

Elmar Pfannerstill
Christian Vollrath
Jörg Fuchs



Verfahren zur virtuellen Belegungs-
ermittlung von Lkw-Parkplätzen
Ergebnisse des Forschungsprojektes ViBelPark



**INSTITUT VERKEHR
UND RAUM**
der Fachhochschule Erfurt

Verfahren zur virtuellen Belegungsermittlung von Lkw-Parkplätzen

Ergebnisse des Forschungsprojektes ViBelPark

Abschlussbericht

Projektlaufzeit: 15.06.2016 - 14.03.2019

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Elmar Pfannerstill

Bearbeitung: Christian Vollrath, M.Sc.
Dipl.-Inf. Jörg Fuchs

Fördermittelgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Förderkennzeichen: 13FH065PX5

Datum: 15. November 2019

Institut Verkehr und Raum

Fachhochschule Erfurt

Altonaer Straße 25

D - 99085 Erfurt

Telefon: +49 (361) 6700 776

Telefax: +49 (361) 6700 757

E-Mail: info@verkehr-und-raum.de

Internet: www.verkehr-und-raum.de

Sofern nicht anders angegeben alle Abbildungen: eig. Bildarchiv / eig. Darstellung.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Hintergrund	2
3	Virtuelle Belegungsermittlung	3
3.1	Problematik herkömmlicher Sensorik.....	4
3.2	Belegungserfassung mit Fehlerkompensation	6
3.3	Konzeption und Aufbau einer Dauerzählstelle am Testfeld Eichelborn	7
4	Analyse und Auswertung der Messergebnisse.....	14
4.1	Langzeitmessung	16
4.2	Manuelle Belegungsermittlung.....	18
4.3	Exkurs: Auswertung der Aufenthaltszeiten.....	21
5	Erfassungsquote und Fehlerbetrachtung der Pilotanlage.....	22
5.1	Technische Störungen und Fehlerquellen.....	22
5.2	Fehler durch Nicht- oder Falscherfassung	25
6	Verwertung der Ergebnisse.....	27
6.1	Ansätze zur Informationsvermittlung der Belegungsdaten	27
6.2	Modell einer regionalen Kurzzeitprognose	28
6.2.1	Eingangsgrößen zur Prognose der Parkstandskapazitäten.....	29
6.2.2	Modellentwurf einer Prognoseanwendung	31
7	Schlussbetrachtung und Ausblick	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fahrbahnseitige Sensorsysteme mit Belegungsermittlung.....	4
Abbildung 2: Akkumulation der Fehler und Verfälschung der Belegungsstatistik.....	5
Abbildung 3: DSRC-/IR-Transceiver und OBU-Antenne	6
Abbildung 4: Luftbild T&R-Anlage Eichelborn Nord	8
Abbildung 5: Messaufbau Feldtest, T+R-Anlage Eichelborn Nord	8
Abbildung 6: Tagesganglinie der ersten Feldtesterhebung.....	9
Abbildung 7: Schematischer Aufbau der Versuchsanlage.	9
Abbildung 8: Transceiver und IP-Kamera, Induktionsschleife, Messrechner.....	10
Abbildung 9: Technischer Aufbau der Versuchsanlage	11
Abbildung 10: Grafisches User Interface des Messrechners	12
Abbildung 11: Datenerfassung- und -verarbeitung.....	14
Abbildung 12: Standardfall: Sattel-Lkw an Ein- und Ausfahrt, Vergleichssysteme	14
Abbildung 13: Fehlende Paarung (keine Registrierung an der Einfahrt)	15
Abbildung 14: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes (4 Wochen)	17
Abbildung 15: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes (8 Wochen)	17
Abbildung 16: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes (1 Woche).....	17
Abbildung 17: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes, minütliche Auflösung.....	18
Abbildung 18: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, geringe Auslastung	19
Abbildung 19: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, mittlere Auslastung	19
Abbildung 20: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, Überlastung	19
Abbildung 21: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, Überlastung.	19
Abbildung 22: Aufenthaltszeiten der an Ein- und Ausfahrt erkannten Lkw	21
Abbildung 23: Bilanzierte „Überfüllung“ des Testfeldes mit Kompensation	25
Abbildung 24: Blockieren des OBU-Transceivers	26
Abbildung 25: Registrierte OBU-ID in Fahrzeugen, die keinen Parkstand benötigen.....	26
Abbildung 26: Exemplarische Darstellung der Informationsvermittlung und Prognose.....	28
Abbildung 27: Konzeption der regionalen Kurzzeitprognose.....	29
Abbildung 28: Objektbeziehungsmodell (ERM) der Datenbank	30
Abbildung 29: Systementwurf eines Prototyps.....	32
Abbildung 30: Programmablauf der Prognoseanwendung (Prototyp)	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verfallszeiten zur Erfassungsfehlerkompensation	7
Tabelle 2: Funktionalitätsmerkmale der entwickelten Software	13
Tabelle 3: Überblick über die erfassten Daten	16
Tabelle 4: Vergleich automatisch und manuell ermittelte Belegung	20
Tabelle 5: Erfassungsquoten Ein- und Ausfahrt	22
Tabelle 6: Störungs- und Fehlerquellen	24
Tabelle 7: Leistungsaufnahme der Einzelkomponenten der Pilotanlage	25

Abkürzungsverzeichnis

API	A pplication P rogramming I nterface
BAG	B undesamt für G üterverkehr
BAST	B undesanstalt für S traßenwesen
BFStrMG	B undesfernstraßen m aut g esetz
BMBF	B undes m inisterium für B ildung und F orschung
CAN	C ontroller A rea N etwork
DSRC	D edicated S hort R ange C ommunication
ERM	E ntity R elationship M odel
GPRS	G eneral P acket R adio S ervice
GUI	G rafisches U ser I nterface
ID	I dentifikator
IR	I nfrarot
MDM	M obilitäts d aten m arkt p latz
OBU	O n- B oard- U nit
REST	R epresentational S tate T ransfer
SoC	S ystem- o n-a- C hip
T+R	T ank und R ast
TeleLaB	T elematische L ösungen zur Überbelegung von Lkw- Parkplätzen a n B undesautobahnen
TLBV	T hüringer L andesamt für B au und V erkehr
TLS	T echnische L ieferbedingungen für S treckenstationen
UTC	U niversal T ime C oordinated
ViBelPark	V irtuelle B elegungsermittlung von LKW- P arkplätzen
V2I	V ehicle to I nfrastructure

1 Zusammenfassung

Die Tank- und Rastanlagen (T+R-Anlagen) an hochfrequentierten Bundesautobahnen sind trotz umfangreicher Investitionen in zusätzliche Infrastruktur insbesondere in den Abend- und Nachtstunden von Überbelegung gekennzeichnet. Dabei sind selbst in hochbelasteten Streckenabschnitten noch Parkstände verfügbar, die aufgrund fehlender intelligenter Verkehrsleitsysteme ungenutzt bleiben. Ein zentrales Problem zur optimalen Planung und Kommunikation freier Parkstandskapazitäten ist hierbei die Ungenauigkeit von Fahrzeugdetektions- und Zählsystemen, die eine robuste Abbildung des Ist-Zustands der jeweiligen Parkstandsbelegung gewährleisten müssen.

Innerhalb des Forschungsprojektes „Virtuelle Belegungsermittlung von Lkw-Parkplätzen“ (ViBelPark) konnte diesem Problem erfolgreich begegnet werden. Projektziel war es, ein Verfahren zur zuverlässigen und vollautomatischen Erfassung aktueller Belegungsgrade von Lkw-Parkplätzen an Autobahnen zu entwickeln, das ohne die Nutzung aufwendiger neuer Infrastruktur oder klassisch-fahrbahnseitiger Sensorik auskommt. Dabei wurde einerseits der Nachweis der technischen Realisierbarkeit des Systems geführt und andererseits eine Prüfung und Validierung der Erfassungsgenauigkeit durchgeführt. Des Weiteren wurden im Rahmen des Projektes erste Ansätze zur regionalen Kurzzeitprognose der Parkstandsbelegungen sowie zur Informationsvermittlung der Belegungsdaten an Fahrpersonal und Disposition entwickelt.

Kernstück des Verfahrens ist die Verwendung der Transceiver-ID der sogenannten On-Board-Unit (OBU), die in fast jedem Lkw zur Mauterhebung verbaut ist und damit eine standardisierte Vehicle-to-Infrastructure (V2I)-Schnittstelle besitzt. Die Nutzung einer aktiven Datenkommunikation bietet erhebliche systembedingt Vorteile gegenüber sensorbasierten Objekterkennungsverfahren, bei denen die sich passiv verhaltenden Fahrzeuge zunächst aufwändig identifiziert werden müssen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Versuchsanlage an der T+R-Anlage Eichelborn (BAB A4) errichtet. Dabei wurde der Nachweis der technischen Realisierbarkeit des Systems sowie eine Prüfung und Validierung der Erfassungsgenauigkeit durchgeführt.

Das Forschungsvorhaben wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom 15.06.2016 bis 14.03.2019 an der Fachhochschule Erfurt und mit freundlicher Unterstützung des Thüringer Landesamtes für Bau und Verkehr (TLBV) bearbeitet. Als Praxis- und Finanzierungspartner beteiligten sich die Firmen EFKON GmbH, FEIG Electronic GmbH und DAKO GmbH, die neben einer Anteilsfinanzierung insbesondere Expertise und Hardware-Komponenten in den Bereichen Telematik und Logistikanwendungen einbrachten.

2 Hintergrund

Die gesetzlich vorgeschriebene tägliche Ruhezeit für Fahrpersonal im gewerblichen Güterverkehr beträgt mindestens 11 Stunden.¹ Davon abgeleitet, belegt ein Lkw im Fernverkehr vor allem während der Nachtstunden mindestens 11 Stunden einen Parkstand auf einer Parkplatzanlage an der Bundesautobahn. In den vergangenen 10 Jahren wurden rund 1,1 Mrd. Euro für den Ausbau von Lkw-Rastanlagen an Strecken mit hohem Parkstandsdefizit eingesetzt.² Trotz dieser umfangreichen Investitionen sind die Rastanlagen an deutschen Bundesautobahnen durch eine Überbelegung gekennzeichnet. Das betrifft insbesondere hochfrequentierte Hauptachsen und die Nachtstunden. Vor dem Hintergrund zunehmender Beförderungsmengen und -Leistungen im Straßengüterverkehr³, bleibt es auch künftig eine Herausforderung, sich dieser Problematik zu stellen.

Die Überbelegung der Rastanlagen und die vom Fahrpersonal erwartete Vollauss- oder Überbelastung der Parkstände führt dabei zu Sicherheitsrisiken. Mit dem Ziel, Lenkzeitüberschreitungen infolge einer erfolglosen Durchfahrt zu vermeiden, wird oftmals wegen scheinbar fehlender freier Parkstände ordnungswidrig auf nicht gekennzeichneten Flächen geparkt - häufig auch im Zufahrtsbereich der Parkplatzanlage. Dies führt zu Unfallgefahren für alle Verkehrsteilnehmenden an den Ein- und Ausfahrten und zu schlecht erholtem bzw. gestresstem Fahrpersonal.

Mithilfe telematischer Lösungen gilt es dem Fahr- und Dispositionspersonal Informationen über die Lage und Anzahl von freien Parkständen zu vermitteln. Bestenfalls können ggf. vorhandene freie Kapazitäten abhängig zur Ankunftszeit des Lkw an der Parkplatzanlage prognostiziert werden. Dadurch können Parksuchverkehre und das Einschränken oder Blockieren der Fahrtrassen und Zufahrten durch regelwidrig parkende Lkw minimiert und die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer maßgeblich erhöht werden.⁴

Aus der zuvor genannten Problemstellung ergeben sich damit folgende Handlungsbereiche:

1. Genaue Erfassung der Parkstandsbelegung
2. Übermittlung der Belegungsinformationen an das Fahrpersonal
3. Erstellung regionaler Kurzzeitprognose, die den voraussichtlichen Belegungsgrad zur geplanten Ankunftszeit darstellt

Schon die genaue Erfassung der belegten Parkstände stellt dabei eine Herausforderung dar: Bisher eingesetzte Fahrzeugdetektions- und Zählsysteme konnten keine robuste Abbildung des Ist-Zustands der jeweiligen Parkstandsbelegung gewährleisten⁵ oder erforderten erheblichen baulichen und finanziellen Aufwand zur Herstellung zusätzlicher Infrastruktur.

Durch die Anstrengungen im Forschungsprojekt ViBeLPark liegt nun eine zuverlässige Methodik zur Erfassung der Belegung von Parkplatzanlagen vor, die mit Industriekomponenten realisiert

¹ Vgl. VO (EG) 561/2006.

² Vgl. u.a. Deutscher Bundestag (2018): S. 181.

³ Vgl. Statistisches Bundesamt o.J.

⁴ Vgl. Dobschütz et al. (2012): S. 152ff.

⁵ Vgl. Kremtz (2011).

wird und keinen Eingriff in die Fahrbahnoberfläche benötigt. Die Methodik befindet sich im testweisen praktischen Einsatz auf der Tank- und Rastanlage (T+R-Anlage) Eichelborn Nord an der BAB A4. Hierdurch konnten eine umfangreiche Datenbasis sowie Betriebs- und Einsatzerfahrungen gesammelt werden.

Allein die Erfassung der benötigten Belegungsinformationen ist jedoch noch nicht ausreichend: Die gesammelten Belegungsdaten müssen genutzt werden, um mithilfe zusätzlicher Informationen (Route, Ankunftszeiten, Lenkzeiten) die für das Fahrpersonal optimale Parkplatzanlage vorherzusagen. Ziel ist eine vorausschauende Tourenplanung für Fahrpersonal und Disposition sowie eine effiziente Nutzung der Lenkzeiten und vorhandener Parkstände.

Das Projekt ViBeIPark hat sich dabei vorrangig auf die Entwicklung eines Verfahrens zur zuverlässigen und vollautomatischen Erfassung aktueller Belegungsgrade von Lkw-Parkplätzen an Autobahnen konzentriert (Kap. 3-5). Das entwickelte Verfahren kommt dabei ohne aufwendige und kostenintensive neue Infrastruktur aus und liefert gegenüber klassischer fahrbahnseitiger Sensorik erheblich validere Ergebnisse. Darüber hinaus wurden erste Ansätze zur Informationsvermittlung und zur regionalen Kurzzeitprognose entwickelt (Kap. 6).

3 Virtuelle Belegungsermittlung

Bereits 2005 wurde die streckenbezogene Straßenbenutzungsgebühr für schwere Nutzfahrzeuge im Straßenverkehr (sog. Lkw-Maut) eingeführt, zunächst für alle Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 12 t und seit Oktober 2015 ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 7,5 t. Als Betreiber der Mautinfrastruktur und Verantwortlich für die Erhebung und Abrechnung der Nutzungsgebühr wurde das Unternehmen Toll Collect GmbH beauftragt. Als Resultat aus der Einführung der satellitengestützten Lkw-Maut ist der größte Teil der Fahrzeuge (>90 %⁶) mit einer OBU ausgestattet. Zentrale Komponente der OBU ist ein GPS-Empfänger, mit dessen Hilfe eine Fahrzeugortung mit einer Genauigkeit von meist besser als 10 m durchgeführt werden kann. Weiterhin verfügt die OBU über Kommunikationsschnittstellen (Mobilfunknetz), um die für die Gebührenerhebung benötigten Daten zu übermitteln. Darüber hinaus existiert eine IR-DSRC⁷ Schnittstelle, die für Kontrollzwecke (Überwachung der ordnungsgemäßen Mauteinbuchung) vorgesehen ist und im Projekt ViBeIPark vorteilhaft Verwendung findet.

Verkehrsinformations- und Kommunikationsdienste durch Nutzung der Mautinformationen (sog. Mautmehrwertdienste) waren im Systemkonzept der Lkw-Maut zwar vorgesehen⁸, wurden aber bis heute nicht umgesetzt. Eine Analyse aus dem vorangegangenen und ebenfalls von der Fachhochschule Erfurt durchgeführten Forschungsprojekt „Telematische Lösungen zur Überbelegung von Lkw-Parkplätzen an Bundesautobahnen“ (TeleLaB) hat zudem ergeben, dass zur Schaffung der technischen Voraussetzungen für eine Übermittlung von Standortdaten ohne

⁶ Vgl. Woithe, (2011).

⁷ Dedicated Short Range Communication (DSRC) (semipassiver Transponder), hier mit optischer Signalübertragung mithilfe von Infrarot (IR)-Strahlung.

⁸ Vgl. BMVBS (2008): S. 32.

zeitliche Verzögerung eine umfangreiche Anpassung der Toll Collect-Systemarchitektur inklusive des flächendeckenden Einsatzes von OBU der neuesten Generation nötig wäre.⁹ Zusätzlich existieren weiterhin rechtliche Hürden durch das Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG).

Daher wurde im Projekt ViBeLPark der Ansatz einer Stellplatzbelegungsermittlung entwickelt, die auf bereits vorhandene Komponenten in Form von OBU-Abfragestationen (DSRC/IR-Abfragestation) und den fahrzeugseitig verbauten OBU zurückgreift (siehe Kap. 3.2). Diese Komponenten kommen bei Maut-Kontrollbrücken bzw. Kontrollfahrzeugen des Bundesamtes für Güterverkehr (BAG) zum Einsatz. Basierend auf der Kommunikation der genannten Hardware erfolgt eine automatisierte und zuverlässige Ermittlung der Lkw-Parkstände auf Basis eines Bilanzierungsverfahren mit Fehlerkompensation (*virtuelle* Belegungsermittlung).

3.1 Problematik herkömmlicher Sensorik

Zur Erzielung einer belastbaren Belegungsermittlung und einer hohen Nutzer-Akzeptanz bedarf es einer möglichst hohen Genauigkeit bei der Erfassung der aktuellen Parkstandsbelegung. Das Hauptproblem besteht dabei in der mangelnden Detektions- und Zählgenauigkeit der bisher eingesetzten Sensorsysteme.

Kern derzeitiger Konzepte ist i.d.R. ein klassisches Bilanzierungsverfahren aus der Verkehrsflussanalyse, das die Verkehrsdichte eines Streckenabschnitts bzw. den Belegungsgrad einer Parkplatzanlage aus der Differenz der einfahrenden (N_1) und ausfahrenden Fahrzeuge (N_2) zuzüglich eines als bekannt vorausgesetzten Anfangszustands (N_0) ermittelt (s. Abb. 1).

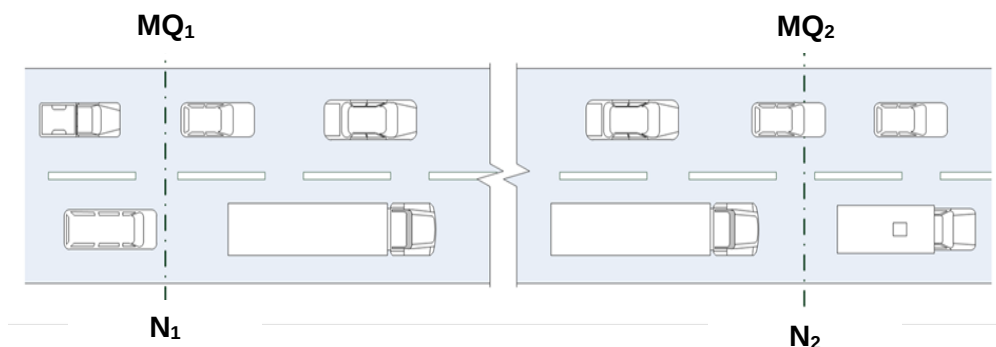


Abbildung 1: Fahrbahnseitige Sensorsysteme mit Belegungsermittlung zwischen zwei Messquerschnitten.

Aufgrund der Ausführung der Messquerschnitte (MQ₁ und MQ₂) als fahrbahnseitig verbaute Sensorik (bspw. als Induktionsschleife) und der damit verbundenen fahrbahnseitigen Fahrzeugzählung mit fehlerhafter Erfassungsgenauigkeit, weisen die Zählraten in der Praxis unbekannte und voneinander divergierende Fehler auf, die sich akkumulieren und i.d.R. zu einer völligen Verfälschung des Ergebnisses führen (s. Abb. 2).

⁹ Vgl. Pfannerstill; Apfelstädt (2013): S.67.

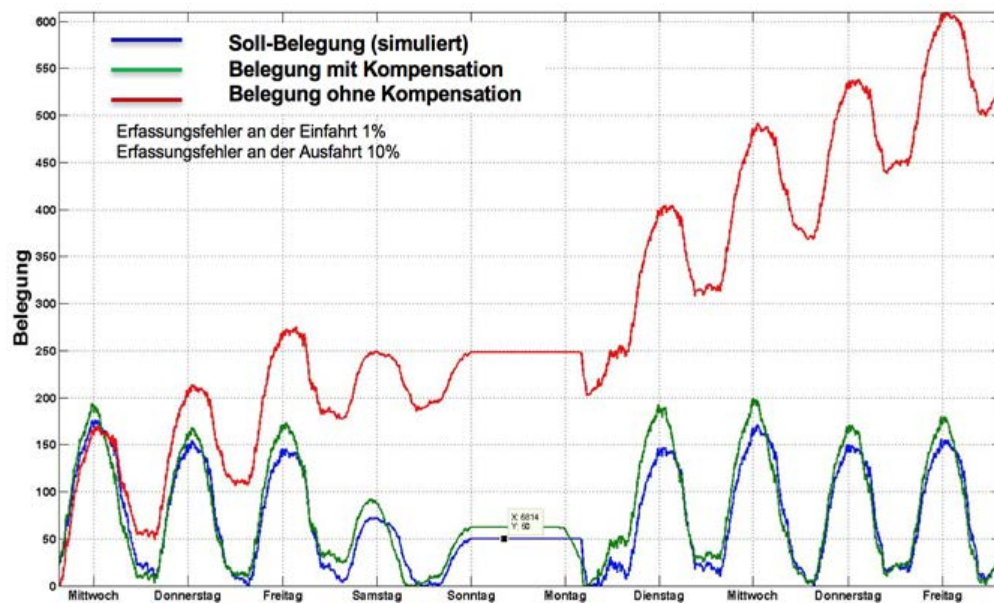


Abbildung 2: Akkumulation der Fehler und Verfälschung der Belegungsstatistik bei herkömmlichen Bilanzierungsverfahren (rote Kurve).

Die im Projekt verwendete Methodik (s. Kap. 3.2) erlaubt eine Fehlerkompensation (grüne Kurve).

In verschiedenen Bundesländern wurden Testeinrichtungen (Pilotanlagen) mit unterschiedlichen Ansätzen zur Reduzierung der Zählfehler installiert.¹⁰ Dabei wird i.d.R. versucht, Daten von Sensoren unterschiedlicher physikalischer Prinzipien (Laser, Mikrowellen, Video etc.) zu fusionieren. Das Problem der Fehlerakkumulation ist dadurch jedoch nicht grundlegend lösbar.

Des Weiteren stützen sich neue Ansätze zur Belegungsermittlung auf umfangreiche Infrastrukturveränderungen an den Parkplätzen (bspw. telematisch gesteuertes Kompaktparken¹¹) und liefern damit eine gängige Herangehensweise, die jedoch mit erheblichen Kosten verbunden ist. Eine Lösung für die bereits bestehenden 438 Tank und Rast(T+R)-Anlagen und die rund 1500 unbewirtschafteten Parkplätze¹² (Stand: Ende 2016), die ohne fahrbahnseitige und/oder wartungsbedürftige Sensorik auskommt, bleibt hingegen aus.

Vor diesem Hintergrund wurden im Forschungsprojekt TeleLaB alle bis dato in Deutschland existenten Pilotanlagen vollständig erfasst, im Rahmen einer Betreiberbefragung u.a. auf deren Detektionsgenauigkeit hin untersucht und in einer Stärken-Schwächen-Analyse zusammengestellt.¹³ Zudem wurden verschiedene Detektionsmethoden auf Ihre Anwendbarkeit im vorgesehenem Einsatzzweck untersucht.¹⁴ Im Ergebnis konnte hohes Potenzial zur Reduktion von Detektionsfehlern insbesondere in der Methode der Fahrzeugwiedererkennung mittels geeigneter

¹⁰ Vgl. u.a. Kleine; Lehmann (2011).
Pfannerstill et al. (2012).
SWARCO TRAFFIC SYSTEMS GmbH (2014): S. 57.
Dobschütz et al. (2012): S.152ff.

¹¹ Vgl. Lehmann et al. 2016: 203ff.

¹² Vgl. Deutscher Bundestag (2018): 180f.

¹³ Vgl. Kremtz, (2011).

¹⁴ Vgl. Pfannerstill; Apfelstädt (2012).
Pfannerstill; Apfelstädt (2013).
Pfannerstill et al. (2012).

Sensorsysteme identifiziert werden. Grundsätzlich handelt es dabei sich um keine neue Technik: Die technischen Grundlagen und die Herangehensweise sind bereits umfassend bekannt und untersucht.¹⁵ Die zielgerichtete Belegungserfassung an Parkplätzen stellt jedoch einen neuen Einsatzzweck dar.

3.2 Belegungserfassung mit Fehlerkompensation

Um eine zielgerichtete Erfassung der Parkstandsbelegung mit minimalem Aufwand zu gewährleisten, wird auf eine fahrzeugseitig bereits verbaute Technik zurückgegriffen. In der OBU liegen die Positionsdaten zur Erhebung der Lkw-Maut vor, die Gebührendaten werden über Mobilfunk (GPRS) übertragen. Des Weiteren existiert eine V2I-Schnittstelle, mit der ortsbezogene Daten zur Mautkontrolle abgefragt werden können. Mithilfe von lokalen DSRC-/IR-Abfragestationen dient diese Schnittstelle zur eindeutigen Registrierung der OBU-ausgerüsteten Fahrzeuge bei der Parkplatz-Ein- und Ausfahrt. Dabei wird die eindeutige Transceiver-ID der aktiven OBU-Antenne abgefragt, welche die Funktion eines anonymisierten, elektronischen Kennzeichens übernimmt und mit einer hohen Genauigkeit erfasst wird (laut Toll Collect liegt die Erfassungsquote über 99%). Aus Datenschutzgründen wird ausschließlich die Transceiver-ID erfasst. Die Abbildung 3 zeigt den Transceiver, wie er als Bestandteil der DSRC-/IR-Abfragestation zum Einsatz kommt, sowie die OBU-Antenne, die üblicherweise im Lkw verbaut ist und dort mit der OBU (On-board-Unit) kommuniziert.



Abbildung 3: DSRC-/IR-Transceiver (links) und OBU-Antenne (rechts).

Da auch die Erfassung der OBU-ID nicht 100 % fehlerfrei erfolgt und zudem Ausfälle der Anlage einkalkuliert werden müssen (s. Kap. 5) ist die Kompensation der ggf. auftretenden Fehler mithilfe entwickelter Softwaremodule notwendig. Die Belegungsermittlung erfolgt auch hier mithilfe eines Bilanzierungsverfahrens, welches jedoch durch die Fahrzeugwiedererkennung auf eine tragfähige Datenbasis zurückgreift. Gleichzeitig wird der Transceiver-ID-Registrierung bei der Einfahrt eine Verfallszeit mitgegeben, nach deren Ablauf davon ausgegangen wird, dass ein an der Ausfahrt nicht registrierter Lkw die Anlage spätestens verlassen haben muss. Damit kann gewährleistet werden, dass Fahrzeuge, die ggf. beim Ausfahren nicht erkannt werden, nach einer festgelegten Zeitspanne aus der rechnerisch ermittelten Belegung gestrichen werden, um eine Akkumulation der Zählfehler zu vermeiden. Die Zeitspannen richten sich dabei

¹⁵ Vgl. u.a. Pfannerstill (1983).
Pfannerstill; Ziegler (1985).

einerseits nach den Vorgaben der Verordnung (EG) 561/2006, welche u.a. die Mindestruhezeiten von Fahrpersonal im gewerblichen Güterverkehr regelt. Demnach beträgt die regelmäßige tägliche Mindestruhezeit 11 Stunden, die einen ununterbrochenen Zeitraum von mindesten 9 Stunden umfassen muss.¹⁶ Andererseits wurden die Verfallszeiten mithilfe der Aufenthaltszeiten der registrierten Fahrzeuge auf dem Testfeld angepasst (s. Abb. 22 in Kap. 4.3). So konnte bspw. festgestellt werden, dass an Wochenenden zahlreiche Fahrzeuge auf der Raststätte verbleiben. Dementsprechend wurden folgende Verfallszeiten für die Kompensation der Erfassungsfehler festgelegt (s. Tab. 1).

Verfallszeiten zur Erfassungsfehlerkompensation	
Werktage (Montag 0:00 Uhr bis Freitag 18:00 Uhr)	12 h
Wochenende (Freitag 18:00 Uhr bis Sonntag 24:00)	72 h

Tabelle 1: Verfallszeiten zur Erfassungsfehlerkompensation.

Die Vorgehensweise der Festlegung von festen Maximalaufenthaltszeiten hat eine geringfügige Unschärfe in der Datenauswertung zur Folge und bietet Optimierungspotential. Die Auswertung der Aufenthaltszeiten zeigt eine sehr diverse Verteilung der Verweildauern auf dem Testfeld. Eine dynamische Herangehensweise (bspw. Wahrscheinlichkeitsberechnungen) kann hierbei zukünftig Abhilfe schaffen.

3.3 Konzeption und Aufbau einer Dauerzählstelle am Testfeld Eichelborn

Die vom Projektpartner EFKON zur Verfügung gestellten Hardware-Komponenten wurden zunächst unter Laborbedingungen getestet. Es handelt sich hierbei um einen Transceiver vom Typ „IS TR P10“, der standardmäßig zur Kontrolle der ordnungsgemäßen Lkw-Einbuchung auf Mautkontrollbrücken eingesetzt wird. Die Kommunikation mit dem Transceiver wurde mit Hilfe des Software Development Kit von EFKON realisiert.

In einem anschließenden Feldversuch gelangten die Hardware-Komponenten zu einem ersten, zunächst mobilen testweisen Einsatz zur Überprüfung der Eignung des Systems zur Belegungsermittlung. Gemeinsam mit dem TLBV wurden die T+R Anlagen in Thüringen auf deren verkehrliche und technische Eignung zur Errichtung einer Pilotanlage, die im Dauerbetrieb arbeiten sollte, geprüft. Im Ergebnis wurde die T+R-Anlage Eichelborn Nord ausgewählt. Diese liegt an der Bundesautobahn A4 in Fahrtrichtung Frankfurt zwischen den Anschlussstellen Nohra und Erfurt-Vieselbach. Die Abbildung 4 zeigt ein Luftbild der Anlage mit dem Grobkonzept zur Positionierung der Messstellen im ersten Versuchsaufbau.

¹⁶ Art. 4 VO (EG) 561/2006.



Abbildung 4: Luftbild T&R-Anlage Eichelborn Nord mit Markierung der Positionen der Mess- und Zähleinrichtung (Quelle des Luftbildes: Google LLC).

Der erste Feldversuch wurde vom 28.11.2016 bis 02.12.2016 mit mobiler Gerätetechnik durchgeführt. Ziel war es erste Realdaten zu generieren, die mit der entwickelten Auswertungsmethodik und Software verarbeitet werden konnten und so die Funktionsfähigkeit und das Zusammenwirken aller Komponenten und Module zu testen und ggf. zu optimieren.

Die Transceiver wurden für den Feldversuch provisorisch an Ein- und Ausfahrt an vorhandenen Masten befestigt, dabei wurde Ausrichtung so gewählt, dass der sensorseitige Erfassungsbereich maximal genutzt werden konnte (s. Abb. 5).



Abbildung 5: Messaufbau Feldtest, T+R-Anlage Eichelborn.

Links: Ausfahrt, rechts: Einfahrt.

Die vom Transceiver im Feldversuch erfassten Daten wurden an einen temporär vor Ort eingesetzten Rechner übermittelt und bestanden lediglich aus der fahrzeugseitig abgefragten individuellen Antennen-ID und eines vom PC generierten Zeitstempels. Auf alle weiteren (mautrelevanten) Daten des Fahrzeuges und des Halters, welche innerhalb der nachgelagerten Fahrzeug-OBUs verarbeitet werden, besteht Systembedingt kein Zugriff. Als Referenzerhebung erfolgte bei diesem Test zunächst die permanente manuelle Erfassung der ein- und ausfahrenden Lkw.

Als zentrales Ergebnis des Feldversuches konnte festgehalten werden, dass sowohl das entwickelte Experimentaldesign, als auch die eingesetzten Hardware-Komponenten für den Forschungsgegenstand grundsätzlich geeignet sind und bereits bei einem ersten, zeitlich beschränkten mobilen Einsatz valide Ergebnisse lieferten (s. Abb. 6).

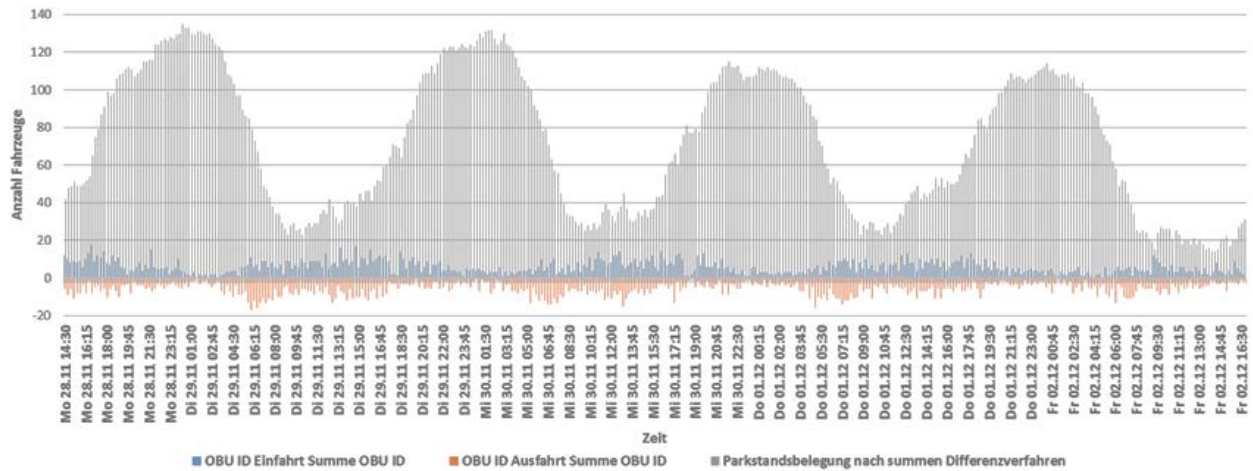


Abbildung 6: Tagesganglinie der ersten Feldtesterhebung vom 28.12.2016 bis 02.12.2016.

Erfasste Fahrzeuge Einfahrt (blau), erfasste Fahrzeuge Ausfahrt (rot), bilanzierte Belegung (grau).

Im Rahmen des Forschungsprojektes eröffnete das TLBV die Möglichkeit, eine erheblich erweiterte Infrastruktur (insbesondere permanente Stromversorgung) zur Verfügung zu stellen. Darauf aufbauend wurde gemeinsam mit den Projektpartnern EFKON und FEIG ein erweitertes Experimentaldesign entworfen. Abbildung 7 stellt den erweiterten schematischen Gesamtaufbau der Anlage dar.

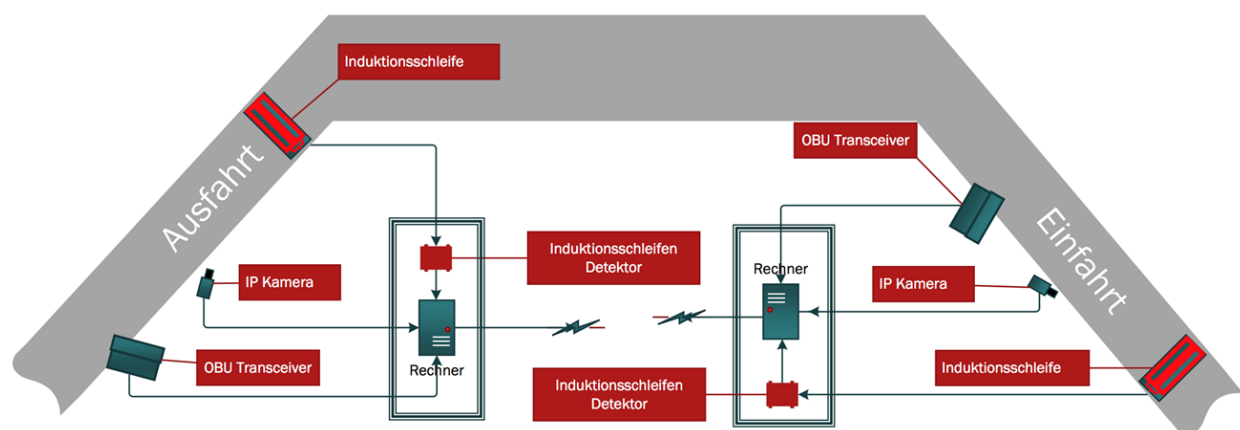


Abbildung 7: Schematischer Aufbau der Versuchsanlage.

Die bereits beschriebenen Transceiver zur Abfrage der OBU -ID bilden dabei weiterhin den Kern der Versuchsanlage. Als Vergleichssysteme wurden zusätzlich an Ein- und Ausfahrt Induktionsschleifen verlegt und aus Datenschutzgründen niedrig auflösende IP-Kameras installiert.

Funktionsweise der Induktionsschleife

In die Fahrbahndecke eingelassene Kabelschleifen ermöglichen mithilfe elektromagnetischer Induktion die Erkennung von Fahrzeugen. Die Kabelschleife bildet dabei eine Spule, deren Induktivität Bestandteil eines elektromagnetischen Schwingkreises ist. Beim Überfahren der Kabelschleife durch die Eisenmasse eines Fahrzeugs ändert sich die Induktivität der Spule. Dies führt zur Änderung der Schwingkreisfrequenz (sog. Verstimmung), die mithilfe eines Induktionsschleifendetektors erfasst und als Verstimmungskurve dargestellt werden kann (Beispiele für Verstimmungskurven finden sich u.a. in Abb. 10; 12; 13). Die Verstimmungskurven stellen zudem Fahrzeugmuster dar, wodurch neben der Erkennung auch eine Klassifikation der Fahrzeuge ermöglicht wird (bspw. Pkw, Pkw mit Anhänger, Lkw, Lkw mit Anhänger). Durch den Einsatz von Doppelinduktionsschleifen lässt sich auch die Überfahrtsgeschwindigkeit bestimmen.

An der T+R-Anlage Eichelborn Nord wurden als Vergleichssystem jeweils an Ein- und Ausfahrt Doppelinduktionsschleifen verlegt. Der hierbei verwendete Induktionsschleifendetektor des Projektpartners FEIG liefert eine eigene Fahrzeugklassifikation und ist nach der TLS 2012 BAST zertifiziert für die Verkehrsdatenerfassung. Die Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) erlauben Fehler innerhalb vorgegebener Grenzen.¹⁷ Derartige Fehler konnten im Vergleich mit der OBU-Erfassung festgestellt werden. Daher wird der Induktionsschleifendetektor nicht als „Referenz“- sondern als Kontroll- bzw. Vergleichssystem behandelt.

Durch den Einsatz des Vergleichssystems konnten die Messergebnisse der Abfragestationen verglichen und überprüft werden, um bei Fehlern oder ggf. unplausiblen Ergebnissen Erklärungen (bspw. durch spezielles Fahrverhalten o.ä.) zu erhalten. Eine zusätzliche Kommunikationsschnittstelle ermöglicht zudem den Fernzugriff und die Übertragung der Auswertungsdaten per Mobilfunk. Durch den Dauerbetrieb der Versuchsanlage konnten aussagekräftige Daten über einen langen Versuchszeitraum erfasst werden. Die Abbildungen 8 und 9 stellen die hardwareseitigen Installationen für die Versuchsanlage im Detail dar.



Abbildung 8: Links: Transceiver und IP-Kamera, Induktionsschleife. Rechts: Messrechner (inkl. Zusatz-Hardware) und Induktionsschleifendetektor.

¹⁷ Vgl. BMVI (2012).

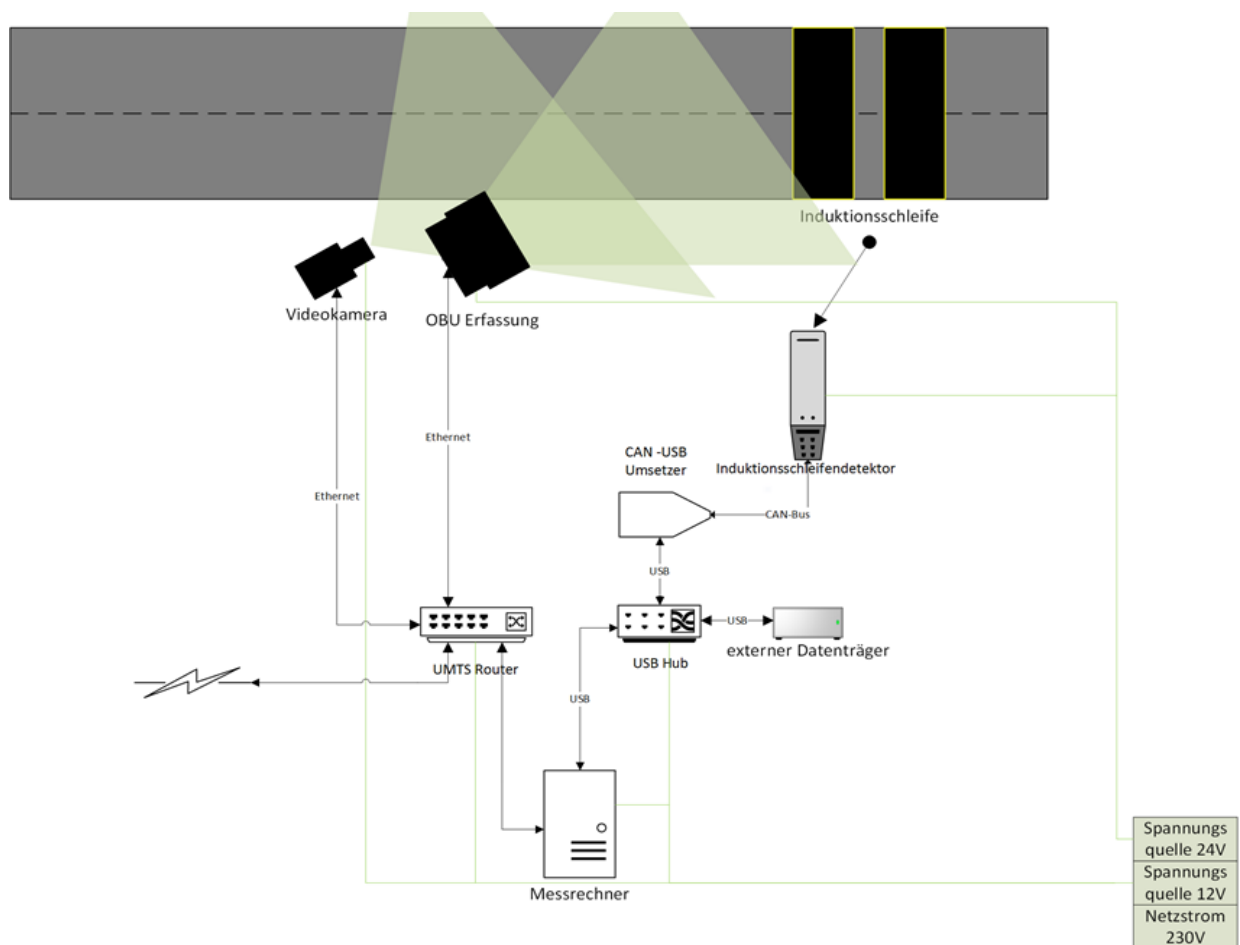


Abbildung 9: Technischer Aufbau der Versuchsanlage (exemplarisch für Ein- und Ausfahrt).

Die Erweiterung der Versuchsanlage zog auch eine wesentliche Erweiterung der benötigten Softwarekomponenten nach sich, um die Erfassung sämtlicher Eingangsdaten, deren Verarbeitung und Übertragung bis zur letztendlichen Berechnung und Darstellung der Parkstandsbelegung zu gewährleisten. Im Wesentlichen besitzt die entwickelte Software folgende Funktionsmerkmale (s. Tab. 2).

Kommunikation mit den Transceiver-Einheiten
- Implementierung des vom Projektpartner EFKON zur Verfügung gestellten Kommunikationsprotokolls zur Erfassung der OBU-ID und Einbindung in die zugehörige Bibliothek - Abfrage der Transceiver-Einheit mit einer Taktrate von 500 ms
Sicherung der empfangenen Daten
- Analyse der vom Transceiver erhaltenen Antworten, Formatierung und Speicherung - Speicherung erfolgt lokal in separater Datei je Kalendertag.
Darstellung der empfangenen Daten
Anzeige der vom Transceiver empfangenen Daten in einem selbstentwickelten grafischen User Interface (GUI) zur Überprüfung der Kommunikation (s. Abb. 10)



Abbildung 10: Grafisches User Interface des Messrechners.

- Berechnung der Gesamtzahl der detektierten Fahrzeuge
- Darstellung erfolgt in Tabellenform mit Uhrzeit und OBU-ID des betreffenden Fahrzeugs

Initialisierung und Abfrage der Aktivität des Induktionsschleifendetektors

- Konfiguration des Detektors, inkl. automatischer Ermittlung der Induktionsschleifenkombination, Festlegung von Erfassungsschwellenwert und Abfragezyklus
- Kommunikation mit dem Detektor über ein CAN-Protokoll¹⁸ im 5 ms-Takt
- Bei Fahrzeugdetektion Rücksendung der Verstimmungskurve (=Fahrzeugmuster)
- Bei besonderen Ereignissen selbständige Sendung von Daten außerhalb des Abfragezyklus'

Analyse der empfangenen Daten

- Analyse und Prüfung der empfangenen Daten
- Analoge Analyse bei selbständig gesendeten Datenpakten

Weiterverarbeitung der erfassten Fahrzeugmuster sowie der detektorinternen Klassifikation

- Formatierung und Sicherung der Verstimmungskurven auf einem lokalen Rechner
- Formatierung und Sicherung der Verstimmungskurven bei selbständig gesendeten Datenpaketen
- Auf Grund großer Datenmengen erfolgt die Sicherung in separaten Dateien für jede Stunde

Darstellung der erfassten Verstimmungskurven

- Grafische Darstellung der Verstimmungskurven in einer GUI zur Kontrolle der Messstellenfunktion
- Farbliche Trennung der Verstimmungskurven verschiedener Messstellen
- Darstellung des Kommunikations-Streams in der GUI als Textfeld

Kommunikation mit den Kameras

- Darstellung des Livebildes

¹⁸ Controller Area Network (CAN)-Bus ist eine standardisierte Schnittstelle zur Übertragung von Information zwischen einzelnen Hardware-Komponenten innerhalb eines Systems. Dabei werden alle Komponenten an eine gemeinsame Datenleitung angeschlossen (Busleitung). Das CAN-Protokoll definiert das Zugriffsverfahren und ermöglicht das Ansprechen der einzelnen Komponenten.

• Speicherung der bei Ereignissen erfassten Bilder und Videos
Vergleichen der OBU-IDs von Ausfahrt und Einfahrt
• Zusammenführung der unterschiedlichen Messstellendaten • Identifikation der OBU-IDs an Ein- und Ausfahrt • Rechnerische Ermittlung der Parkstandsbelegung anhand identifizierter OBU-IDs • Grafische Darstellung der Parkstandsbelegung

Tabelle 2: Funktionalitätsmerkmale der entwickelten Software.

Die entwickelte Software gewährleistet letztendlich die Kommunikation des Messrechners mit den Hardware-Komponenten (OBU-Transceiver, Schleifendetektor, Kamera) und ermöglicht die Speicherung der entsprechend erfassten Daten. Alle Erfassungseinrichtungen werden zeit-synchronisiert, sodass eine vergleichbare Echtzeitdarstellung der erhobenen Daten möglich ist. Zusätzlich werden die Daten auf einem externen Datenträger (Backup) gesichert und für die Übertragung über das Mobilfunknetz vorbereitet (Komprimierung).

In der Versuchsanlage erfolgen lediglich Datenerhebung und -speicherung. Vor Ort wurden Messrechner installiert, deren Rechenleistung neben der Speicherung lediglich die Darstellung zulassen. Die algorithmusgestützte Datenauswertung mithilfe der beschriebenen Softwaremodule erfolgt zentral. Dabei werden die OBU-ID-Paarungen der Ein- und Ausfahrt zunächst einander zugeordnet und anschließend die Belegung der T+R-Anlage automatisch ermittelt. Des Weiteren erfolgt ein Vergleich der Datensätze, um ggf. fehlende Paarungen zu identifizieren. Eine fehlende Paarung ergibt sich, wenn a) ein Lkw an der Einfahrt, nicht jedoch an der Ausfahrt registriert bzw. b) an der Ausfahrt, nicht jedoch an der Einfahrt registriert wurde. Im Fall a) greift anschließend das Kompensationsverfahren, und vermeidet so die Akkumulation der Fehler. Eine Live-Belegungsermittlung mit entsprechend ertüchtigter Computer-Technik am Erfassungsort (T+R-Anlage) ist zukünftig anzustreben.

Überdies erfolgt unter Einbezug des Vergleichssystems eine parallele Auswertung der Daten, zur Analyse der auftretenden Fehler und zu Optimierung des Gesamtsystems. Dabei werden mithilfe der jeweils gespeicherten Zeitstempel die erfassten OBU-ID, die Daten der Induktionsschleife (Verstimmungskurve) und die Kamerabilder einander zugeordnet. Die bereits bekannten fehlenden OBU-ID-Paarungen können so im nächsten Schritt mithilfe der Vergleichsdaten ergänzt werden. Dabei kann die Ergänzung der jeweils fehlenden OBU-Erfassung an Ein- oder Ausfahrt mithilfe einer Mustererkennung der oftmals individuellen Induktionsschleifenverstimmung oder mithilfe einer manuellen Suche nach Paarung in den Kamerabildern erfolgen. Hieraus lassen sich Fehlerursachen identifizieren und abstellen sowie ggf. Erfassungsquoten bestimmen (s. Kap. 5). Die Abbildung 11 gibt einen Überblick über die einzelnen Schritte der Datenauswertung.

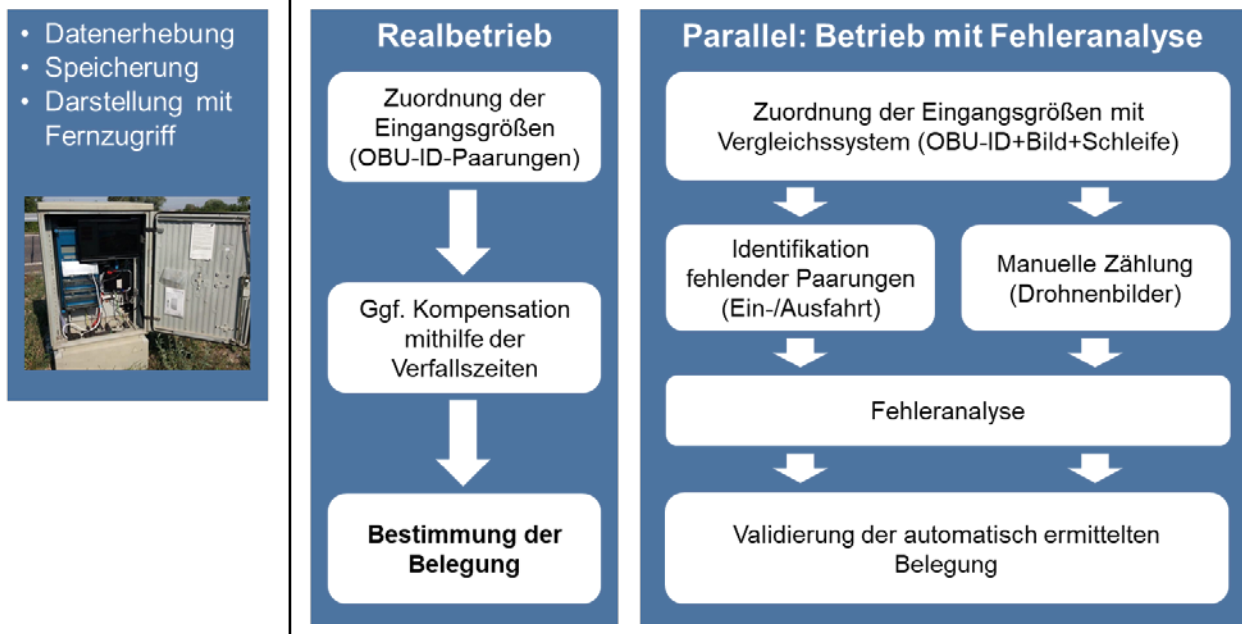


Abbildung 11: Datenerfassungs- und -verarbeitung.

4 Analyse und Auswertung der Messergebnisse

Die Langzeitmessungen begannen mit Fertigstellung der Versuchsanlage im Februar 2018 auf dem Testfeld. Nach Beseitigung einiger Anlaufschwierigkeiten und Optimierung des Systemkonzepts werden seit 15. Mai 2018 dauerhaft Daten an Ein- und Ausfahrt der T+R- Anlage Eichelborn Nord erfasst, womit die Lkw-Belegung des Testfeldes ermittelt werden kann. Die Anlage liefert im Dauerbetrieb relevante Daten für jedes erfasste Fahrzeug, die für die weitere Analyse zur Verfügung stehen. Die Abbildung 12 zeigt ein Beispiel für den Standardfall (Sattelzug mit OBU-ID) für Ein- und Ausfahrt.



Abbildung 12: Standardfall: Sattel-Lkw (OBU-ID 3820639D) an Ein- und Ausfahrt erfasst sowie Daten der Vergleichssysteme (Kamerabild und Verstimmungskurve mit automatischer Klassifikation).

Aus den gewonnenen Daten des Vergleichssystems (Kamerabild und Induktionsschleife) konnten zudem Aussagen zur Detektionsgenauigkeit der gesamten Anlage ermittelt werden. Dabei werden technisch bedingt gelegentlich Fahrzeuge, die mit einer OBU ausgestattet sind, nur an der Ein- oder Ausfahrt erkannt. Mithilfe des Induktionsschleifendetektors können die ein- und ausfahrenden Fahrzeuge zusätzlich anhand ihrer Fahrzeugmuster (Mustererkennung der Verstimmungskurven, s. Kap. 3.3) zugeordnet werden, um solche fehlenden Paarungen zu ergänzen (s. Abb. 13).



Abbildung 13: Fehlende Paarung (keine Registrierung an der Einfahrt), Vervollständigung der Paarung anhand Mustererkennung der Verstimmungskurve und Kamerabild.

Die ersten Ergebnisse aus dem absolvierten Feldtest zeigten bereits die grundsätzliche Eignung des Systems zur Ermittlung der Echtzeitbelegung (s. Abb. 6 in Kap. 3.3). Die aus den Langzeitmessungen gewonnenen Daten bestätigen dies und wurden zur Überprüfung der technischen Realisierbarkeit und zur Optimierung des Systemkonzepts ausgewertet. Die Daten der virtuellen Erhebung mittels OBU-Abfragestation wurden zudem mit den Ergebnissen des infrastrukturbasierten Bilanzierungssystems verglichen. Im Folgenden werden die Analyseergebnisse dargestellt. Einen Gesamtüberblick über die erhobenen Daten gibt dabei die Tabelle 3.

Überblick über erhobene Daten	
Erfassungszeitraum	Seit 15.05.2018
Auswertungszeitraum	15.05.2018 bis 24.06.2019
Erhobene OBU-Datensätze/ registrierte Fahrzeuge im Auswertungszeitraum	194.108
Durchsatz des Testfeldes im Auswertungszeitraum	rd. 480 Lkw/d
Durchschnittliche Maximalbelegung im Auswertungs- zeitraum, Tageswechsel Mo zu Di ¹⁹	170 Lkw auf der T+R-Anlage
Höchste manuell ermittelte Belegung ²⁰ im Auswer- tungszeitraum	153 Lkw auf der T+R-Anlage
Anzahl der manuellen Zählungen	87
Anzahl der Parkstände auf dem Testfeld	90

Tabelle 3: Überblick über die erfassten Daten.

Die manuellen Zählungen werden mithilfe von Drohnenaufnahmen durchgeführt (s. Kap. 4.2).

Beachtenswert sind hierbei insbesondere die gemessenen Überbelastungen, die durch regelwidriges Parken auf allen freien Flächen (bspw. Pkw-Parkstände, Einfahrtsbereiche der Tankstelle, Fahrgassen etc.) möglich ist.

4.1 Langzeitmessung

Die Abbildungen 14 bis 17 zeigen Auszüge der Langzeitmessung in verschiedenen Zeitabschnitten und Auflösungen. Die Belegung der Anlage ist zu Wochenbeginn am höchsten und nimmt zum Wochenende immer stärker ab. Dabei handelt es sich um ein für diese Anlage individuelles Merkmal. Je nach Lage der Anlage zu den deutschlandweiten Fernverkehrshauptachsen und je nach Fahrtrichtung sind andere Wochenverteilungen zu erwarten. Weiterhin ist die tägliche Belegung in den Abend- und Nachtstunden am höchsten. Dabei befinden sich an allen Wochentagen zwischen 21 Uhr und 0 Uhr (UTC²¹), also zwischen 23 Uhr und 2 Uhr des Folgetages (UTC + 1h + 1h Sommerzeit) jeweils die meisten Fahrzeuge auf der Anlage.

¹⁹ Zum Tageswechsel Montag u Dienstag ist die Auslastung auf dem Testfeld T+R-Anlage Eichelborn Nord am stärksten.

²⁰ Zeitpunkt der Aufnahme: 14.05.2019.

²¹ Der vom OBU-Transceiver gelieferte Zeitstempel bezieht sich auf die koordinierte Weltzeit bzw. Universal Time Coordinated (UTC).

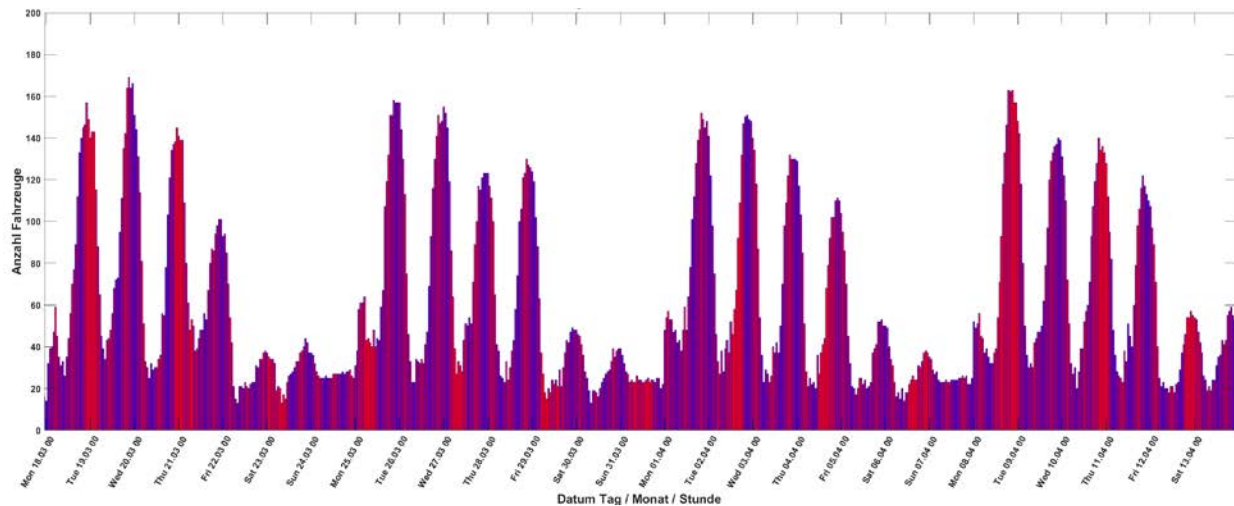


Abbildung 14: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes T+R Eichelborn Nord im Zeitraum 18.03.2019 bis 14.04.2019 (4 Wochen) in stündlicher Auflösung (UTC).

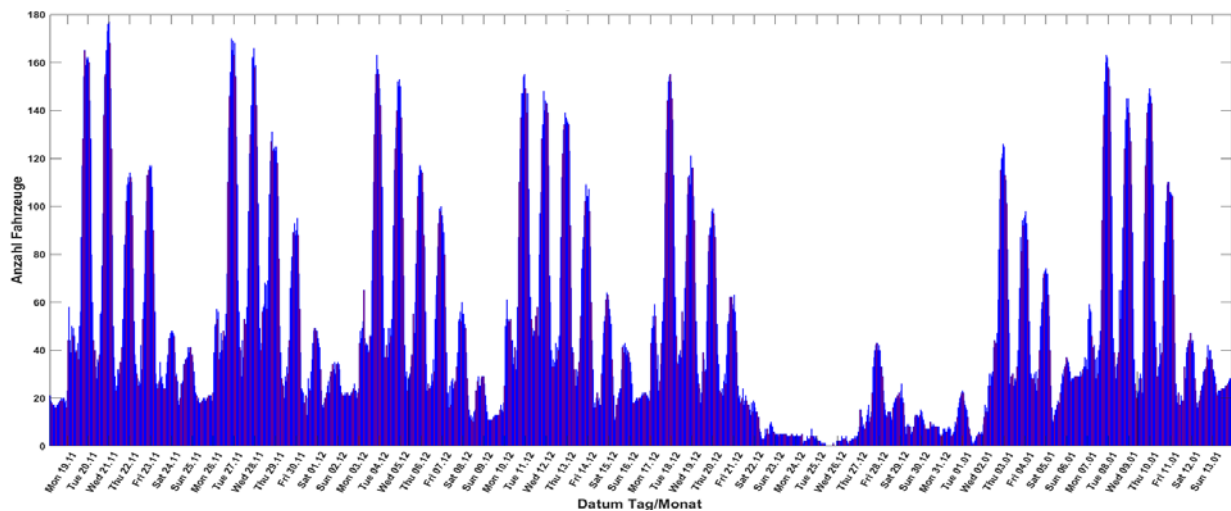


Abbildung 15: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes T+R Eichelborn Nord im Zeitraum 19.11.2018 bis 14.01.2019 (8 Wochen) in stündlicher Auflösung (UTC).

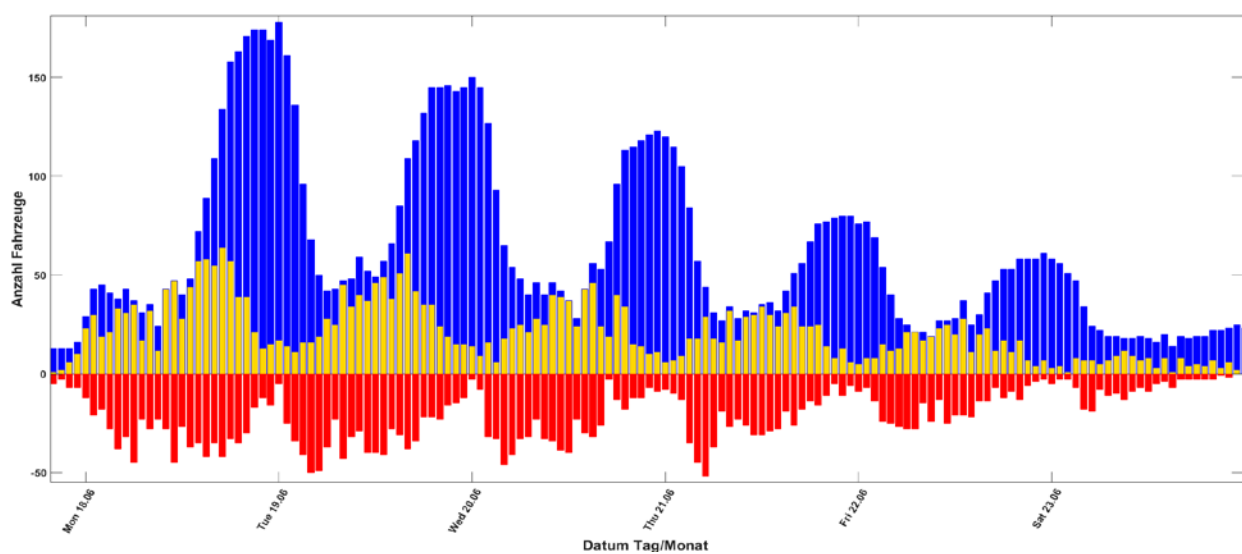


Abbildung 16: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes T+R Eichelborn Nord im Zeitraum 18.06.2018 bis 24.06.2018 (1 Woche) in stündlicher Auflösung (UTC), mit Summenwerten von Einfahrt (gelb) und Ausfahrt (rot).

Die Abbildungen 14, 15 und 16 zeigen den o.g. typischen Wochengang des Testfeldes T+R Eichelborn Nord. Dabei konnte am 17.7. (Abb. 14) eine Überbelastung der Anlage mit 169 Fahrzeugen und am 20.11.2018 (Abb. 15) eine Überbelastung von 177 Fahrzeugen festgestellt werden. Des Weiteren ist der massive Rückgang registrierter Fahrzeuge an den Weihnachtsfeiertagen und über den Jahreswechsel 2018/2019 zu beobachten. Die Abbildung 16 zeigt neben der ermittelten Belegung des Testfeldes auch die zugrundeliegenden Einfahrten (positiv) und Ausfahrten (negativ) registrierter Fahrzeuge eines typischen Wochengangs. Einen genaueren Überblick über Belegungsverlauf gibt zudem die Abbildung 17, welche die Belegung in einer minütlichen Auflösung zweier typischer Tage (Mittwoch und Donnerstag) wiedergibt.

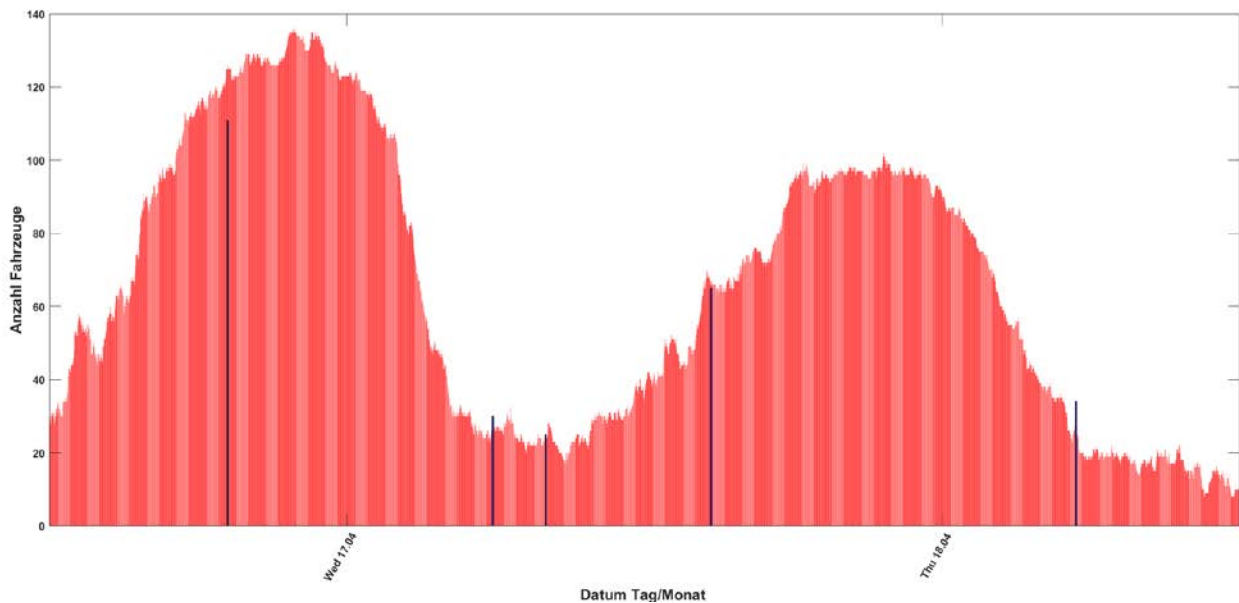


Abbildung 17: Ermittelte Parkstandsbelegung des Testfeldes T+R Eichelborn Nord im Zeitraum 17.04.2019 bis 18.04.2019 in minütlicher Auflösung (UTC), mit manuellen Zählungen (schwarz).

4.2 Manuelle Belegungsermittlung

Gleichzeitig wurden zur Überprüfung der virtuell ermittelten Lkw-Belegung manuelle Zählungen durchgeführt. Hierzu wurden mithilfe eines Multicopters (sog. Drohne) regelmäßige Luftaufnahmen vom Testfeld erstellt, die am Bildschirmarbeitsplatz ausgewertet werden konnten. Der Vorteil einer Luftaufnahme ergibt sich dabei aus dem eindeutigen Erhebungszeitpunkt und der vollständigen Aufnahme des Untersuchungsgebietes. Eine manuelle Vor-Ort-Zählung auf Testfeld hätte durch den naturgemäßen Durchsatz der Anlage Unschärfen in der Auswertung zur Folge. Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch Drohnenbilder mit geringer und mittlerer Auslastung (s. Abb. 18 und 19) sowie mit Überlastung der T+R-Anlage Eichelborn Nord (s. Abb. 20 und 21).



Abbildung 18: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, T+R Anlage Eichelborn Nord, geringe Auslastung (30 Lkw).



Abbildung 19: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, T+R Anlage Eichelborn Nord, mittlere Auslastung (61 Lkw).



Abbildung 20: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, T+R Anlage Eichelborn Nord, Überlastung (136 Lkw).



Abbildung 21: Drohnenbild zur manuellen Auswertung, T+R Anlage Eichelborn Nord, Überlastung (159 Lkw).

Der Vergleich der manuellen Zählung mit der automatisch ermittelten Lkw-Belegung bestätigt die Plausibilität der Ergebnisse. Die folgende Tabelle 4 zeigt exemplarisch das Vorgehen bei der manuellen Ermittlung der Belegung.

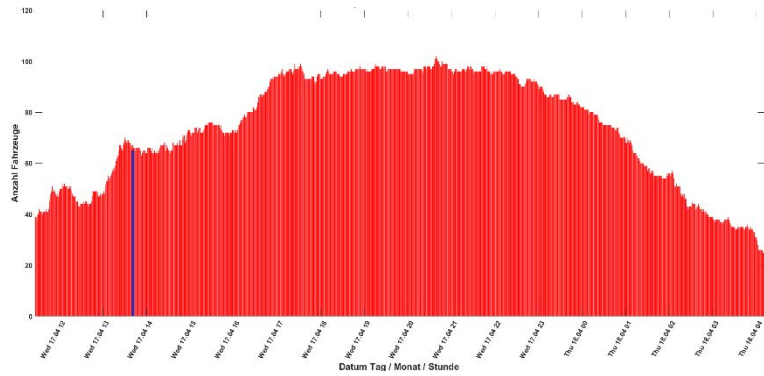
 Zeitraum der Auswertung: 17.04.2019 - 18.04.2019	Automatisch ermittelte Belegung zum Betrachtungszeitpunkt (Anz. der registrierten Lkw auf dem Testfeld): 67
 Zeitpunkt der Aufnahme: 17.04.2019; 16:40:45	Manuell ermittelte Belegung zum Betrachtungszeitpunkt (Gezählte Lkw auf dem Testfeld): 65

Tabelle 4: Vergleich automatisch und manuell ermittelte Belegung.

Es sind dabei zwischen der automatisch erfassten, errechneten Bilanz sowie der manuell gezählten Belegung Abweichungen erkennbar, die einerseits auf Messfehler und Störungsquellen sowie andererseits auf die systembedingte Unschärfe durch mautfreie (bspw. Reisebusse) und mautbefreite Fahrzeuge (bspw. Bundeswehr) zurückzuführen sind.

Ein systembedingter Unschärfegrad der virtuell ermittelten Belegung ist durch den Anteil mautfreier und mautbefreiter Fahrzeuge, sowie durch einen Anteil Fahrzeuge ohne OBU (manuelle Einbuchung) vorhanden. Aus Nutzersicht ist jedoch eine gewisse Unschärfe tolerierbar, solange der eingangs beschriebene Effekt der Fehlerakkumulation nicht eintritt und zu einer völligen Verfälschung der Belegungsdaten führt (s. Kap. 3.1). Zudem wird hieraus die hohe Bedeutung des Kompensationsverfahrens klar, ohne dieses sich auch kleinere Fehler über einen längeren Zeitraum akkumulieren. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit aufgetretenen Fehlern erfolgt im Kapitel 5.

4.3 Exkurs: Auswertung der Aufenthaltszeiten

Die Auswertung der Aufenthaltszeiten der registrierten Lkw auf dem Testfeld stand nicht im Zentrum des Forschungsprojektes ViBePark. Die Aufenthaltszeiten werden i.d.R. mit hohem personellem Aufwand erhoben, können jedoch wichtige Erkenntnisse über die Abläufe im Straßengüterverkehr liefern. Im vorliegenden Fall ist es durch die Fahrzeugwiedererkennung mit einfachen Mitteln möglich, die Aufenthaltszeiten zu erheben. Auf der Abbildung 22 sind die Zeiten für das Testfeld T+R-Anlage Eichelborn dargestellt.

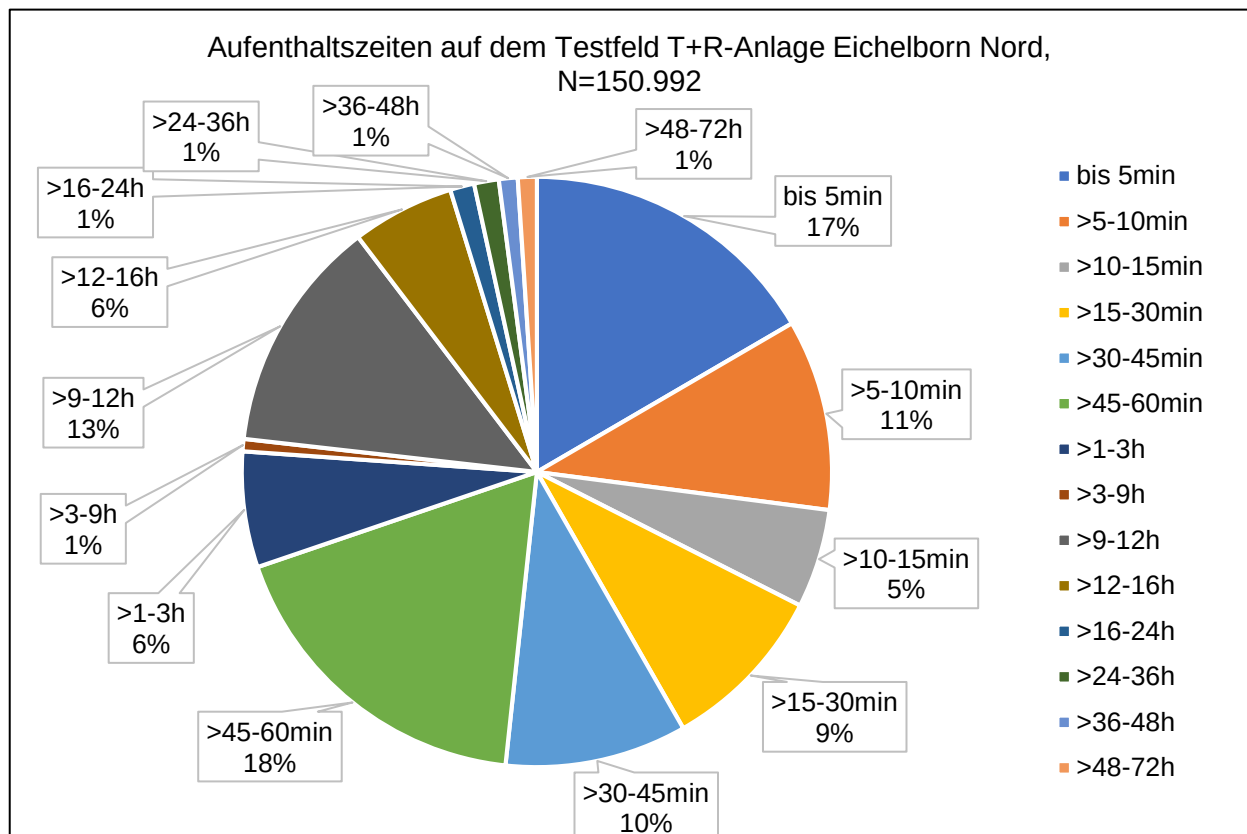


Abbildung 22: Aufenthaltszeiten der an Ein- und Ausfahrt erkannten Lkw am Testfeld T+R-Anlage Eichelborn Nord, Zeitraum: 15.05.2018 - 24.06.2019.

Ein Großteil der registrierten Lkw (ca. 70 %) verweilt nicht mehr als eine Stunde auf der Parkplatzanlage. Bei rund 17 % der Lkw handelt es sich um Durchgangsverkehr, der nicht länger als 5 min. auf der Anlage bleibt. Rund 13 % der Lkw verweilen mehr als 9 bis maximal 12 h auf dem Testfeld. Dies stimmt mit den gesetzlichen Ruhezeiten überein.²² Von weiteren Auswertungen wird an dieser Stelle abgesehen.

²² Ruhezeiten für Fahrpersonal im gewerblichen Güterverkehr (vereinfacht)

Lenkzeitunterbrechung nach 4,5 h Lenkzeit:	45 min.
Tagesruhezeit (innerhalb von 24 h):	11 h, darf ggf. auf 9 h verkürzt werden
Wochenruhezeit:	45 h

5 Erfassungsquote und Fehlerbetrachtung der Pilotanlage

5.1 Technische Störungen und Fehlerquellen

Der zunächst nicht vorgesehene Dauerbetrieb der Versuchsanlage liefert naturgemäß erheblich aussagekräftigere Resultate für das gesamte Forschungsprojekt. Allerdings musste die zunächst für den überwachten Labor- und Feldversuch entwickelte Technik für einen stabilen Langzeitbetrieb ertüchtigt werden. Obwohl die Entwicklung der verwendeten Technologie zur industriellen Serienreife nicht Ziel des Forschungsprojektes ist, sollte dennoch eine hinreichend aussagefähige Datenbasis für valide wissenschaftliche Aussagen zur Verfügung stehen. Dazu mussten einige Anlaufprobleme wie Systemabstürze, Kommunikationsausfälle, Temperaturprobleme usw. beseitigt werden. Darüber hinaus waren externe Beeinflussungen durch Manipulation (Verstellen der Transceiver) oder durch unvorhersehbares Zuparken der Messstellen zu verzeichnen.

Für die nachfolgenden Fehlerbetrachtungen wurden daher nur die Zeiträume herangezogen, in denen ein weitgehend störungsfreier Betrieb zu beobachten war.

Der Anteil der Fahrzeuge mit OBU-ID, die in den Auswertungszeiträumen von der Anlage erfasst wurden (Erfassungsgenauigkeit) erreicht an Ein- und Ausfahrt unterschiedliche Werte (s. Tab. 5).

Auswertungszeitraum	17.06.18 - 08.07.18	30.09.18 - 19.10.18	27.10.18 - 15.2.19	17.3.19 - 18.04.19	05.05.19 - 18.05.19
Fahrzeuge gesamt im Auswertungszeitraum	9504	12985	49526	17179	7458
Im Auswertungszeitraum wiedererkannte Fahrzeug	96,41 %	91,43 %	92,01 %	89,42 %	86,52 %
Anteil der Fahrzeuge, die an der Einfahrt aber nicht an der Ausfahrt identifizierte wurden	1,72 %	7,45 %	7,56 %	10,10 %	13,21 %
Daraus abgeleitete Erfassungsquote der Ausfahrt	98,28 %	92,55 %	92,44 %	89,90 %	86,79 %
Anteil der Fahrzeuge, die an der Ausfahrt aber nicht an der Einfahrt identifiziert wurden	1,87 %	1,12 %	0,43 %	0,48 %	0,27 %
Daraus abgeleitete Erfassungsquote der Einfahrt	98,13 %	98,88 %	99,57 %	99,52 %	99,73 %

Tabelle 5: Erfassungsquoten Ein- und Ausfahrt.

Der Anteil der jeweils identifizierten Fahrzeuge ergibt sich aus der Verwendung der OBU-ID, die es gestattet, fehlende „Paarungen“ zwischen Ein- und Ausfahrt festzustellen. Wie zu erkennen, hat sich der Wert an der Ausfahrt über die Zeiträume verschlechtert und liegt unter Herstellerangaben. Dies dürfte sich v.a. in der Positionierung des Sensors begründen. Bei herkömmlichen Mautkontrollbrücken erfolgt eine Überkopfmontage und die Abtastung einer Fahr-

bahn erfolgt gleichzeitig mit mehreren Transceivern. Beide Faktoren begünstigen eine hohe Erfassungsquote. Im vorliegenden Fall erfolgte an beiden Abfragestationen eine seitliche Montage, die unter bestimmten Umständen leichter durch äußere Einwirkungen beeinflussbar ist und eine optimale Ausrichtung erfordert. Für künftige Umsetzungen wird eine Überkopfmontage empfohlen.

Bei der Ermittlung der Erfassungsquote wird das Vergleichssystem nicht einbezogen. Fahrzeuge, die während einer Durchfahrt sowohl an der Ein- als auch an der Ausfahrt nicht von der OBU-Abfragestation detektiert werden, bleiben daher unberücksichtigt (systembedingter Unschärfegrad).

In der Auswertung der Langzeitmessungen konnten Probleme identifiziert werden, die auf die genannten Anlaufschwierigkeiten und weitere Störungsquellen zurückzuführen sind. Tabelle 6 gibt einen Überblick. Im Laufe der Langzeitmessung wurden sowohl die Anlage als auch die Messmethoden fortwährend optimiert und damit Messfehler reduziert.

Störungs- / Fehlerquelle	Beschreibung / Auswirkungen	Häufigkeit/ Auftreten des Fehlers	Lösung
Ausfall der Sensoren durch Tiere	In den kalten Jahreszeiten bietet der wärmeproduzierende Messrechner einen Anlaufpunkt für Schädlinge. In den warmen Jahreszeiten werden Hohlräume als Nistplätze genutzt. Dabei können technische Geräte und Leitungen beschädigt werden (bspw. durch angefressene Kabel, Ausscheidungen etc.)	Einzelfall	Abdichtung der technischen Anlagen vor tierischen Schädlingen
Falsche Ausrichtung des OBU-Transceivers	Keine optimale Abtastung des Fahrbahngebietes der Ein-/Ausfahrt.	Einzelfall	Optimale Ausrichtung nach Herstellerempfehlungen
Manipulation des OBU-Transceivers	Verdrehen oder abdecken des fahrbahnseitigen OBU-Transceivers, dadurch keine optimale Abtastung des Fahrbahngebietes	Einzelfall	Nutzung von geschützter Infrastruktur
Ausfall des Messrechners durch Absturz / Neustart	Automatischer Updates, unvorhergesehene Softwarefehler und Systemabstürze bedingen einen Neustart der Systeme. Datenverlust ist zu erwarten.	selten	Steuerung der Updateverfahren des Messrechners (bedingt beeinflussbar), Nutzung spezieller Betriebssysteme für den Messrechner (bspw. Linux)

Blockieren der Sensoren durch Fahrzeuge	Parken von Lkw in Ein- und Ausfahrten belegter Parkplatzanlagen zur Erfüllung der Ruhezeiten	Einzelfall	Beschilderung der Messstelle, Sicherung der Messstelle mit Parksperren o.ä.
Nichterfassung der OBU	Messfehler des OBU-Transceivers, obwohl alle Systeme einwandfrei funktionieren	Siehe Erfassungsquote	Infrastrukturelle Anpassung (Überkopfmontage), doppelte Erfassung
Unerklärter Ausfall der Sensoren / Unerklärter Datenverlust	Nicht erfolgte Aufzeichnung von Messdaten aller drei Sensorsysteme, obwohl die sonstigen Systeme einwandfrei funktionieren	Einzelfall	-
Ausfall der gesamten Anlage durch Stromausfall	Unbeabsichtigte Unterbrechung der Stromversorgung (bspw. durch Baustellen, Netzschwankungen)	Einzelfall	Stromspeicher oder Aggregat vor Ort

Tabelle 6: Störungs- und Fehlerquellen.

Darüber hinaus können falschplatzierte fahrzeugseitige OBU-Transceiver oder Manipulationen (bspw. Abdecken der OBU-Antenne im Fahrzeug), die eine Nichtregistrierung nach sich ziehen, nicht ausgeschlossen werden.

Der Ausfall der gesamten Anlage durch Unterbrechung der Stromversorgung trat an Ein- und Ausfahrt mehr als 10 Mal auf (Dauer: wenige Minuten bis zu mehreren Stunden). Auch auf Grund hoher Kosten für eine Netzeinspeisung der Anlage ist daher ggf. eine netzunabhängige Stromversorgung sinnvoll. Der geringe Energiebedarf der Einzelkomponenten erlaubt eine Photovoltaikversorgung. In der folgenden Tabelle (s. Tab. 7) sind die Leistungsaufnahmen der Einzelkomponenten der Versuchsanlage aufgeführt. Der eingesetzte Messrechner weist hierbei den größten Bedarf auf, es handelt sich um einen verbrauchoptimierten und staubgeschützten Messrechner, der für die Pilotanlage auch die Daten des Vergleichssystems aufnehmen und verarbeiten kann. Im praktischen Dauerbetrieb, in dem kein Einsatz eines Vergleichssystems vorgesehen ist, wird für die ausschließliche Aufzeichnung und Weiterleitung der Daten deutlich weniger Rechenleistung benötigt. Daher kann hier auf sogenannte Ein-Chip-Systeme (SoC) zurückgegriffen werden, die (ggf. im kombinierten Einsatz mehrerer Geräte) die benötigte Rechenleistung zur Verfügung stellen und deutlich weniger Leistungsbedarf aufweisen. Hieraus ergibt sich zudem das Potential des temporären mobilen Einsatzes der Anlage.

Gerät	Max. Leistungsaufnahme in Watt	Typ. Leistungsaufnahme in Watt
OBU-Transceiver	24	12
Messrechner	60	auslastungsabhängig
<u>Messrechneralternative:</u> SoC (bspw. 2x Raspberry Pi 3B)	2x10	auslastungsabhängig
LTE-Router	7	7
[Kamera]	12	12
[Induktionsschleifendetektor]	1,2	0,9

Tabelle 7: Leistungsaufnahme der Einzelkomponenten der Pilotanlage, jeweils für Ein- und Ausfahrt.

5.2 Fehler durch Nicht- oder Falscherfassung

Neben den überwiegend als Einzelfall auftretenden Fehler- und Störungsquellen in Tabelle 4, traten weitere Falsch- oder Nichterfassungen von OBU-ID aus verschiedenen Gründen auf. So wurden die fahrbahnseitigen Transceiver zeitweise durch falsch abgestellte Lkw blockiert, so dass in dieser Zeit keine Erfassung erfolgte. Die in Abbildung 23 dargestellten scheinbaren Spitzenwerte der Belegung von 350 Lkw und mehr sowie die zeitweise fehlende Erfassung der ausfahrenden Fahrzeuge weisen auf das Blockieren der Sensoren an der Ausfahrt hin (s. Abb. 24) und konnte durch das Vergleichssystem bestätigt werden. Bereits nach wenigen Stunden weist die Ganglinie aufgrund des Korrekturverfahrens wieder typische Werte auf.

Im praktischen Einsatz ist das System in der Lage (bspw. aufgrund fehlender Daten vom Ausgang) über diesen Zeitraum die Ergebnisdaten als „fehlerhaft“ zu markieren bzw. für eine Weiterverwendung zu blockieren. Im Rahmen der Weiterentwicklung der hier vorgestellten Ansätze sind verfeinerte Verfahren denkbar, die unplausible Ergebnisse wesentlich schneller kompensieren (bspw. dynamische Ansätze oder basierend auf Wahrscheinlichkeiten).

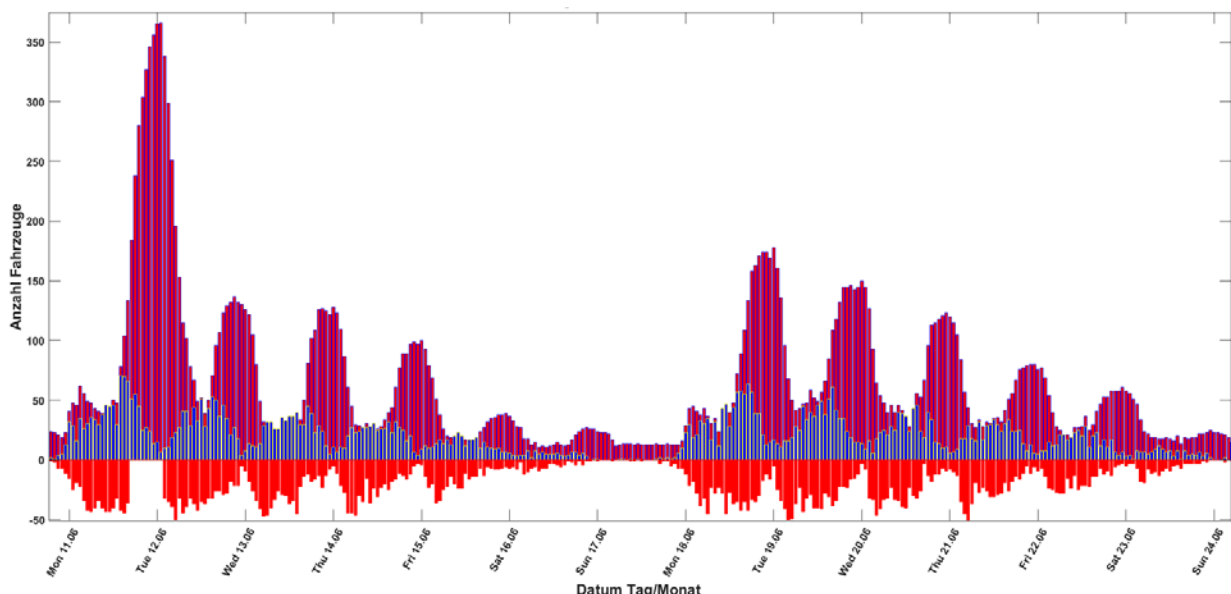


Abbildung 23: Bilanzierte „Überfüllung“ des Testfeldes mit Kompensation durch das Korrekturverfahren.



Abbildung 24: Blockieren des OBU-Transceivers (Ausfahrt) und beider Vergleichssysteme, wodurch kein Kontaktaufbau zu weiteren Lkw (OBU-Antennen) mehr möglich ist.

Des Weiteren konnte ein Anteil von Fahrzeugen identifiziert werden, die mit einem OBU-Transceiver ausgestattet sind, wobei es sich aber nicht um mautpflichtige Lkw handelt. Dazu zählen bspw. Fahrzeuge des BAG, die zur Mautkontrolle mit fahrzeugseitigen OBU-Transceivern ausgestattet sind (s. Abb. 25). Diese Fahrzeuge benötigen aufgrund ihrer Baugröße keinen Lkw-Parkstand, werden jedoch registriert. Ähnliches gilt für Lieferwagen, die nur unter bestimmten Voraussetzungen (bspw. als Gespann mit einem entsprechend beladenen Anhänger) mautpflichtig sind²³ und deshalb mit fahrzeugseitigem OBU-Transceiver ausgestattet sind (s. Abb. 25). Hieraus ergibt sich lediglich eine minimale Unschärfe in der Belegungsermittlung, da hiervon nur vereinzelte Fahrzeuge betroffen sind.



Abbildung 25: Registrierte OBU-ID in Fahrzeugen, die keinen Parkstand benötigen.

Zusammenfassend lässt sich aus den Messungen und aus der Ergebnisdiskussion festhalten, dass das Prinzip der Lkw-Registrierung mittels Transceiver-ID grundsätzlich für die Belegungsermittlung von Lkw-Parkplätzen geeignet ist. Geringfügige Einschränkungen sind aufgrund des kleinen Anteils mautfreier, mautbefreiter und manuell eingebuchter Fahrzeuge und aufgrund genannter Messfehler und Störungsquellen vorhanden. Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, weist das angewandte Verfahren nicht die Probleme der Fehlerakkumulation auf, die bei

²³ Aufgrund der fortschreitenden technischen Entwicklung besitzen auch unscheinbare Lieferwagen z.T. ein zulässiges Gesamtgewicht von deutlich über 3,5t und eine hohe Anhängelast. Mitunter erreichen diese Fahrzeuge als Gespann ein Gesamtgewicht von mehr als 7,5t und sind damit mautpflichtig. Zur Vorbereitung der automatischen Einbuchung zur Mautentrichtung werden solche Lieferwagen mit OBU-Transceivern ausgestattet und dementsprechend von den Sensoren am Testfeld erfasst. Dabei ist es unerheblich, ob die Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Erfassung tatsächlich mautpflichtig sind.

herkömmlichen Bilanzierungssystemen auftreten. Die Methodik erlaubt mit vergleichsweise geringem Aufwand eine hinreichend genaue Erfassung der Stellplatzbelegung.

6 Verwertung der Ergebnisse

6.1 Ansätze zur Informationsvermittlung der Belegungsdaten

Die Übermittlung der Belegungssituation der Stellplätze an unterschiedliche Nutzende stellt grundsätzlich keine besondere technische Herausforderung dar, da in der Regel auf vorhandene Kommunikationswege und IT-Plattformen zurückgegriffen werden kann.

Typischerweise werden gewonnene Daten des Verkehrsflusses (bspw. die gemessenen Verkehrsstärken der fahrbahnseitigen Dauerzählstellen) in einer Vor-Ort-Unterzentrale aufbereitet und über interne Kommunikationsnetze des Straßeninfrastrukturbetreibers an die Verkehrsrechnerzentrale des jeweiligen Bundeslandes geliefert. Hier können die Daten Service-Providern wie Rundfunk-Anstalten, Betreibern von Flottenmanagement-Systemen oder Anbietern von Smartphone-Apps zur Verfügung gestellt oder mithilfe dynamischer Verkehrszeichen an den betreffenden Streckenabschnitten direkt den betreffenden Verkehrsteilnehmenden vermittelt werden.²⁴ Dies wird in einigen Bundesländern mittels spezieller Wechselverkehrszeichen für die Anzeige freier Lkw-Stellplätze realisiert.²⁵ Darüber hinaus ist es möglich, den Mobilitätsdatenmarktplatz (MDM) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zu beliefern. Diese ist Teil einer Innovationsoffensive der Bundesregierung ist und ermöglicht private und öffentliche Dienstleister mit Daten zu versorgen.²⁶

Naturgemäß ist in Zeiten frei nutzbarer mobiler Kommunikationstechnik die direkte Informationsvermittlung zum Fahrpersonal die zukunftsorientierte Lösung. Es existieren bereits verschiedene Smartphone-Apps, welche Informationen über die Lkw-Stellplatzbelegung übermitteln. Hierbei erfolgt jedoch keine Echtzeit Belegungsermittlung. Die Datengewinnung erfolgt bspw. auf Basis der Angaben der Nutzergruppe oder der Betreiber privatwirtschaftlicher Stellplätze (bspw. Autohöfe, Depots, Betriebshöfe). Diese Anwendungen bieten damit eine Ergänzung zur Belegungsermittlung der öffentlichen Parkplatzanlagen mit z.T. erweiterten Funktionsumfang (bspw. die Reservierung von Stellplätzen). Der Bedarf einer Informationsvermittlung im Rahmen der Disposition und Routenoptimierung besteht weiterhin.

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner DAKO wurden Möglichkeiten der Visualisierung der Messergebnisse innerhalb expeditioneller Anwendungen diskutiert und erste Implementierungsmöglichkeiten erörtert. So ist die Anzeige der Belegungsinformationen innerhalb der Navigations- und Ortungsanwendung (für den Disponenten) möglich. Ergänzend zu den bereits abrufbaren Ist-Informationen eines jeden Fahrzeugs der betreffenden Flotte oder bspw. der Stauinformationen können so die Parkstandsbelegungsinformationen ein- und ausgeblendet, ausgewählt und betrachtet werden.

Mithilfe weiterer Informationen zur Restlenkzeit des Fahrpersonals (verfügbar über die Schnittstelle des digitalen Tachografen) und Informationen zur Tour sowie statischer und dynamischer

²⁴ Vgl. u.a. SWARCO TRAFFIC SYSTEMS GmbH (2014): S. 57.

²⁵ Vgl. u.a. Abs (2012): S.41.

²⁶ Vgl. BASt 2019.

Verkehrsflussdaten können die zur Ankunftszeit verfügbaren Parkstände prognostiziert (s. Kap. 6.2) und in entsprechender Dispositionssoftware ausgegeben werden.

Hierbei ist v.a. die Einbindung der aktuellen Belegungsdaten der Lkw-Parkplätze in die Tourenplanung und in das Touren-Monitoring durch die Disposition einer Spedition sinnvoll. Die Belegungsinformationen können innerhalb der Navigations- und Ortungsanwendung (aktuelle Ortungskarte mit Zusatz- und Verkehrsflussinformationen) angezeigt werden, so dass im Anwendungsfall ein prädiktives Touren-Monitoring möglich ist. Durch die Einbeziehung der Restlenkzeit kann dem Fahrpersonal über eine geeignete mobile Applikation eine Empfehlung eines aktuell freien Parkstandes gegeben werden. Die Kurzzeitprognosen der Parkstandsbelegung können in die Tourenplanung eingebunden werden, um die bestmöglichen Parkplätze für die Lenkzeitunterbrechungen auszuwählen (s. Abb. 26). Dem Fahrpersonal kann damit bereits vor dem Start der Tour mit einer relativen Genauigkeit ein Parkplatz genannt werden, auf dem mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Parkstand zur Ankunftszeit zur Verfügung steht.

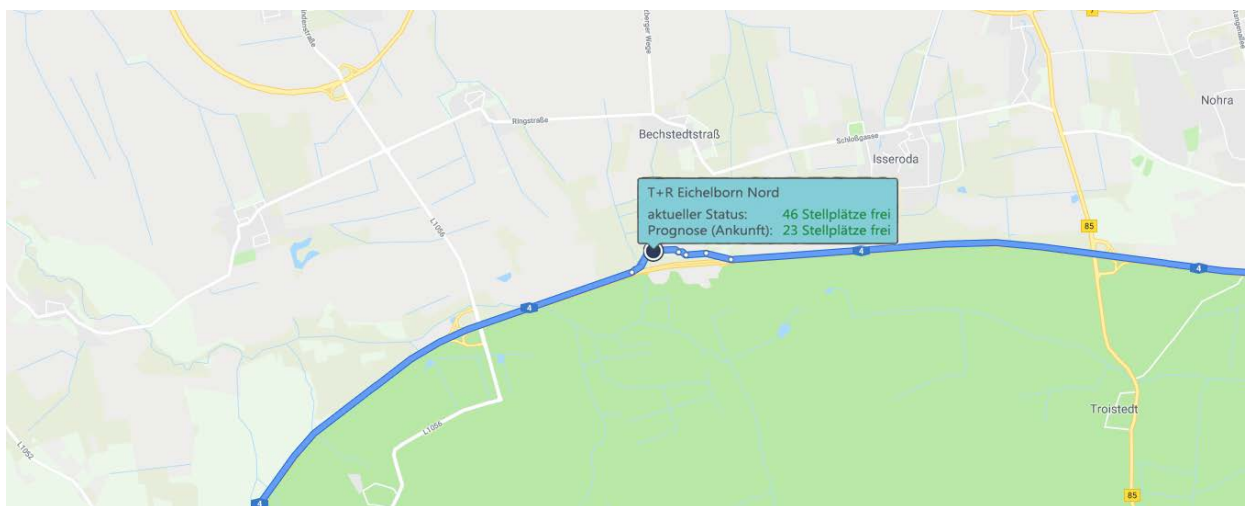


Abbildung 26: Exemplarische Darstellung der Informationsvermittlung und Prognose der freien Stellplätze im Routenplanungstool (Quelle der Kartengrundlage: Google LLC).

Mit den derzeit vorhandenen Datensätzen konnten lediglich Prototypen entwickelt und Softwareerprobungen durchgeführt werden. Um eine funktionsfähige und aussagekräftige Implementierung in die genannten Softwareanwendungen durchzuführen, benötigt es die Daten aus einer flächendeckenden Erhebung der Parkstandsbelegung an allen betreffenden Anlagen.

6.2 Modell einer regionalen Kurzzeitprognose

Mithilfe einer regionalen Kurzzeitprognose sollen die verfügbaren Parkstandskapazitäten auf Parkplätzen anhand der voraussichtlichen Ankunftszeit des Fahrzeugs mit einer möglichst hohen Genauigkeit bestimmt werden. Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Prognoseansätze untersucht, dabei hat sich ein dynamischer Ansatz als aussichtsreichstes Vorgehen gezeigt.

Es muss demnach prognostiziert werden, wie sich die aktuelle Parkstandsbelegung in einem bestimmten Zeitraum in Bezug zum Standort des Lkw und dessen zu Geschwindigkeit abhängig vom Verkehrsfluss verändern wird. Da es bisher v.a. an geeigneten Detektionssystemen für

eine hinreichend genaue Echtzeit-Erfassung der Stellplatzbelegung mangelte, sind bis heute kaum entsprechende Prognosemodelle entwickelt worden. Ein bekanntes Prognosemodell, das ein allgemeines Monitoring der zu erwartenden Parkstandsbelegungen liefert, wurde außerhalb Deutschlands bereits getestet.²⁷

Dennoch liefern diese Ansätze keine Information über die darauf aufbauenden Entscheidungen der einzelnen Verkehrsteilnehmenden, so dass das Risiko eines nicht-vorhandenen Parkstandes am gewählten Ort bestehen bleibt. Zusätzlich zum Prognosemodell ist daher ein modell-prädiktives Regelungssystem notwendig, das als Ausgangsgröße eine individuelle Empfehlung der bestmöglichen Parkplatzanlage, in Abhängigkeit statischer und dynamischer Eingangsgrößen gibt. Ziel ist eine möglichst harmonische Auslastung der vorhandenen Parkstandskapazitäten.

6.2.1 Eingangsgrößen zur Prognose der Parkstandskapazitäten

Ein aussagekräftiges Modell zur Vorhersage der Parkstandsbelegung benötigt neben den im Projekt ViBeIPark erfassten historischen Belegungsdaten eine Reihe weiterer Eingangsgrößen. Dabei ist zwischen statistischen, infrastrukturell-dynamischen und nutzer-/fahrzeugspezifischen Daten zu unterscheiden. Abbildung 27 gibt einen Überblick über benötigte Daten.

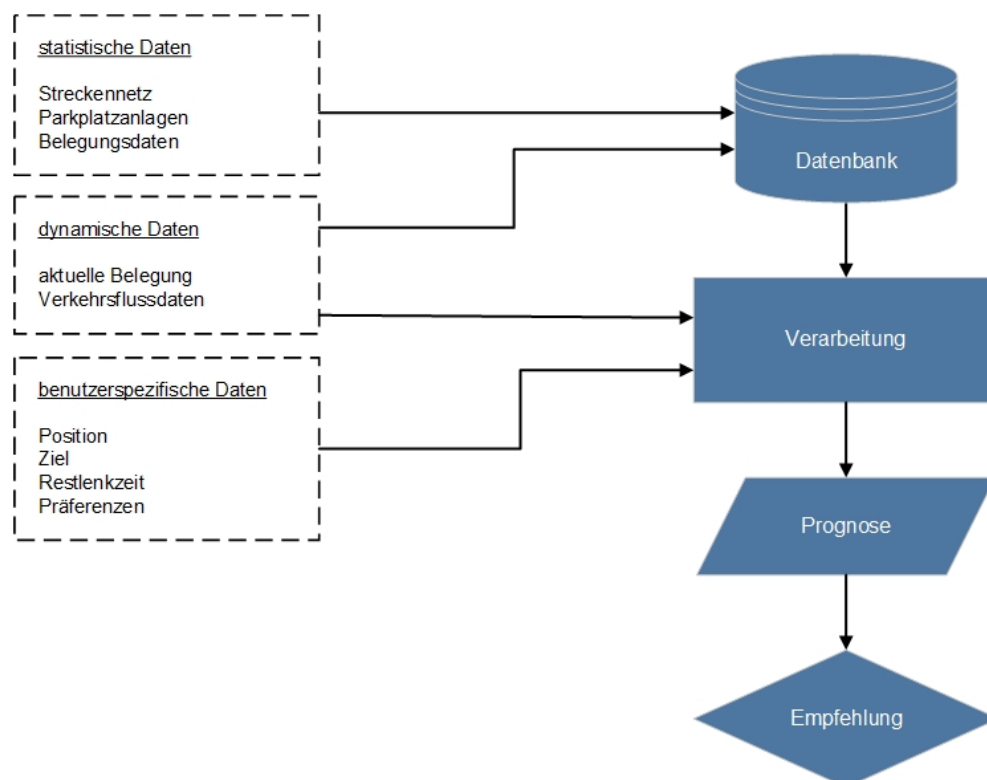


Abbildung 27: Konzeption der regionalen Kurzzeitprognose mit benötigten Eingangsgrößen.

²⁷ Vgl. Zelinka et al. (2014).

Statistische Daten

Bei statistischen Daten handelt es sich um Grundlagendaten mit Aussagen über das betrachtete Verkehrsnetz und über die Belegung der Parkplatzanlagen. Da für die statistischen Datenquellen keine einheitliche Schnittstelle existiert, müssen die Daten in einer eigenen Datenbank gehalten und gepflegt werden. Einen Überblick der benötigten Daten und einen Entwurf eines Datenbankmodells ist in folgenden Entity Relationship Model (ERM) (s. Abb. 28) dargestellt.

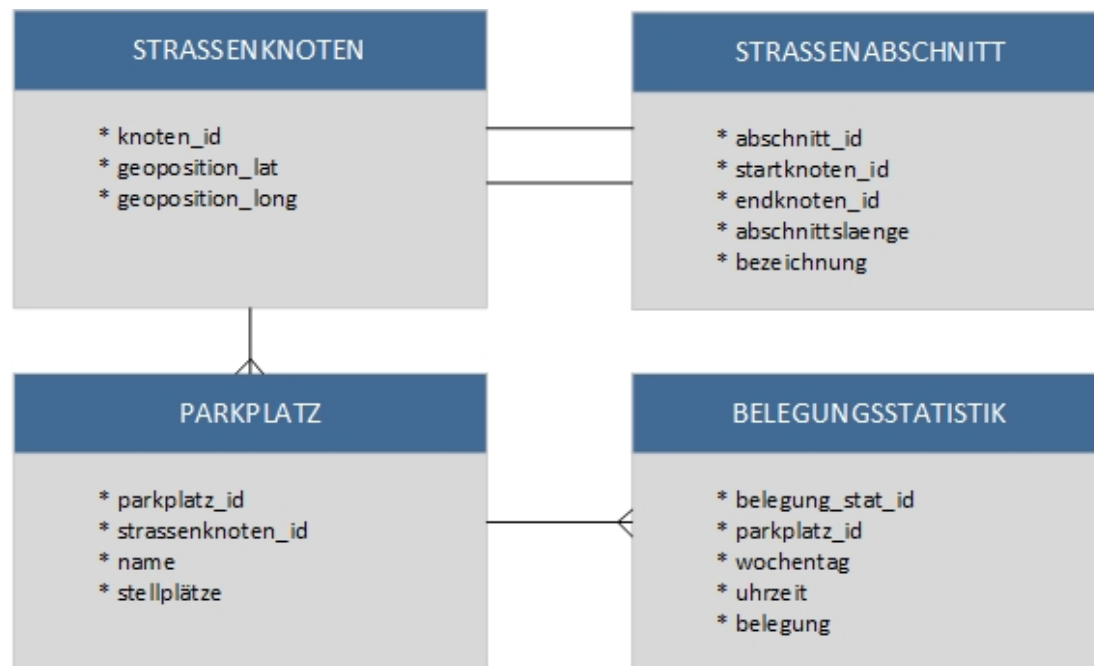


Abbildung 28: Objektbeziehungsmodell (ERM) der Datenbank.

Insbesondere die historischen Tagesganglinien der Parkstandsbelegungen sind zentraler Bestandteil der statistischen Daten. Dazu werden die beobachteten Werte zu jedem Parkstand in der Datenbank erfasst. Die dabei benötigte Auflösung lässt sich im Vorfeld nicht mit Sicherheit bestimmen. Eine halb-stündliche bis stündliche Auflösung sollte zunächst ausreichend sein. Des Weiteren ist hier eine Unterscheidung der Belegungskurven nach Jahreszeit, Monat und Wochentag sinnvoll, da hier Unterschiede beobachtet werden können.

Um den Verlauf der Straße möglichst realitätsgetreu abbilden zu können, werden zudem aktuelle Datensätze zu Straßenabschnitten und -knoten benötigt. Dabei sollten die Parkplatzanlagen jeweils einer eindeutigen Anschlussstelle zugordnet sein. Des Weiteren werden die Anzahl der Parkstände eines Parkplatzes, Name des Parkplatzes bzw. der Anschlussstelle eindeutig definiert, um die prognostizierten Belegungsdaten zuordnen und im Front-End ausgeben zu können. Gegebenenfalls können weitere Merkmale erfasst werden, um zusätzliche Information bereit zu stellen (bspw. Ausstattung der Anlage).

Dynamische Daten

Neben der aktuellen Belegung der Parkplatzanlagen, handelt es sich bei dynamischen Daten um aktuelle Daten der Verkehrslage, die Aussagen zum Verkehrsfluss zulassen. Dazu gehören insbesondere aktuelle Daten zur Verkehrsstärke und zu Störungen (bspw. Unfälle, Baustellen, Staus) auf den betrachteten Streckenabschnitten.

Die dynamischen Daten ergänzen die statistisch ermittelte Datenmenge um nichtvorhersehbare Ereignisse und sind daher für eine zuverlässige Vorhersage unabdingbar. Daher sollten Datenquellen verwendet werden, die eine hohe Verfügbarkeit aufweisen und zuverlässig den Verkehrszustand abbilden können (bspw. Google Maps Directions API, HERE Traffic API²⁸). Zudem sollte jede der in Frage kommenden Datenquellen eine Schnittstelle aufweisen, die die angeforderten Daten in einem maschinell verarbeitbaren Datenformat ausgibt.

Nutzerspezifische Daten

Die nutzerspezifischen Daten definieren die für das Fahrzeug in Frage kommenden Parkplatzanlagen und die Fahrtroute. Je detaillierter diese Angaben sind, desto präziser kann eine Auswahl der zu prognostizierenden Ziele getroffen werden. Dadurch wird die Anzahl der in Betracht zu ziehenden und zu verrechnenden Daten für die Prognosesoftware reduziert. Folgende nutzerspezifische Daten werden benötigt:

- Position
- Ziel
- Restlenkzeit
- Ggf. gewünschte Ausstattung der Anlage (Präferenzen)

Die Position des Fahrzeugs kann bei Verwendung eines mobilen Endgerätes durch die interne Positionsbestimmung und mithilfe einer Geocoding-Schnittstelle bestimmt werden. Alle weiteren Daten lassen sich über manuelle Nutzereingabe erfassen.

6.2.2 Modellentwurf einer Prognoseanwendung

Die Aussagekraft einzelner Prognosen kann durch die Verknüpfung mehrerer Prognoseanfragen deutlich erhöht werden. Sofern betreffende Fahrzeuge mit mobilen Endgeräten mit Kommunikationsschnittstellen ausgestattet sind, können Prognoseanfragen mit ähnlicher oder gleicher Routenführung in die Berechnung einbezogen werden. Dabei besitzt die Aussagekraft eine hohe Abhängigkeit von der Anzahl der angeschlossenen Endgeräte. Bei einer hohen Durchdringung sind Position, Restlenkzeit, Ziel und Anwenderpräferenzen einer großen Anzahl Fahrzeuge bekannt und es können anhand der Ruhezeiten Aussagen über Parkstände getroffen werden, die bis zur Ankunftszeit frei werden. Je nach Grad der Durchdringung ist dennoch eine gewisse Fehlertoleranz zu berücksichtigen.

Ein möglicher Prototyp ist eine Serveranwendung, die verschiedenartige Clients mit einer REST-Schnittstelle²⁹ bedient. Dazu sammelt die Anwendung alle zur Berechnung benötigten Daten, verrechnet diese und antwortet dem Client mit der angefragten Prognose. In Abbildung 29 sind die möglichen Kommunikationspartner dargestellt. Der Programmablauf der Prognoseanwendung ist in Abbildung 30 skizziert.

²⁸ Application Programming Interface (API) ist eine Programmierschnittstelle die der Anbindung von Softwaresystemen dient.

²⁹ Representational State Transfer (REST) ist ein Programmierstil für verteilte Systeme, der sich an der Struktur des World Wide Web orientiert.

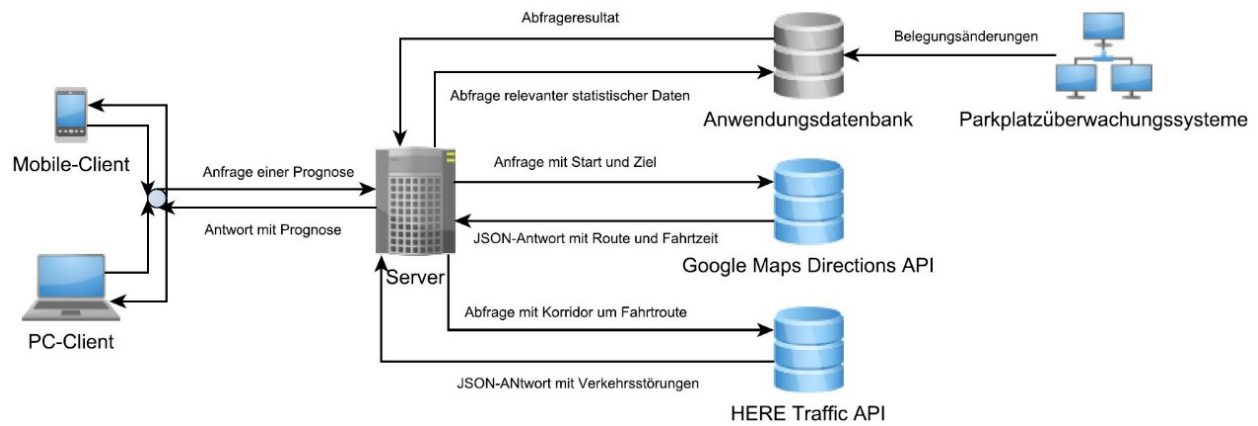


Abbildung 30: Systementwurf eines Prototyps.

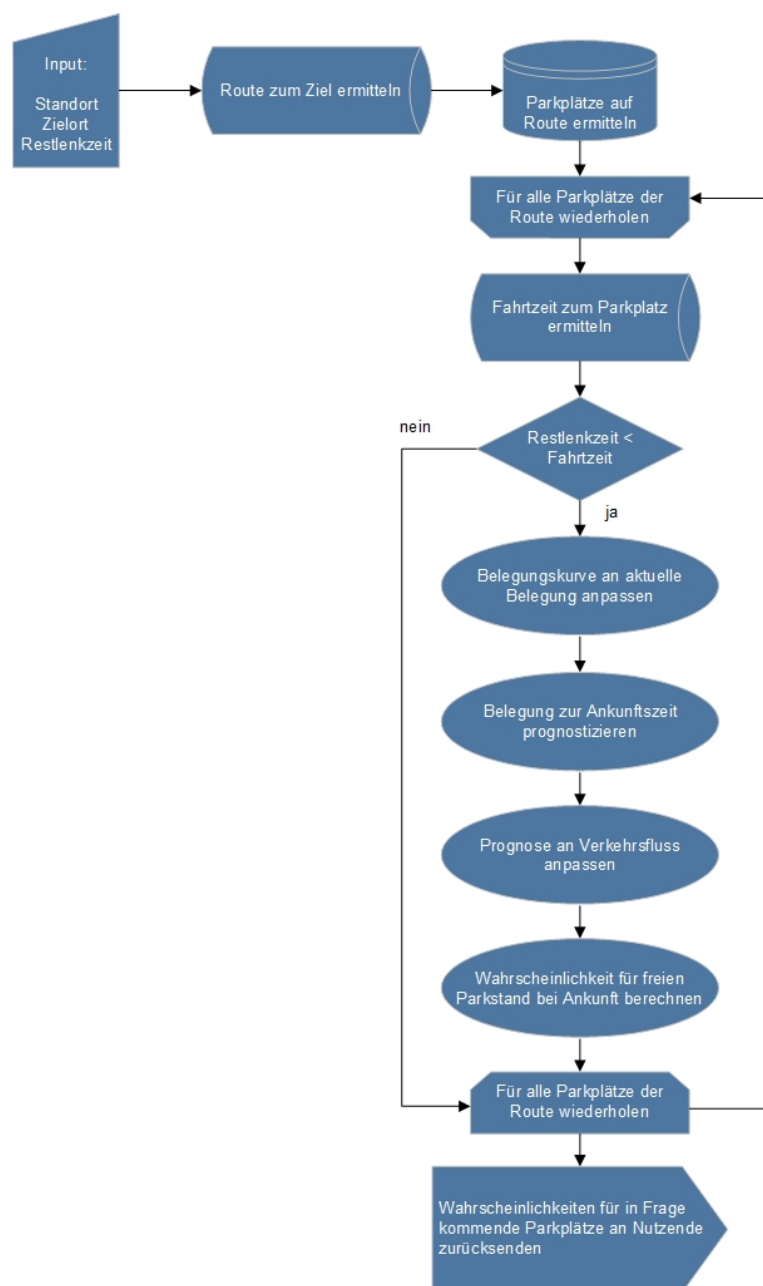


Abbildung 29: Programmablauf der Prognoseanwendung (Prototyp).

7 Schlussbetrachtung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes ViBeIPark konnte dem Problem der Ungenauigkeit von Fahrzeugdetektions- und Zählsystemen, die die robuste Abbildung des Ist-Zustands von Lkw-Parkstandsbelegungen verhindern, erfolgreich begegnet werden. Unter Nutzung fahrzeugseitig bereits vorhandener und mit geringem Aufwand zu erstellender Abfragestationen konnte ein Verfahren zur zuverlässigen, aktuellen und vollautomatischen Erfassung der Belegungsgrade von Lkw-Parkplätzen entwickelt werden.

Das im Projekt genutzte Prinzip der Registrierung der Transceiver-ID (eindeutige Fahrzeugwiedererkennung) ist grundsätzlich für die Zwecke der Belegungsermittlung von Lkw-Parkplatzanlagen geeignet. Da sich die Fahrzeuge über eine aktive V2I-Kommunikationsschnittstelle selbst identifizieren, ist prinzipiell eine höhere Erfassungsgenauigkeit gegeben als bei herkömmlichen Objekterkennungssystemen, wo allein die zuverlässige Erkennung eines Lkw eine Herausforderung darstellt. Im vorliegenden Projekt konnten geringfügige Abweichungen festgestellt werden, die auf den geringen Anteil mautfreier, mautbefreiter und manuell eingebuchter Fahrzeuge zurückzuführen sind. Überdies wird mit dem umgesetzten Konzept bereits eine sehr hohe Erfassungsquote an Ein- und Ausfahrt erreicht, die sich durch Optimierung der Erfassungstechnik verbessern lässt. Die grundsätzliche Problematik herkömmlicher Bilanzierungssysteme (v.a. Fehlerakkumulation) kann durch das entwickelte Verfahren vermieden werden. Die im Projekt entwickelte Methodik erlaubt damit eine hinreichend genaue Erfassung der Stellplatzbelegung mit vergleichsweise geringem Aufwand. Aus Sicht der Nutzenden (Fahrpersonal, Disposition und Infrastrukturbetreiber) stellt das entwickelte Verfahren selbst mit einer leichten Unschärfe eine erhebliche Verbesserung der aktuellen Situation dar. Bei einer flächendeckenden Umsetzung eines ausgereiften Systems ist die beträchtliche Verringerung des Lkw-Parksuchverkehrs und damit eine Verbesserung der Verkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden zu erwarten, da das Fahrpersonal weniger gestresst und besser ausgeruht ist. Darüber hinaus sind positive Auswirkungen auf den CO₂-Austoß des Straßengüterverkehrs zu erwarten.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden industrieübliche IT-Standardkomponenten eingesetzt. Der eingesetzte Transceiver des Projektpartners EFKON ist ohnehin ein für derartige Einsatzzwecke entwickeltes Industrieprodukt. Für die industrielle Serienreife einer ViBeIPark-Anlage bedarf es also keiner besonderen Weiterentwicklung von Hardware-Komponenten. Bei großen T+R-Anlagen ist davon auszugehen, dass eine Energieversorgung vorhanden und ein Zugang zum drahtgebundenen Kommunikationsnetz des Betreibers eingerichtet werden kann. Sollte dies nicht der Fall sein, wie auch bei kleinen Parkplatzanlagen (sog. PWC-Anlagen³⁰), so ist eine Photovoltaik-Versorgung ohne weiters denkbar. Bereits im Rahmen des Forschungsprojektes konnte gezeigt werden, dass eine Anlage auch mittels Mobilfunkkommunikation zu den OBU-Abfragestationen betrieben werden kann und dies auf Grund der relativ geringen Datenmengen auch kostengünstig möglich ist.

Eine ViBeIPark-Anlage benötigt keine besonderen Baumaßnahmen, bei denen Fahrbahnsperungen (z.B. zur Installation von Sensorik in der Fahrbahnoberfläche) erforderlich sind, ebenso wie keine besondere Vermessung und Anpassung an das Anlagenareal (Laser- und Video-Technologien). Die Umsetzung der Forschungsergebnisse zur industriellen Serienreife für einen flächendeckenden Einsatz ist damit relativ kurzfristig möglich.

³⁰ Parkplatz mit WC (PWC).

Quellenverzeichnis

- Abs, J. (2012): Fracht- und Logistikdienste, Intelligentes und sicheres Lkw-Parken, Einsatzempfehlung, Harmonising European ITS Services and Actions, verfügbar unter: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v5-EasyWay/FLS-Lkw-Parken.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (zuletzt abgerufen am 2019-09-02).
- BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) (2019): Mobilitätsdatenmarktplatz, verfügbar unter: <https://www.mdm-portal.de/> (zuletzt abgerufen am 2019-08-29).
- BMVBS (=Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) 2008: Masterplan Güterverkehr und Logistik, verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/masterplan-gueterverkehr-und-logistik-2008.pdf?__blob=publicationFile (zuletzt abgerufen am 2019-08-15).
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) (2012): Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012.
- Deutscher Bundestag (2018): Verkehrsinvestitionsbericht für das Berichtsjahr 2016, verfügbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehrsinvestitionsbericht-2016.pdf?__blob=publicationFile (zuletzt abgerufen am 2019-08-15).
- Dobschütz, A.; Partzsch, I.; Maurer, M.; Niechoj, B. (2012): Lkw-Parkmanagement auf BAB in Bayern am Beispiel der Park- und Rastanlage Offenbau, Straßenverkehrstechnik 3/2012, S.152-160.
- Kleine, J.; Lehmann, R. (2011): Konzeption eines Lkw-Parksystems auf Rastplätzen an BAB. In: Straßenverkehrstechnik 8/2011.
- Kremtz, L. (2011): Evaluation von Pilotanlagen zur automatisierten Detektion der Lkw-Parkplatzbelegung, Master Thesis, Erfurt.
- Lehmann, R.; Dierke, J.; Kleine, J.; Dobschütz, A.; Neugebauer, J (2016): Telematisch gesteuertes Kompaktparken - der Weg in die Praxis, in: Straßenverkehrstechnik 4/2016, S. 203-208.
- Lüttmerding, A.; Gather, M.; Heinitz, F.; Hesse, N. 2008: Belegung der Autobahnparkplätze durch Lkw in Thüringen, Bestandsaufnahme und grundsätzliche Maßnahmenempfehlungen, Erfurt.
- Pfannerstill, E. (1983): Ein Verfahren zur Merkmalsextraktion aus Linienmustern zur Zuordnung von Fahrzeugkollektiven, RMI-Nachrichtentechnik, Aachen.
- Pfannerstill, E., Apfelstädt, A. (2013): Parken via Satellit. In: Internationales Verkehrswesen 2/2013, S.66-68.
- Pfannerstill, E.; Apfelstädt, A. (2012): Telematic Solutions for Overload of Truck Parking Areas, Intelligent Transport Systems World Congress, Wien
- Pfannerstill, E.; Apfelstädt, A.; Fuchs, J. (2014): TeleLaB - Telematische Lösungen zur Überbelegung von Lkw-Parkplätzen an Bundesautobahnen, Abschlussbericht, BMBF-Förderkennzeichen 17069X10, Erfurt.
- Pfannerstill, E.; Apfelstädt, A.; Kremtz, L.; Fuchs, J. (2012): Pilotanlagen zur automatisierten Detektion der Lkw-Parkplatzbelegung an Autobahnen. In: Straßenverkehrstechnik, 12/2012.
- Pfannerstill, E.; Ziegler, R. (1985): Ein Verkehrsdatenerfassungssystem für Schnellstraßen, Objekterkennung und Modellbildung, Frequenz 3978, Berlin.

- Pfannerstill, Elmar (2005): Object Recognition and Correlation Methods for Traffic Flow Analysis, 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Vienna, Conference Proceedings.
- Statistisches Bundesamt o.J.: Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern, verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/gueterbefoerderung-lr.html> (zuletzt abgerufen am 2019-08-15).
- SWARCO TRAFFIC SYSTEMS GmbH (2014): Telematische Steuerung für Lkw-Parkplätze an der BAB 2 in Sachsen-Anhalt, verfügbar unter: <https://docplayer.org/16960249-Swarco-traffic-systems-gmbh-swarco-traffic-systems-gmbh-internationale-projekte-referenzliste-interurban-tunnel.html> (zuletzt abgerufen am 2019-08-15).
- Verordnung (EG) Nr. 561/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 3821/85 und (EG) Nr. 2135/98 des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates vom 15. März 2006, Zuletzt geändert durch VO (EU) Nr. 165/2014 vom 4. Februar 2014 (Amtsblatt der Europäischen Union L 60/1 vom 28. Februar 2014).
- Windolph, R. (2014): Möglichkeiten zur Fehlerkompensation bei der Belegung von Lkw-Parkplätzen, Master Thesis, Erfurt.
- Woithe, R. (2011): Satellitengestützte LKW-Maut-Technologie für nachhaltiges Verkehrsmanagement, Erfurt, Vortrag am 30.11.2011.
- Zelinka, T.; Jerabek, M.; Srotyr, M.; Lokaj, Z.; Kumpost, P. (2014): Telematics System dedicated for Provisioning of On-Line Information about Predicted Occupancy of Highway Parking Areas. In: Systemics, Cybernetics and Informatics, Vol. 12/Nr. 4., S.64-68.