt Anbietende, die mit der Branche keine Erfahrung haben, vor eine Herausforderung und

stößt mitunter auf Unverständnis. Eine überhöhte Erwartungshaltung seitens des Auftraggebenden i. V. m. mangelnden Zielvorgaben führt bereits von Projektbeginn an zu Spannungen. Entgegen der Erwartung nehmen die anbietenden IT-Unternehmen kaum eine beratende Rolle ein, sondern implementieren die gewünschten Abläufe nach genauen Vorgaben in ihr System. Bei der Definition dieser Abläufe und die Integration in ein Gesamtsystem bzw. die Verbindung mit vor-/nachgeschalteten digitalen Systemen ist ein nicht geringes Maß an Eigeninitiative und technischem Know-how gefragt. Mangelnde Kenntnis der technischen Möglichkeiten, und Unterschätzen des Anpassungsaufwands bei der Umsetzung spezieller Vorgaben in der IT-Entwicklung sorgen für unerwartete Mehrkosten (Personal- und Nebenkosten), die nicht im wirtschaftlichen Verhältnis mit dem erzielten Nutzen stehen.

Ein System für das Lagerhaltungsmanagement entfaltet sein Potenzial erst als Teil eines Gesamtsystems, das auch vorgeschaltete Bestellungen und nachgeschaltete Aufträge und Buchungen berücksichtigt (automatische Bestellung, Buchung auf Kundenaufträge etc.). Aufgrund der Datenübergabe und Schnittstellen müssen solche anknüpfenden Systeme aber bereits in der Konzeption berücksichtigt werden. Voraussetzung dafür ist ein geeignetes Back-End-System (passende Datenbanklösung), in dem Daten durch die unterschiedlichen Module/Systembestandteile gespeichert und abgerufen werden können. Solche Systeme sind in einigen Branchen bereits Standard, und sollten deshalb mit ausgeschrieben werden, sofern nicht bereits vorhanden. Das Führen von Daten in eigens dafür erstellten Datenbanken (z. B. MS-Excel) ist mit Blick auf die Erweiterbarkeit im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise nicht zeitgemäß.

Bereits zur Ausschreibung müssen ggf. organisatorische Strukturen und etablierte Abläufe hinterfragt werden (z. B. in vorgeschalteter Organisationsuntersuchung). Es ist nicht auszuschließen, dass sich durch über die Zeit infolge geänderte Randbedingungen (Personalmangel, Ablauf- und Aufbauorganisation etc.) Abläufe etabliert haben, die nicht der optimalen Prozessgestaltung entsprechen und für die Beschäftigten Mehraufwand bedeuten. Bevor eine Digitalisierung solcher Abläufe (Abbildung Ist-Zustand) angestoßen wird, muss intern diskutiert werden, ob deren Beibehaltung noch zweckmäßig und zeitgemäß ist. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass mit der Abbildung (komplexer) Sonderfälle Zusatzeingaben erforderlich sind, die im Wider-

spruch zu der angestrebten Einfachheit und Nutzerfreundlichkeit des Systems stehen.

Im Zuge solcher Untersuchungen sollte auch die bestehende IT-Infrastruktur und bereits angewendete (Software-)Lösungen dahingehend betrachtet werden, ob diese bereits effizient eingesetzt werden bzw. deren volles Potenzial bereits ausgeschöpft wird.

Aufgrund der Vielzahl an Beteiligten aus unterschiedlichen Branchen und Organisationseinheiten und der erforderlichen Fachkompetenz in Bereichen der IT-Entwicklung stellt die interdisziplinäre Kommunikation bei der Einführung vergleichbarer Systemlösungen eine Herausforderung dar. Auch deshalb ist eine intensive Begleitung von der Anforderungsdefinition bis über die Inbetriebnahme hinaus durch eine interne oder externe Projektsteuerung zu empfehlen, die im Projekt die Schnittstelle zwischen Auftragnehmer, Anwender in der Praxis und Auftraggeber übernimmt und um die Bedürfnisse und Eigenheiten der jeweiligen Branchen weiß.

Bei der Inbetriebnahme der Systeme zur Ortung von VSA konnten in einem Fall die erforderlichen Komponenten durch Werkstattmitarbeiter der Pilotmeisterei angebaut werden. Das zweite System konnte nach einer lediglich dreiwöchigen Entwicklungsphase eingeführt werden. Es konnte gezeigt werden, dass einfache Systeme für den Einbau durch Meistereimitarbeiter geeignet sein können. In solchen Fällen kann der Einbau innerhalb kurzer Zeit erfolgen und Kosten für eine Installation durch den Anbietenden gespart werden.

Am Markt sind Ortungssysteme erhältlich, die auch für eine fahrstreifengenaue Erfassung geeignet sind. Die Angaben zur Erfassungsgenauigkeiten im Zentimeterbereich sind Bestandteil der Untersuchung. Ebenfalls erhältlich sind kompakte Sensormodule, die die Lage bzw. den Zustand von Anbaugeräten oder (klappbaren) Vorrichtungen erfassen und ausgeben. Während der Pilotphase konnte ein solches System für die Erfassung der Lage von Warn-/Leittafeln (aktiv-aufgeklappt/inaktiv-eingeklappt) erfolgreich getestet werden.

Die Erfassung von Schaltzuständen i. V. m. einer metergenaue Ortung konnte erfolgreich getestet werden. Bei der untersuchten Technik lassen sich mehrere Schaltzustände (über die anliegende Spannung an vier Eingängen) registrieren und unterscheiden. In Ermangelung von Plausibilisierungsmechanismen und der Referenzierung auf eine



ausgewählte Kartengrundlage ließ sich damit keine fahstreifengenaue Ortung mit der erforderlichen Zuverlässigkeit sicherstellen. Dennoch haben die Untersuchungen gezeigt, dass der Standort des Fahrzeugs (des Anhängers) häufig fahstreifengenaue erfasst wird. Weitere potenzielle Einsatzgebiete wurden im Austausch mit den Beschäftigten der Pilotmeisterei identifiziert.

Im Pilotprojekt für das Entwässerungsmanagement wurde als Vorarbeit bereits eine dreistellige Anzahl an Sinkkästen auf Rastplätzen im Zuständigkeitsbereich der AM Fallingbostal georeferenziert und mit Transpondern ausgestattet. Die Anwendung auf einem mobilen Endgerät erkennt und meldet die Sinkkästen in einem Radius von wenigen Metern. Weiter wurde die Ausstattung des Testfahrzeugs mit einer 3D-Kamera vorbereitet und die zugehörige Software entwickelt.

Die Bedeutung der Akzeptanz der Anwendergruppe und deren Bereitschaft, ein innovatives System wie vorgesehen zu nutzen, wurde an der laufenden Pilotphase eines Ortungssystems für VSA deutlich. Dort wurde die Erprobung anfangs durch fehlendes Vertrauen in die Technik und die Nutzung der Datenerfassung erschwert, da das System nicht sachgemäß genutzt wurde (Trennen der Stromversorgung, kein Öffnen der App, keine Auswahl der Pfeilstellung). Eine solche Ablehnung konnte bereits bei der Einführung ähnlich gelagerter Systeme zur automatisierten Datenerfassung beobachtet werden. Gründe hierfür waren u. a. die Befürchtung einer permanenten Überwachung der Straßenwärter und die mangelnde Akzeptanz der Notwendigkeit einer Veränderung.

## Literatur

- BOTNER, E. J.; HOFFMAN, M. (2013): Digital Video-GIS referenced system for spatial data collection and condition assessment to enhance transportation asset management. Paper für die 8th International Conference on Managing Pavement Assets.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2013): Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst, Bremen: Fachverlag NW im Carl Schünemann Verlag GmbH.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, o. D. BMEL (2019): [Online] Available at: [https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/\\_Texte/Digitalisierung-Landwirtschaft.html](https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/_Texte/Digitalisierung-Landwirtschaft.html) [Zugriff am 27 August 2019].
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009a): ASB – Anweisung Straßeninformationsbank. Teilsystem: Netzdaten. Bonn: s.n.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009b): Richtlinien zur Erhebung des Anlagenbestandes der Bundesfernstraßen. Bonn: s.n.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018): Cooperative ITS Corridor. [Online] Available at: <https://c-its-korridor.de/?menuId=32&sp=de> [Zugriff am 22. Juli 2019].
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): BMVI [Online] Available at: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehr-in-zahlen.html> [Zugriff am 03. Februar 2020].
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021): Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen, Bonn: s.n.
- CHIPOLO d. o. o. (2019): chipolo. [Online] Available at: <https://chipolo.net/en/blogs/what-is-a-bluetooth-tracker> [Zugriff am 27. Juni 2019].
- Cyface GmbH (2020): [Online] Available at: <https://www.cyface.de/> [Zugriff am 03. Februar 2020].
- DE LANGE (2013): Geoinformatik in Theorie und Praxis
- DENSO WAVE INCORPORATED (2019): Denso Wave. [Online] Available at: <https://www.denso-wave.com/en/> [Zugriff am 17. Juli 2019].
- DENSO WAVE INCORPORATED (2019): Denso Wave. [Online] Available at: <https://www.denso-wave.com/en/adcd/product/rfid/sp1.html> [Zugriff am 27. Juni 2019].
- Deutscher Bauernverband e. V., o. D. DBV (2019): [Online] Available at: <https://www.bauernverband.de/36-digitalisierung-in-der-landwirtschaft> [Zugriff am 27. August 2019].
- DR. THOMAS + PARTNER GmbH & Co. KG (2019): Logistik KNOWHOW. [Online] Available at: <https://logistikknowhow.com/bestandsverwaltung/radio-frequency-identification-rfid/> [Zugriff am 27. August 2019].
- FINKENZELLER (2015): RFID-Handbuch – Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC
- HESS, R.; LOHMEIER, M.; WILLUHN, F. (2017): Beschaffung einer automatischen Datenerfassung im Betriebsdienst – wie bekomme ich, was ich möchte? Karlsruhe, Köln, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.
- Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement (Dr. Christian Leitzke) (2017): VSVI Hessen e. V.. [Online] Available at: [http://www.vsvi-hessen.de/download/20170426/vsvi20170426\\_7aleitzke.pdf](http://www.vsvi-hessen.de/download/20170426/vsvi20170426_7aleitzke.pdf) [Zugriff am 22. Juli 2019].
- Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement (Gerd Riegelhuth) (2015): VSVI Hessen e. V.. [Online] Available at: <http://www.vsvi-hessen.de/download/20150415/vsvi20150415riegelhuth.pdf> [Zugriff am 22. Juli 2019].
- Infsoft GmbH (2022): [Online] Available at: <https://www.infsoft.com/de/grundlagen/ortungstechnologien/bluetooth-low-energy-beacons/> [Zugriff am 30. März 2022].
- KOETHER (2018): Taschenbuch der Logistik
- M4Telematics Group (2019): Warenortung.de. [Online] Available at: <https://www.warenortung.de/ble-bluetooth-ortung-geraet.html> [Zugriff am 27. Juni 2019].
- PILLI-SIHVOLA et al. (2014): Evolving winter road maintenance ecosystems in Finland and Hok-

kaido, Japan. Special Issue: Highlights from the ITS Europe Congress in Helsinki.

Rauch Landmaschinenfabrik GmbH (2019): RAUCH. [Online] Available at: <https://rauch.de/deutsch/home/index.html> [Zugriff am 27. August 2019].

SAIRAM et al. (2016): Development of Mobile Mapping System for 3D Road Asset Inventory. Artikel im MPDI-Journal, Sensors 2016.

SCHMIDT & Co (2014): Schmidt – Makes Life Simply. [Online] Available at: <http://www.schmidthk.com/traceability/asset-management-solution/> [Zugriff am 27. August 2019].

smart-TEC GmbH & Co. KG (2019): smart-TEC. [Online] Available at: <https://www.smart-tec.com/de/auto-id-welt/rfid-technologie> [Zugriff am 26. Juni 2019].

SOMMER (2015): Indoor Positioning Technologien für mobile Endgeräte

TU Ilmenau (2020): [Online] Available at: <https://www.tu-ilmenau.de/vwds/forschung/forschungsprojekte/roadworks/> [Zugriff am 03. Februar 2020].

VAHRENKAMP; KOTZAB (2012): Logistik – Management und Strategie

VAN GEEM, C.; GAUTAMA, S. (2010): Mobile Mapping with a Stereo-Camera for Road Assessment in the frame of Road Network Management. Abstract

ZF Friedrichshaven AG (2019): [Online] Available at: <https://aftermarket.zf.com/go/de/openmatics/asset-tracking/hofmanagement/> [Zugriff am 17. Januar 2020].

## Tabellen

Tab. 2-1: Eigenschaften gängiger RFID-Systeme (Eigene Darstellung in Anlehnung an [VAHRENKAMP, 2012 und KOETHER, 2018])

Tab. 3-1: Gegenüberstellung Strich-/QR-Codes und RFID (Eigene Darstellung, DRC)

## Bilder

Bild 2-1: Anwendungsgebiete für NFC (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 2-2: Clientseitige Positionsbestimmung mit Beacons [infsoft GmbH, 2022]

Bild 2-3: Serverseitige Positionsbestimmung mit Beacons [infsoft GmbH, 2022]

Bild 2-4: Beispiel für einen QR-Code

Bild 2-5: Beispiel für einen QR-Code mit Weiterleitung auf URL

Bild 2-6: Übersicht über den Einsatz von IuK-Technologien im Straßenbetriebsdienst [BASt 2013]

Bild 2-7: Komponenten beim Asset Tracking (Orten von Gegenständen durch kontaktlose Funktechnik) [SCHMIDT & Co, 2022]

Bild 3-1: Systemskizze zum Ablauf (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 3-2: Systemskizze zur Visualisierung (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 3-3: Kombinierte Ortung von Tagesbaustellen (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 3-4: Konzeptskizze „Ortung von Objekten mit hoher Wichtigkeit“ (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 4-1: Vorgehen (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 4-2: Praxispartner für die Pilotanwendungen (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 4-3: Einordnung der zur Angebotsabgabe aufgeführten Unternehmen (Eigene Darstellung, DRC)

Bild 5-1: Darstellung von Fahrzeug, Verkehrs-sicherungsanhänger und Systemkomponenten (Eigene Darstellung in Anlehnung an Angebot Bieter, DRC)

Bild 5-2: Dokumentierte Montage der Systemkomponenten (netwake)

Bild 5-4: Webportal-Darstellung (Systemskizze)

- Bild 5-5: Präzise und fahrstreifengenaue Darstellung der Position im Webportal (Systemskizze)
- Bild 5-6: Darstellung von Sprüngen über weite Entfernungen im Webportal (Systemskizze)
- Bild 5-7: Darstellung von unübersichtlichen Streckenverläufen (Systemskizze)
- Bild 5-8: Fahrstreckenreport (Systemskizze)
- Bild 5-9: Fahrzeugposition 1 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)
- Bild 5-10: Fahrzeugposition 2 (Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA 2.0)
- Bild 5-11: Wochendaten (Screenshot aus projektspezifischem Webportal)
- Bild 5-12: 3D-Kamera für den Einsatz im Pilotprojekt „Entwässerungsmanagement“ (Eigenes Foto, DRC)
- Bild 5-13: Provisorischer Anbau der Kameraeinheit an einer Großkehrmaschine der NLStBV (Eigenes Foto, DRC)
- Bild 5-14: Eindeutig identifizierter Sinkkasten auf einem Autobahnrastplatz (Foto aus Pilotprojekt, iLocator)
- Bild 5-15: Erkennung der teilweise bedeckten Sinkkästen (Foto aus Pilotprojekt, iLocator)
- Bild 5-16: Plastiksack wird als Sinkkasten erkannt (Foto aus Pilotprojekt, iLocator)
- Bild 5-17: Etikettierte Lagerplätze (Eigene Fotos, DRC)
- Bild 5-18: Screenshots Warenwirtschaftssystem – Hauptmenü und Modul Bestellung (Screenshot aus projektspezifischer Handyapp)
- Bild 5-19: Screenshots Warenwirtschaftssystem – Modul Warenausgang (Screenshot aus projektspezifischer Handyapp)
- Bild 5-20: Erprobung bei der Warenentnahme im Lager der Zentralwerkstatt (Eigene Fotos, DRC)

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

#### 2021

**V 338: Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs**

Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 339: Aktualisierung der Datenbank MARLIS**

Schneider, Turhan, Pelzer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 340: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017** € 31,00

Fitschen, Nordmann

**V 341: Lebenszykluskostenbewertung von Schutzzeineinrichtungen**

Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 342: Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz**

Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00

**V 343: Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit**

Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50

**V 344: Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen** € 21,00

Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes

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

Liepert, Skowronek, Eberlei, Crljenkovic, Müller, Schady, Elsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 346: Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen**

Müller, Huth, Liepert € 15,00

**V 347: Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation**

Schwietering, Lößbering, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 348: Einsatz und Verkehrssicherheit von Fußgängerüberwegen** € 18,50

Bohle, Busek, Schröder

**V 349: Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**

Schreck-von Below € 22,00

**V 350: Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**

Bartolomäus, Strigari, Sammet  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 351: Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung – TAUSALA II**

Holldorb, Cypra, Pape  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

#### 2022

**V 352: Abriebe von Fahrbahnoberflächen** € 19,00

Düring, Schmidt, Johannsen

**V 353: Nutzung der C2X-basierten ÖV-Priorisierung an signalisierten Knotenpunkten**

Gay, Grimm, Otto, Partzsch, Gersdorf, Gierisch, Löwe, Schütze € 16,00

**V 354: Anwendung der Methode BIM in Konformität mit den Regelwerken der FGSV und des IT-Ko**

Radenberg, Müller, König, Hagedorn, Geistefeldt, Hohmann, Heinrichs, Stiehler, Kortemeyer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 355: Pilotversuch des Rechtsabbiegens von Rad Fahrern bei Rot**

Niestegge, Schüller, Hantschel, Schröter, Gerike  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 356: Entwicklung von Einsatzkriterien für Fußgänger-schutzanlagen mit unterschiedlichen Grundstellungen**

Medicus, Schmotz, Gerike, Reinartz, Baier  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 357: Qualifizierung der in Deutschland verwendeten Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit verbessertem Schutz für Motorradfahrer nach den aktuellen europäischen Spezifikationen**

Klößner, Gärtner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 358: Nutzenpotenziale von eCall im Verkehrsmanagement**

Schaarschmidt, van Driel, Reinthaler, Nitsche, Aleksa  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 359: Management von Neophyten – Ein Überblick über die aktuelle Situation auf Straßenbegleitflächen**

Bartels  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 360: Wirksamkeit von Tunnelwänden als Träger photokatalytischer Oberflächen – Hauptstudie**

Stephan, Ehm, Kamaruddin  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 361: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur**

Hess, Lohmeier, Mielecke, Kunz  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 362: Simulation des hochautomatisierten Fahrens auf Autobahnen mit kollektiver Streckenbeeinflussung**

Hilgers, Krabbe, Haug, Grimm, Kutter, Tempelhahn, Schwietering, Füg  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 363: PERTA – Passive Sicherheit in der Straßenausstattung**

Tomasch, Radeschnig, Dünser, Sinz, Gstrein  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 364: Verkehrsträgerübergreifender Austausch von Erneuerbarer Energie**

Chvanova, Haller, Leprich, U. Mayr, C. Mayr, Oßwald, Altrock, Gemmer, Michaels, Wagner € 23,50

**V 365: Bundesweite Verkehrsdaten 2019**

Schneider, Pelzer, Gallus, Dick, Lensing  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2023

**V 366: Akzeptanz und Verkehrssicherheit des Radverkehrs im Mischverkehr auf Hauptverkehrsstraßen**

Schüller, Niestegge, Hantschel, Kühn, Gerike, Huber  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 367: In Situ-Messungen von Reflexionseigenschaften von Fahrbahnoberflächen**

Schulze  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 368: Methoden zur Bewertung der Verbindungsqualität in Straßennetzen**

Friedrich, Bawidamann, Peter, Waßmuth € 20,00

**V 369: Verkehrsablauf an signalisierten Knotenpunkten mit hohem Radverkehrsaufkommen**

Fritz, Grigoropoulos, Kath, Baier, Reinartz, Schuckließ, Jung-hans, Lücken, Leonhardt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 370: Wissenschaftliche Begleitung des digitalen Testfelds auf der A9 zwischen München und Nürnberg**

Vierkötter, Mischnick, Spangler, Gerstenberger, Windmann, Nedkov, Emmermann, Haspel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 371: Begleitende Systemevaluation der Maßnahme: Sicheres Ausleiten bei BAG-Standkontrollen**

Fehn, Margreiter, Spangler, Bogenberger, Emmermann, Bengler, Vierkötter, Nedkov, Feldges, Holst  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 372: Autonome Systeme für Straßenbetriebsdienste (AETAS BAB)**

Lüpges, Kleer, Holldorb, Zielke  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 373: Modellanalyse Schadstoffimmissionen – Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität in drei Ballungsräumen**

Jakobs, Schneider, Toenges-Schuller, Düring, Hoffmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 374: Kriterien für die Beurteilung des Gefährdungspotenzials für Motorradfahrer durch scharfkantige Konstruktionsteile in Fahrzeug-Rückhaltesystemen**

Kathmann, von Heel, Schimmelpfennig, Reglitz, Kammel, Goergen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 375: noch nicht erschienen

**V 376: Innovative Datenerfassung und -nutzung im Straßenbetriebsdienst**

Hess, Best, Lohmeier, Temme  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

---

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.