

Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraum- management auf Rastanlagen an BAB

Anforderungen und Praxiserprobung

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 315

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraum- management auf Rastanlagen an BAB

Anforderungen und Praxiserprobung

von

Gerhard Kappich
Christoph Westermann

Kappich Systemberatung
Aachen

Lutz Holst

Ingenieurbüro HOLST
Grünheide

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 315

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 Öffentlichkeitsarbeit.

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 Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 02.0334/2011/MRB:
Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an Bundesautobahnen – Anforderungen und Begleitung eines Piloten

Fachbetreuung:

Jens Dierke

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-441-8

Bergisch Gladbach, April 2019

Kurzfassung – Abstract

Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung

Durch die zunehmende Dichte und steigende Anzahl des Lkw-Verkehrs auf den Bundesautobahnen finden nicht alle Lkw-Fahrer einen geeigneten Parkstand für die Pausen- und Ruhezeiten.

Neben dem konventionellen Aus- und Neubau von Rastanlagen wird im Rahmen von aktuellen Pilotprojekten zum telematisch gesteuerten Lkw-Parken versucht, mit neuen Ansätzen und Konzepten Lösungen zur Verbesserung der für alle Beteiligten schwierigen Parkraumsituation zu finden.

Das neue Steuerungsverfahren telematisch gesteuertes Kompaktparken zeichnet sich dadurch aus, dass mehrere Lkw ohne Mittelfahrgasse zeitlich sortiert kompakt, unmittelbar hinter- und nebeneinander parken. Mithilfe von dynamischen Anzeigen über den Parkstandreihen erhalten die Fahrzeugführer ein Angebot an Abfahrtszeiten.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Entwicklung eines Algorithmus sowie die Evaluierung der Anwendung in der Realität einer speziell für das Kompaktparken ausgestatteten Rastanlage begleitet. Für den Funktionalitätsnachweis wurde anhand der Pilotanwendung auf der Rastanlage Jura West untersucht, inwieweit die zusätzlich geschaffene Kapazität von 35 Parkständen durch Einsatz des Systems Kompaktparken genutzt wurde und inwieweit die Fahrzeuge zeitlich sortiert hintereinander parken bzw. bei potenziellen Blockierungen konfliktfreie alternative Möglichkeiten für das Verlassen des Parkbereichs bestanden.

Die Ergebnisse der Untersuchung haben gezeigt, dass in der stark nachgefragten Wochentaggruppe Montag bis Donnerstag durchschnittlich 93 % des gesamten Parkbereichs (an einzelnen Tagen bis zu 100 %) belegt wurden. An den Wochenenden ist dagegen die Nachfrage so klein (durchschnittlich nur 52 %), dass selbst die geringere Kapazität des konventionellen Parkens nicht ausgenutzt wurde. Bei der Prüfung zeitlichen Sortierung für insgesamt 675 reale Parkvorgänge zeigte sich, dass 90 % der Fahrzeuge zeitlich sortiert hintereinander parkten

und nur für 10 % zwar eine potenzielle Blockierung, aber überwiegend eine alternative Ausfahrtmöglichkeit über eine Nachbarreihe bestand.

Insgesamt konnte so die Funktionalität, Betriebssicherheit und hohe Systemverfügbarkeit des Systems Kompaktparken nachgewiesen werden.

Intelligent controlled compact parking for truck parking management on motorway rest areas – Requirements and practical testing

Due to the increasing density and increasing number of truck traffic on motorways in Germany, not all truck drivers find a suitable parking place for breaks and longer rest periods.

In addition to the conventional extension and new building of rest areas, current pilot projects on intelligent controlled truck parking are attempting to find new approaches and concepts to improve the difficult parking situation for all involved.

The new Intelligent Controlled Compact Parking control procedure is characterized by the fact that trucks are parking side by side without driving lanes between trucks in a compact, time-sorted manner directly behind and next to each other. With the help of variable message signs above the rows of parking stands, drivers receive an offer of departure times.

Within the scope of the research project, the development of an algorithm and the evaluation of the application in the reality of a rest area specially equipped for compact parking were supervised.

To prove functionality, the pilot project at the Jura West rest area was examined to determine to what extent the additional capacity of 35 parking stands created was used by using the compact parking system. It was also examined to what extent the vehicles were parked one behind the other in chronological order or if, in the event of potential blockages, there were conflict-free alternative options for leaving the parking area.

The results of the study have shown that an average of 93% of the total parking area (up to 100% on individual days) was occupied in the highly demanded weekday group Monday to Thursday.

On weekends, however, demand is so low (only 52% on average) that even the lower capacity of conventional parking was not used.

During the time sorting test for a total of 675 real parking processes, it has been found that 90% of the vehicles parked one after another in chronological order and only for 10% there was a potential blockage, but predominantly with an alternative exit option via a neighbouring row.

In total, the functionality, operational reliability and high system availability of the compact parking system could be proven.

Summary

Intelligent controlled compact parking for truck parking management on motorway rest areas – Requirements and practical testing

1 Problem definition and objective

The increasing density and number of truck traffic on motorways in Germany and the stricter legal regulations on driving and break times are creating additional problems for drivers of these vehicles when parking and taking longer rest periods.

In 2008 it was expected that more than 14,000 trucks could not find a suitable parking space for the breaking and sleeping times, so that there were increasingly critical situations when parking the vehicles [BMVBS 2008b (2008): Studie zu Lkw-Parkplätzen ausgewertet; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Pressemitteilung vom 08. September 2008, Nr.: 248/2008].

In addition overcrowding and dangerous situations still occur as a result of vehicles parking on the entrance and exit roads of rest areas. At night, trucks are already occupying additional parking spaces for motorcars.

In addition to the expansion of the rest stops, telematic systems will also be used in the future, which automatically detect the occupancy rate and display the capacities of the respective rest stop in advance on German motorways [KLEINE, J.; LEHMANN, R. (2011): Konzeption eines Lkw-Parksystems auf Rastplätzen der BAB, SVT 2011].

Current pilot projects on intelligent controlled truck parking are attempting to find new approaches and concepts to improve the difficult parking situation for all involved.

The new „Intelligent Controlled Compact Parking“ control procedure is characterized by the fact that trucks are parking side by side without driving lanes between trucks in a compact, time-sorted manner directly behind and next to each other. In order to avoid obstructions, only vehicles that have the same departure time or leave later than the vehicles parked in front of them should park in a specific row.

Intelligent controlled compact parking is based on the dynamic allocation of departure times to a row



Fig. 1-1: Compact Parking [ZVM: Autobahndirektion Südbayern, Zentralstelle Verkehrsmanagement]

of parking stands. Variable message signs above the parking rows provide drivers with information on the latest departure time of vehicles parked in a row. Arriving drivers should use this information to park in the row where their own planned departure time is displayed so that the vehicles do not block each other on departure. Furthermore, the drivers see the remaining available length of a row of parking stands. Drivers can decide on their own for a suitable row of parking stands.

The aim of compact parking is to increase capacity by making better use of the available space at the rest area. Generally, three trucks can be parked one behind the other in a row of parking stands, where previously only two trucks had space.

Within the scope of the research project, the development of an algorithm for intelligent controlled compact parking was supervised by verification of the algorithm with the aid of a simulation environment and by evaluation of the application of the method in the reality of a rest area specially equipped for compact parking.

2 Method of analysis

The Fraunhofer Institute IML realized a simulation of compact parking using a simulation network in VISSIM 6.0 and 7.0. For this purpose, the algorithm of compact parking was applied at the Jura-West rest and petrol station (second construction stage). The basis for the algorithm was the extended specification for intelligent controlled compact parking.

Using the simulation environment provided to the research project, the compact parking system was tested technically. For this purpose, test data was

generated to test the system with the help of individual tests (covering various normal and extreme cases) on the one hand, and with mass data that is as real as possible with regard to its practical suitability and its flexibility in the successful handling of various everyday situations on the other.

After successful testing in the simulation environment, the system was tested on site at the Jura West rest area. In preparation for the evaluation, the occupancy data of the parking area (entry and exit times, displayed departure times) were recorded over a continuous period of 48 hours, the behaviour of the truck drivers was observed and the technical interaction of the individual system components was checked.

For the evaluation of the pilot application at the Jura West rest area a period of four weeks was set (August 2017). To prove functionality, the rest area was examined to determine to what extent the additional capacity of 35 parking stands created was used by using the compact parking system. It was also examined to what extent the vehicles were parked one behind the other in chronological order or if, in the event of potential blockages, there were conflict-free alternative options for leaving the parking area.

3 Examination results

The simulation environment of the Fraunhofer Institute IML was used in the research project to verify the algorithm. In the simulation environment, it was taken as a precondition that the arriving truck drivers always select a row of parking stands that comes closest to their desired length of stay and is longer than or equal to the desired length of stay. No differentiated behaviour patterns of truck drivers were taken into account.

The simulations were carried out with synthetic test data. The length of stay was calculated on the basis of the valid regulations on driving times, breaks and rest periods. Targeted load tests have shown that sufficient good data on demand must be available for optimal parameterization.

The simulation results show that the compact parking system can be further adjusted to the real needs of truck drivers in trial operation by fine parameterisation.

To prove functionality, the pilot project at the Jura West rest area was examined to determine to what extent the additional capacity of 35 parking stands created was used by using the compact parking system. It was also examined to what extent the vehicles were parked one behind the other in chronological order or if, in the event of potential blockages, there were conflict-free alternative options for leaving the parking area.

The results of the study have shown that an average of 93% of the total parking area (up to 100% on individual days) was occupied in the highly demanded weekdays Monday to Thursday. On weekends, however, demand is so low (only 52% on average) that even the lower capacity of conventional parking was not used. During the time sorting test for a total of 675 real parking processes, it has been found that 90% of the vehicles parked one after another in chronological order and only for 10% there was a potential blockage, but predominantly with an alternative exit option via a neighbouring row.

In total, the functionality of the compact parking system could be proven. It was also shown that the compact parking system is reliable in operation and has a high availability (> 99.9%).

Day	Occupied spaces	Free exit	Potential blocks
Wed 02.08.17 00:00 h	101	94	7
Thur 03.08.17 00:00 h	104	90	14
Fri 04.08.17 00:00 h	86	67	19
Tue 08.08.17 00:00 h	84	74	10
Wed 09.08.17 00:00 h	103	99	4
Thur 10.08.17 00:00 h	105	98	7
Fri 11.08.17 00:00 h	92	84	8
Total	675	606	69
Ratio		90%	10%

Tab. 2-1: Evaluation of occupancy in the compact parking area Jura West August 2017

Inhalt

1	Einleitung	9	Teil 2: Evaluation Pilotanwendung	
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	9	4	Grundlagen der Vorort-Analyse
1.2	Grundprinzip des Kompaktparkens	9	4.1	Pilotanlage Jura West
1.3	Pilotanwendung Kompaktparken	10	4.2	Evaluationskonzept
			4.2.1	Vorort-Analyse
			4.2.2	Evaluation über 4 Wochen
	Teil 1: Simulation		5	Evaluierung des Gesamtsystems
2	Simulationsprogramm	10	5.1	Beobachtungen während der Vorort-Analyse
2.1	Aufbau	10	5.1.1	Tageszeitabhängiges Verhalten der Lkw-Fahrer
2.2	Besonderheiten der Simulation	11	5.1.2	Sonstige Beobachtungen
2.2.1	Abbildung des Algorithmus Kompaktparken in VISSIM	11	5.1.3	Verknüpfung der Daten
2.2.2	Parametrierung der Simulation	12	5.2	Funktionalitätsnachweis
2.2.3	Erweiterungswünsche zur Simulation	13	5.2.1	Belegung
2.3	Bereitstellung von Testdaten	13	5.2.2	Fahrerverhalten (sortiertes hintereinander Parken)
2.3.1	Synthetische Testdaten	13	5.2.3	Technische Systemverfügbarkeit
2.3.2	Datengenerator	14	5.3	Empfehlungen zur Optimierung
2.3.3	Testdaten von realen Parkplätzen (Referenzparkplatz)	15	5.3.1	Parametrierung der Abfahrtzeiten
			5.3.2	Verzicht auf Kurzzeitparkbereich
			5.3.3	Darstellung der Anzeigen
3	Bewertung Kompaktparken mittels Simulation	17	6	Zusammenfassung und Ausblick
3.1	Lasttest mit 11 Stunden	18		
3.2	Lasttest mit 9 und 11 Stunden	21	Literatur	46
3.3	Lasttest mit Verteilung zwischen 3 und 14 Stunden	24	Bilder	47
3.4	Test mit zusammengestellten skalierten Tagesdaten	28	Tabellen	48
3.4.1	Standardparameter	28		
3.4.2	Parametervariante	30		
3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Simulationen	32		

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Durch die zunehmende Dichte und steigende Anzahl des Lkw-Verkehrs auf den Bundesautobahnen und die verschärften gesetzlichen Bestimmungen zu den Lenk- und Pausenzeiten ergeben sich zusätzliche Probleme beim Parken und Einhalten der Pausenzeiten für die Führer solcher Fahrzeuge. Im Jahre 2008 rechnete man damit, dass über 14.000 Lastkraftwagen (Lkw) keinen geeigneten Stellplatz für die Pausen- und Schlafzeiten fanden, sodass es zunehmend zu kritischen Situationen beim Abstellen der Fahrzeuge kam [BMVBS 2008b]. Außerdem sind Überbelegungen und gefährliches Abstellen der Fahrzeuge in den Ein- und Ausfahrbereichen der Parkplätze zu beobachten. Nachts werden auf den Rastanlagen schon zusätzlich Pkw-Stellplätze von Lkw belegt.

Neben dem Ausbau der Rastanlagen sollen zukünftig auch telematische Systeme eingesetzt werden, die den Belegungsgrad automatisch detektieren und die Kapazitäten der jeweiligen Rastanlage im Vorfeld auf der Bundesautobahn anzeigen [KLEINE, J.; LEHMANN, R. (2011)].

Im Rahmen von aktuellen Pilotprojekten zum telematisch gesteuerten Lkw-Parken wird versucht, mit neuen Ansätzen und Konzepten Lösungen zur Verbesserung der für alle Beteiligten schwierigen Parkraumsituation zu finden.

Das neue Steuerungsverfahren telematisch gesteuertes Kompaktparken zeichnet sich dadurch aus, dass mehrere Lkw ohne Mittelfahrgasse kompakt, unmittelbar hinter- und nebeneinander parken. Um Behinderungen zu vermeiden, sollen nur Fahrzeuge in einer Parkstandreihe parken, die die gleiche Abfahrzeit haben oder später als die davor parkenden Fahrzeuge abfahren.

Telematisch gesteuertes Kompaktparken beruht auf der dynamischen Zuweisung der Abfahrtszeiten zu einer Parkstandreihe. Mithilfe von dynamischen Anzeigen über den Parkstandreihen erhalten die Fahrzeugführer Informationen über die späteste Abfahrtszeit der Fahrzeuge, die in einer Reihe hintereinander parken. Ankommende Fahrzeugführer sollen mithilfe dieser Information in der Reihe parken, an der die eigene geplante Abfahrtszeit angezeigt wird, sodass sich die Fahrzeuge nicht gegenseitig bei der Abfahrt behindern. Weiterhin ergibt

sich für die Fahrer augenscheinlich die verfügbare Restlänge einer Parkstandreihe. Die Fahrzeugführer können sich selbstständig für eine geeignete Parkstandreihe entscheiden.

Mit dem Kompaktparken soll eine Erhöhung der Kapazität durch bessere Nutzung der vorhandenen Fläche auf der Rastanlage erzielt werden. Durch das kompakte hintereinander Parken können in der Regel drei Lkw in einer Parkstandreihe abgestellt werden, wo zuvor nur zwei Lkw Platz fanden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgte die Begleitung der Entwicklung eines Algorithmus für das telematisch gesteuerte Kompaktparken in Form der Verifizierung des Algorithmus mithilfe einer Simulationsumgebung des Fraunhofer-Instituts (Teil 1) sowie die Evaluierung der Anwendung des Verfahrens in der Realität eines speziell für das Kompaktparken ausgestatteten Rastanlage (Teil 2).

1.2 Grundprinzip des Kompaktparkens

Nachfolgend wird kurz auf den Algorithmus Kompaktparken eingegangen. Eine detaillierte Beschreibung ist in [KLEINE, J.; LEHMANN, R., (2017)] gegeben.

Der Algorithmus zum Kompaktparken stellt zu jeder Tageszeit Parkstandreihen für Kurz- und Langzeitparken (Parkstandgruppen) belegungsabhängig und nachfrageorientiert zur Verfügung. Die Anzahl der Parkstandreihen, für Kurz- und Langzeitparken ist parametrierbar und wird dynamisch nachfrageorientiert angepasst. Damit stehen über Tag mehr Kurzzeitparkstände zur Verfügung und in den Abendstunden kann das Kurzzeitparken reduziert bzw. komplett weggelassen werden.

Für die beiden Parkstandgruppen werden die voraussichtlich gewünschten Abfahrtszeiten abgeleitet und über dynamische Abfahrtszeitanzeigen über den Parkstandreihen angeboten. Dazu wird je Gruppe eine dynamische Schwerpunktreihe berechnet, in der die erwartete am meisten nachgefragte Abfahrtszeit angezeigt wird. Die Abfahrtszeiten der Parkstandreihen werden kontinuierlich zeit- und belegungsgesteuert angepasst. Dabei sind die errechneten Abfahrtsanzeigen in Fahrtrichtung steigend und werden über parametrierbare Schrittweiten xx:00, xx:15, xx:30 und xx:45 Uhr oder xx:00 und xx:30 angezeigt.

Das Prinzip des Kompaktparkens beruht darauf, dass Lkw, die zur selben Zeit oder später als die jeweils vor ihnen parkenden Lkw die Rastanlage verlassen wollen, dicht hintereinander in einer Reihe parken. Über den Parkreihen zeigen dynamische Anzeigen chronologisch aufsteigende Abfahrtszeiten an. Diese zeigen dem ankommenden Lkw-Fahrer die späteste Abfahrtszeit derjenigen Fahrzeuge an, die jeweils in einer Reihe parken. Der Lkw-Fahrer wählt seine Reihe entsprechend seiner Abfahrtszeit selbst aus. Die Zuweisung von Abfahrtszeiten zu den Anzeigen der Parkstandreihen erfolgt dynamisch und nachfrageabhängig. Für einen komplett leeren Parkbereich wird beim Kompaktparken ein breites Spektrum von Abfahrtszeiten angeboten. Füllt sich der Parkbereich, so reduziert sich dieses Angebot auf die am stärksten nachgefragten Abfahrtszeiten.

Das System des Kompaktparkens unterstützt die Lkw-Fahrer bei Suche nach einem geeigneten Parkstand. Die angezeigten Abfahrtszeiten sind keine starren Vorgaben, sondern Empfehlungen. Das Grundprinzip der monoton aufsteigenden Abfahrtszeiten ist einfach für den Lkw-Fahrer zu verstehen. Es ist nicht nötig, den gesamten Parkbereich auf einen Blick zu erfassen, da bereits nach wenigen Parkstandreihen klar ist, dass die nachfolgenden Reihen immer die gleichen oder spätere Abfahrtszeiten anzeigen.

Das System des Kompaktparkens funktioniert ohne Kommunikation der Lkw-Fahrer untereinander, indem sich der Fahrer an den Abfahrtsanzeigen orientiert. Kommunikation zwischen den Fahrern ist aber jederzeit möglich, um nach Absprachen die Parkzeit gegebenenfalls zu verlängern.

Wenn sich ein Fahrer nicht an die empfohlene Abfahrtszeit hält können hinter ihm stehende Fahrzeuge ihren Parkstand über die benachbarten Reihen verlassen, da benachbarte Parkstandreihen ähnliche Abfahrtszeiten anzeigen. Ohne ein ordnendes System wäre dies in der Regel nicht möglich.

1.3 Pilotanwendung Kompaktparken

Auf der Rastanlage Jura West an der BAB A 3 in Fahrtrichtung Regensburg wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur gemeinsam mit der Bayerischen Straßenbauverwaltung und der Bundesanstalt für Straßenwesen das Pilotprojekt zum Kompaktparken realisiert. Es wurden 35 Parkstandreihen mit Längen

von rund 70 Metern für das Kompaktparken eingerichtet, die je mindestens drei Lkw hintereinander Platz bieten. Die Anlage wurde am 19.02.2016 in Betrieb genommen.

Teil 1: Simulation

2 Simulationsprogramm

2.1 Aufbau

Die Simulation wurde durch das Fraunhofer Institut IML mittels eines Simulationsnetzes in VISSIM 6.0 bzw. 7.0 realisiert.

Dazu wurde der Algorithmus des Kompaktparkens auf der Tank- und Rastanlage Jura-West (2 Bau-stufe) ausgerichtet. Grundlage für den Algorithmus waren das Erweiterte Lastenheft zum Telematisch gesteuerten Kompaktparken [SCHONEBOOM, SCHOLZ (2014)].

Die Simulationsumgebung ist in [SCHOLZ, GEORG (2015)] beschrieben.

Bild 2-1 zeigt das Simulationsnetz (s. a. [Fraunhofer-Institut (2015)]).

Die Simulation wurde in der Programmiersprache Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) programmiert. Über eine eingebundene Bibliothek (VISSIM Object Library) wird von Excel aus die Simulation unter VISSIM gesteuert. Dabei ist der Algorithmus für die Berechnung der Abfahrtszeiten in VBA programmiert und die Datenschnittstelle wird über die Tabellenblätter einer Excel-Datei realisiert (s. a. [SCHOLZ, GEORG (2015)]).

Die (Eingangs-)Fahrzeugdaten werden z. B. aus dem Arbeitsblatt Fahrzeuge gelesen (s. Bild 2-2).

Hier sind als Input folgende Spalten relevant (s. Kapitel 5.2.1 Dateneingabe/Verkehrsdatentabelle [SCHOLZ, GEORG (2015)]):

- Typ: definierte Fahrzeugtypen aus VISSIM
 - 1: Silofahrzeug,
 - 2: Sattelaufleger,
 - 3: Lkw mit Anhänger,
 - 4: Klein-Lkw,
 - 5: Campingfahrzeug.

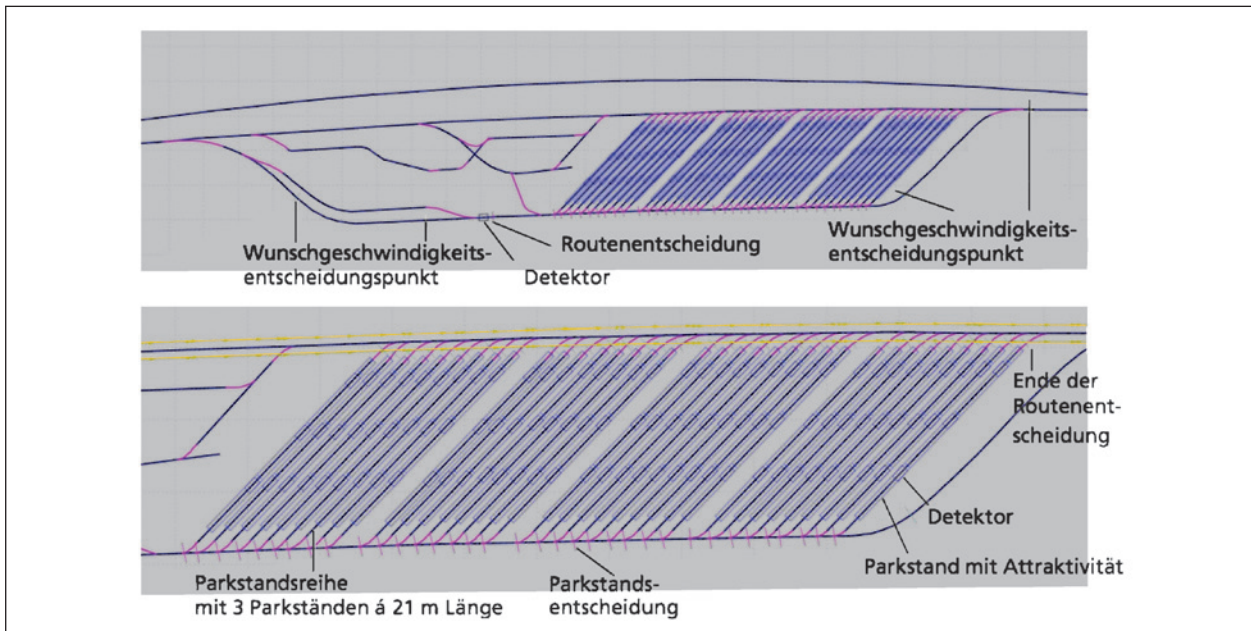


Bild 2-1: Aufbau Simulationsnetz Kompaktparken VISSIM 6 (Fraunhofer)

1	Typ	Einfahrt	Parkzeit	VehicleID	Zugewiesen	KZP/LZP
2	1	1		6702		
3	1	31		31927		
4	1	61		34593		
5	1	91		32569		
6	1	121		33731		
7	1	151		1493		
8	1	181		10867		
9	1	211		30962		
10	1	241		42870		
11	1	271		43314		

Bild 2-2: Arbeitsblatt Fahrzeuge

- Einfahrt: die Einfahrtszeit des Kfz in Sekunden (die Simulation beginnt bei Sekunde Null),
- Parkzeit: die Parkzeit in Sekunden.

Die beiden folgenden Spalten ‚VehicleID‘ sowie ‚Zugewiesen‘ sind freizulassen. Sie werden im Laufe der Simulation mit den aktuellen Zustandsdaten beschrieben.

Die Testdaten für einen Simulationslauf bestehen also aus den Spalten Typ, Einfahrt und Parkzeit. Diese Daten müssen in dem Arbeitsblatt ‚Fahrzeuge‘ eingefügt werden. Dies kann durch Copy und Paste erfolgen.

Die Besonderheiten bzw. Einschränkungen der Simulation werden in Kapitel 2.2 beschrieben

2.2 Besonderheiten der Simulation

Bei einer Simulation wird die Realität immer durch Modelle abgebildet, die von bestimmten Vereinfachungen ausgehen, damit die Komplexität der Simulation überschaubar bleibt. Dabei können die eingesetzten Werkzeuge, mit denen die Simulation durchgeführt wird, weitere Einschränkungen bewirken.

In diesem Unterpunkt werden die Besonderheiten der Simulation zum Kompaktparken beschrieben, die bei der Realisation mit dem Programm VISSIM und bei der Erzeugung von Testdaten gemacht wurden.

2.2.1 Abbildung des Algorithmus Kompaktparken in VISSIM

Mit dem Programm VISSIM wurde ein Simulationsnetz für das Kompaktparken auf der Tank- und Rastanlage Jura-West (2. Baustufe) realisiert.

Für die Simulation wurden vereinfachte Annahmen getroffen, die in dem Dokument [SCHOLZ, GEORG (2015)] ausführlich beschrieben sind. Die folgende Aufzählung führt den wesentlichen Teil dieser Punkte auf und kommentiert bzw. ergänzt diese:

- Es werden keine Restlängen betrachtet (Einschränkung durch VISSIM).

Alle Parkstandsreihen haben 3 feste Parkstände mit je 21 m Länge. Damit kann grundsätzlich

- nicht simuliert werden, dass die Parkstandsreihe mit mehr oder weniger als 3 Parkständen vollständig belegt wird. Dies kann z. B. durch die Belegung von kürzeren Fahrzeugen oder durch Verhaltensmuster von Fahrzeugführern verursacht werden.
- Die Parkstände werden immer vollständig belegt.
 - Es kann nicht simuliert werden, dass ein Lkw so parkt, dass er rückwärts wieder die Parkstandsreihen verlassen kann.
 - Es kann nicht simuliert werden, dass ein Lkw den Parkstand über eine benachbarte freie Parkstandsreihe verlässt.
 - Die Lkw fahren grundsätzlich in die Parkstandsreihe mit passender aufgerundeter Abfahrtszeit.
 - Wenn nach diesem Verfahren kein freier Parkstand ermittelt werden kann, verlässt der Lkw den Parkplatz. Das bedeutet aber auch, dass eine angezeigte Abfahrtszeit, die nur wenige Sekunden vor der gewünschten Abfahrtszeit liegt dazu führt, dass ein Parkstand nicht belegt wird und der Lkw den Parkplatz verlässt.
 - Andererseits wird ein freier Parkstand auch dann angenommen, wenn die angebotene Abfahrtszeit deutlich später ist als die gewünschte Abfahrtszeit.
- Die Simulation beginnt immer mit dem Betriebszustand Initialisierung
 - Der Parkplatz kann nicht zu Beginn der Simulation vorbelegt werden.
 - Der Betriebszustand Halt kann nicht simuliert werden.
 - Das Umschalten ins konventionelle Parken kann nicht simuliert werden.

2.2.2 Parametrierung der Simulation

Die Simulation kann über folgenden Parameter beeinflusst werden, die in der Excel-Datei im Arbeitsblatt Zustand gesetzt werden können.

Tabelle 2-1 führt die verwendeten Parameter auf. In der Spalte Default sind die Werte aufgeführt, die bei der Auslieferung gesetzt waren. In einer weiteren Spalte sind kurze Anmerkungen aufgeführt. Für weitere Details wird auf die Dokumente [SCHONE-

Parameter	Default	Anmerkungen
Zeitdifferenz	3.600 s	Akzeptierte Zeitdifferenz für die Initialisierung (1 Stunde)
veränderte Reihen	15 Reihen	Grenzzahl für Reihen mit veränderter Restlänge in Initialisierung.
Prozesszeit	215 s	Die Prozesszeit ist die Zeit die ein Fahrzeug benötigt vom Detektor bis zum 1. Parkstandsdetektor in der letzten Parkstandsreihe (hier Parkstandsreihe 35).
Grenzreihe	Reihe 13	Reihe zur Überwachung der Abfahrtszeit zwischen KZP und LZP.
Grenzzeit	12.600 s	Maximale Abfahrtszeit KZP/Minimale Abfahrtszeit LZP + 3,5 Stunden
Minimum Reihen KZP	7 Reihen	Mindestanzahl von Parkstandsreihen für das Kurzzeitparken
Minimum Reihen LZP	15 Reihen	Mindestanzahl von Parkstandsreihen für das Langzeitparken
Aufenthalt SP LZP	39.600 s	Schwerpunkt LZP 11 h
Aufenthalt SP KZP	3.600 s	Schwerpunkt KZP 1 h
Δt KZP	900 s	Zeitdifferenz Anzeigen KZP 15 Minuten
Δt LZP	1.800 s	Zeitdifferenz Anzeigen KZP 30 Minuten
Aktualisierungsrate	900 s	Aktualisierung der Abfahrtszeiten
Wunschwechselzeit	25.200 s	Wechsel von LZP nach KZP (Default zwischen 7 und 9 Uhr)
	32.400 s	
Faktor KLZP1	0,8	Faktor zur Berechnung der Lage der Schwerpunktsreihe für das Langzeitparken.
Faktor KLZP2	1	Wie oben, wenn weniger als 5 Parkstandsreihen noch nicht vollständig belegt sind.
Faktor KKZP	0,7	Faktor zur Berechnung der Lage der Schwerpunktsreihe für das Kurzzeitparken.

Tab. 2-1: Parameter der Simulation (Arbeitsblatt ‚Zustand‘)

BOOM, SCHOLZ (2014)], [SCHOLZ, GEORG (2015)] und [Fraunhofer-Institut (2015)] verwiesen.

2.2.3 Erweiterungswünsche zur Simulation

Bei der Anwendung der Simulation zum Kompakt-parken sind einige Punkte aufgefallen, die verbesserungswürdig sind bzw. sinnvolle Erweiterungen darstellen würden. Diese Punkte sollen in diesem Unterpunkt zusammengefasst werden.

Wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, fahren die Lkw grundsätzlich in die Parkstandsreihe mit passender aufgerundeter Abfahrtszeit. Damit wird eine 100%-Befolgung der Fahrer simuliert. Bei der Simulation wird dabei keine tolerierte Abweichung der angebotenen zur gewünschten Parkzeit berücksichtigt. Wenn beispielsweise ein Fahrer um 22:00 Uhr den Parkplatz anfährt und eine Ruhezeit von drei Stunden einlegen möchte, würde die Simulation den Lkw in die Parkstandsreihe führen, die als Abfahrtszeit mindestens 01:00 Uhr aufweist. Hier sollte eine parametrierbare Begrenzung der tolerierten Abweichung vorgebar sein um zu vermeiden, dass unrealistische Verhaltensweisen entstehen. Falls im Beispiel die früheste Abfahrtszeit 11:00 Uhr wäre, würde der Lkw in diese Parkstandsreihe geleitet, obwohl sie zu einer ungewollten Verzögerung der Abfahrt um 10 Stunden führt. Durch diese Vorgehensweise ist die durch die Simulation ermittelte Auslastung teilweise realitätsfern.

Das Verhalten der Simulation kann hier durch einen einfachen Parameter, der die tolerierte Abweichung der gewünschten Parkzeit nach oben beschränkt, verbessert werden. Vorstellbar ist hier z. B. eine feste Zeit mit einem Standardwert von 1 Stunde. Wenn diese Abweichung überschritten wird, wird das Angebot nicht angenommen und der Parkplatz verlassen.

In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass durch die Simulation in der aktuellen Excel-Datei keine Möglichkeit besteht, die tolerierte Abweichung von gewünschter Verweilzeit zur gewählter Abfahrtszeit für jeden Lkw nachzuvollziehen. In dem Arbeitsblatt Anzeigen werden die gewünschten und die gewählten Abfahrtszeiten der Lkw zu bestimmten Zeitpunkten dargestellt. Damit kann für Momentaufnahmen eine Auswertung dieser Abweichung erfolgen. Zur sinnvollen Bewertung der Auslastung sollte die Abweichung der einzelnen Lkw direkt zusätzlich in das Arbeitsblatt Fahrzeuge eingepflegt werden. Hier werden bei

der Simulation bereits andere Daten geschrieben (z. B. VehicleID).

Bei der Simulation werden keine Verhaltensmuster der Lkw-Fahrer unterstützt. Im Rahmen einer realitätsnäheren Betrachtung sollten einige Verhaltensmuster parametrierbar sein, z. B.:

- Ein Lkw-Fahrer befährt auch eine Parkstandsreihe, die eine Abfahrtszeit anzeigt, die kurz vor seiner beabsichtigten Abfahrtszeit liegt (parametrierbar z. B. 15 Minuten). Damit werden kürzere Blockaden anderer Fahrer in Kauf genommen.
- Ein Lkw-Fahrer sucht sich eine Parkstandsreihe aus, in der der erste Parkstand noch frei ist. Wenn die angezeigte Abfahrtszeit nach seiner gewünschten Abfahrtszeit ist, blockiert er keine weiteren Fahrzeuge. Der Parkstand selbst steht aber ggf. nach seiner Abfahrt für eine bestimmte Zeit nicht mehr zur Verfügung, da sich mittlerweile ein andere Lkw hinter ihn gestellt hat.

Die Anfangsbelegung des Parkplatzes sollte vorgegeben werden können.

- Bei der Simulation kann kein Anfangszustand vorgegeben werden, in dem der Algorithmus auf dem aktuellen Stand ist. Hiermit könnten gezielt Prüffälle simuliert werden, die das gewünschte Verhalten der Steuerung testen.

2.3 Bereitstellung von Testdaten

Für die Durchführung von Simulationen mithilfe der durch das Fraunhofer Institut IML erstellten Simulationsumgebung werden Testdaten benötigt, die das Parkverhalten der Verkehrsteilnehmer möglichst realistisch abbilden.

2.3.1 Synthetische Testdaten

Die mutmaßliche Nachfrage an gewünschten Parkzeiten ist von verschiedenen Kriterien abhängig [IHK (2010)]:

- Lenkzeiten, Fahrtunterbrechungen und Ruhezeiten

Diese Kriterien sind umfangreich und bisweilen sehr kompliziert auf die mutmaßliche Nachfrage an gewünschten Parkzeiten abbildbar. In einem ersten Ansatz wird eine Unterscheidung zwischen Kurz- und Langzeitparkzeiten vollzogen.

Die Lenkzeit darf 4,5 Stunden nicht überschreiten. Spätestens nach dieser Zeit muss eine Fahrtunterbrechung von mindestens 45 Minuten eingehalten werden. Diese Zeit kann in eine 15-minütige und danach in eine 30-minütige Fahrtunterbrechung eingeteilt werden. Damit ergibt sich aus den Anforderungen für Fahrtunterbrechungen für Parkzeiten von mindestens 15, 30 und 45 Minuten eine erhöhte Wahrscheinlichkeit.

Der Lkw-Fahrer muss eine regelmäßige tägliche Ruhezeit von mindestens 11 Stunden einhalten. Diese Zeit kann dreimal pro Woche auf 9 Stunden verkürzt werden (ohne Ausgleichspflicht). Weiter besteht die Möglichkeit die tägliche Ruhezeit in zwei Abschnitten von mindestens 3 Stunden (1. Abschnitt) und mindestens 9 Stunden (2. Abschnitt) aufzuteilen. Damit ergeben sich aus den Anforderungen für die täglichen Ruhezeiten für Parkzeiten von 3, 9 und 11 Stunden eine erhöhte Wahrscheinlichkeit¹.

Die Tagesruhezeiten reduzieren sich, wenn 2 Fahrer im Fahrzeug vorhanden sind.

- Tageszeitbezug

Die normalen Fahrzeiten eines Lkw-Fahrers werden wahrscheinlich irgendwo zwischen 5 und 20 Uhr sein, da die Be- und Entladezeiten hauptsächlich in diesem Zeitfenster liegen werden. Damit ist eine grobe Verteilung der Nachfrage von Kurz- und Langzeitparkzeiten gegeben. Von morgens bis in die frühen Nachmittagsstunden wird demnach mehr Nachfrage für kürzere Parkzeiten sein und ab ca. 15 Uhr werden die längeren Ruhezeiten begonnen.

- Wochentagsbezug

Neben dem Tageszeitbezug ergibt sich ein Bezug zu den Wochentagen. Dies ist u. a. der nor-

malen Arbeitswoche der zu beliefernden Kunden und dem Sonn- und Feiertagsfahrverbot geschuldet [IHK (2010)].

- Gewünschte Abfahrtszeiten

Insbesondere ist bei den längeren Ruhezeiten zu erwarten, dass sich in den Morgenstunden die gewünschten Abfahrtszeiten um bestimmte Uhrzeiten häufen werden. Wer den Parkplatz beispielsweise um 16:00 Uhr für die Einhaltung seine Ruhezeit anfährt, wird ihn wahrscheinlich nicht um 1 Uhr nachts (9 Stunden) oder 3 Uhr nachts (11 Stunden) sondern vielleicht eher zwischen 5 und 7 Uhr morgens wieder verlassen. Dies kann in der Evaluierungsphase geprüft werden.

Die mutmaßliche Nachfrage an gewünschten Abfahrtszeiten ist für jeden Parkplatz wahrscheinlich etwas anders und muss ggf. empirisch ermittelt werden.

2.3.2 Datengenerator

Für die Erzeugung von Testdaten wurde ein Programm erstellt, das die erforderlichen Fahrzeugdaten unter der Berücksichtigung von vorgebbaren Verteilungen erzeugt.

Dabei wird ein Tagesprofil von gewünschten Verweilzeiten über einen Parameter vorgegeben. Anhand der Vorgaben werden die Eingangsdaten für fünf aufeinander folgende Tage erzeugt.

Für das Tagesprofil können beliebig viele Zeitbereiche vorgegeben werden. Je Zeitbereich wird vorgegeben, wie viele Fahrzeuge in diesem Zeitbereich den Parkplatz anfahren. Die gewünschten Verweilzeiten werden je Zeitbereich durch beliebig viele Gruppen vorgegeben. Dabei wird je Gruppe ein Verweilzeitfenster und eine Wichtung in Prozent für den Zeitbereich angegeben.

Tabelle 2-2 zeigt ein Beispiel für ein Tagesprofil mit gewünschten Verweildauern.

Im Zeitbereich zwischen 00:00 und 16:00 Uhr wird im Beispiel gem. Tabelle 2-2 der Parkplatz von 200 Fahrzeugen angefahren. Die generierten Verweilzeiten werden durch die Gruppen vorgegeben:

- 40 % der Lkw-Fahrer wird eine Verweildauer zwischen 15 Minuten und einer Stunde zugewiesen,

¹ Diese Vorgaben führen dazu, dass Parkstandsreihen für die verkürzte Ruhezeit von 9,0 Stunden vorgesehen werden sollten. D. h. für eine Zeitspanne zwischen 9 und 10 Stunden (s. auch [LÜTTMERTING, A.; GATHER, M.; HEINITZ, F.; HESSE, N. (2008): 16]). Bei den Parkstandsreihen für die normale Ruhezeit von 11,0 Stunden sollte eine Zeitspanne zwischen min. 11 und 12 – besser 13 Stunden – vorgesehen werden. Die Ausdehnung auf bis zu 13 Stunden (evtl. 14 Stunden) ergibt sich aus der Tatsache, dass der Lkw-Fahrer i. d. R. nur 9 Stunden fahren darf und diese Zeit durch eine Pause von min. 45 Minuten unterbrechen muss. Somit verbleibt eine Restzeit (Ruhezeit) von ca. 13 bis 14 Stunden.

- 40 % eine Verweildauer zwischen drei und vier Stunden,
- 10 % eine Verweildauer zwischen 9 und 10 Stunden und
- 10 % eine Verweildauer zwischen 11 und 14 Stunden.

Die Anfahrtszeiten der Lkw werden entweder gleichverteilt oder zufällig über den vorgegebenen Zeitbereich erzeugt. Die jeweilige Verweilzeit wird zufällig aus dem vorgegebenen Intervall bestimmt.

Bei den synthetisch erzeugten Fahrzeugdaten geben die Einträge in der Spalte Einfahrt die Sekunde des Tages an. Die Parkzeit wird in Sekunden angegeben (s. Bild 2-3).

Im Zeitbereich zwischen 16:00 und 24:00 Uhr wird der Parkplatz gem. Tabelle 2-2 von 100 Fahrzeugen angefahren und die Verteilung auf die Verweildauergruppen ändert sich wie angegeben. Durch die

Zeitbereich	Fahrzeuge	Gruppen
00 – 16	200	0,25 – 01,00/40
		3,00 – 04,00/40
		9,00 – 10,00/10
		11,00 – 14,00/10
16 – 24	100	0,25 – 01,00/10
		3,00 – 04,00/10
		9,00 – 10,00/10
		11,00 – 14,00/70

Tab. 2-2: Beispiel Tagesprofil (gewünschte) Verweildauer Lkw-Fahrer

	A	B	C	D	E	F
	Ankunftszeit	Parkzeit	Typ	Einfahrt	Parkzeit	
2	00:11:06	09:29:59	1	666	34199	
3	00:13:46	00:23:06	1	826	1386	
4	00:14:07	03:13:30	1	847	11610	
1497	23:28:53	12:42:51	1	430133	45771	
1498	23:32:59	13:09:54	1	430379	47394	
1499	23:39:45	13:07:10	1	430785	47230	
1500	23:44:42	13:08:02	1	431082	47282	
1501	23:48:14	12:44:43	1	431294	45883	
1502						

Bild 2-3: Synthetisch erzeugte Fahrzeugdaten

beliebige Stufung der Zeitbereiche und Verweildauern können unterschiedliche Szenarien erstellt werden. Die so erzeugten Tabellen-Spalten sind anschließend in das Arbeitsblatt Fahrzeuge zu kopieren (s. Bild 2-2).

2.3.3 Testdaten von realen Parkplätzen (Referenzparkplatz)

Neben den synthetisch erzeugten Daten wurden noch Testdaten von realen Parkplätzen auf der BAB A 2 aufbereitet und der Simulation als Referenzparkplatz zur Verfügung gestellt.

Für die Parkplätze Börde (53 ausgewiesene Parkstände), Lorkberg (30 Parkstände) und Krähenberge (35 Parkstände) werden die Verweildauern der Kfz archiviert. Diese Daten stellen eine realistische Nachfrage dar. Dabei kann die ermittelte Verweildauer direkt als gewünschte Parkzeit des Verkehrsteilnehmers herangezogen werden.

Zur Aufbereitung der Daten wurden die Rohdaten dieser Parkplätze vom Monat Januar – März 2015 ausgewertet und folgende Filterkriterien angewendet:

- Fahrzeugtypen,
- Verweildauer bzw. gewünschte Parkzeit > 15 Minuten (die Datensätze mit Verweildauern unter 15 Minuten wurden nicht übernommen),
- Verweildauer bzw. gewünschte Parkzeit < 15 Stunden.

Da die Simulation für 105 Parkstände definiert wurde, müssen die Testdaten zu den Verweildauern der Parkplätze geeignet als Nachfrage zusammengefasst werden.

In ersten Versuchen wurden die Parkplätze zusammengefasst (also die Datensätze von Börde, Krähenberge und Lorkberg überlagert). Dabei stellte sich jedoch heraus, dass der Anteil der Langzeitparker bei Börde und Krähenberge im Auswertzeitbereich sehr gering ist. Dies könnte an den unterschiedlichen Verfahren zur Detektion der Belegung liegen. Bei Lorkberg wird jeder Parkstand direkt über Detektoren erfasst und gibt damit am genauesten die Verweildauer der Parker an. Deshalb wurde letztendlich dieser Parkplatz für die Bildung der Testdaten herangezogen.

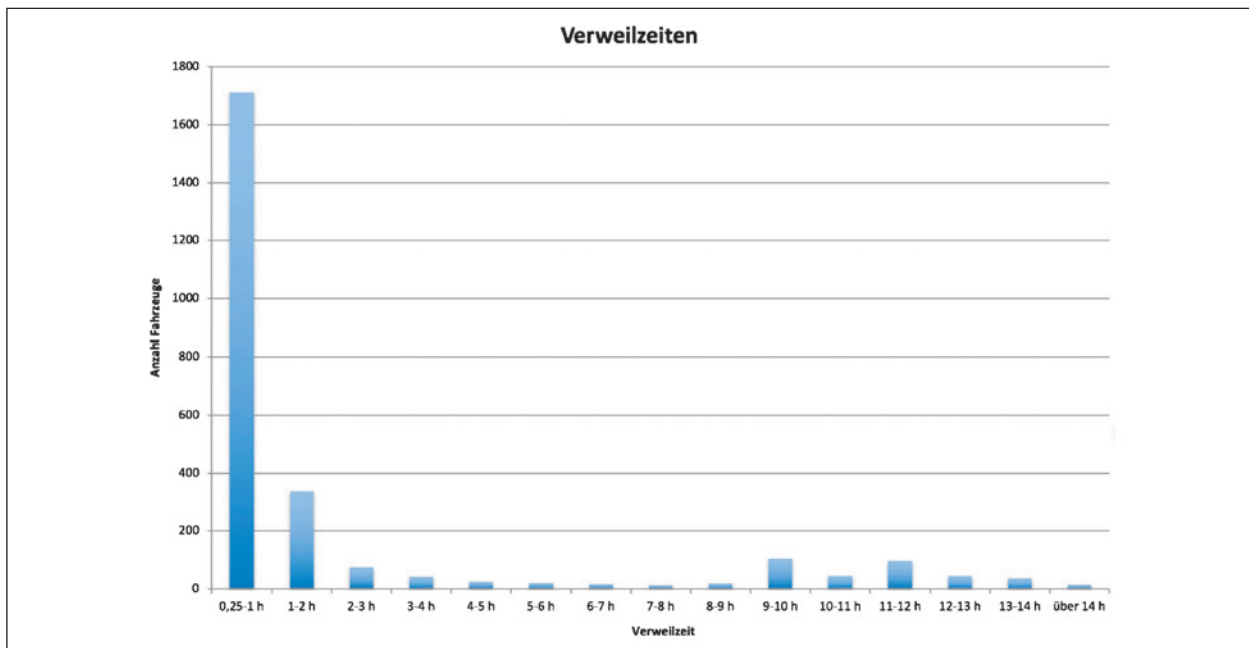


Bild 2-4: Häufigkeitsverteilung der Verweilzeiten Referenzparkplatz

Der Parkplatz Lorkberg verfügt über 30 Parkstände, die jeweils direkt über Detektoren überwacht werden (Einzelplatzüberwachung mit Erdmagnetfeldsensoren). Im Rahmen des Pilotprojekts hat sich gezeigt, dass der Parkplatz in Lorkberg die verlässlichsten Daten geliefert hat (Ankunft und Abfahrtszeiten der Lkw) und er sich damit für die Erstellung realistischer Daten besonders eignet.

Um genügend Last durch diesen Parkplatz zu erzeugen, wurden hier die Daten von 5 Wochen für den Zeitraum von Montag 11:00 bis Freitag 11:00 überlagert². Hiermit wurde ein Szenario entwickelt, das die reale Nachfrage von ca. 150 Parkständen auf den Parkplatz Jura West mit einer angenommenen Kapazität von 105 Parkständen in 35 Parkstandsreihen mit je 3 Parkständen abbildet.

Damit wird zum einen erreicht, dass die Nachfrage groß genug ist, um den Parkplatz Jura West auszulasten. Zum anderen wird damit die Situation geschaffen, dass einige Fahrer kein passendes Angebot erhalten, da der Parkplatz bereits vollständig belegt ist.

Die Auswertung der überlagerten Daten (2.597 Fahrzeuge befuhren in der Zeit den Parkplatz) ergab folgende Nachfrage, die durch den Algorithmus Kompaktparken möglichst gut in entsprechende Angebote von ermittelten Abfahrtszeiten umgesetzt werden sollte.

Damit ergibt sich für den Referenzparkplatz eine in Bild 2-4 dargestellte Häufigkeitsverteilung.

Bild 2-5 zeigt die Verteilungen der Fahrzeuge in den Gruppen unter 30 Minuten, 30 Minuten bis zu einer Stunde, 1-3, 3-9, 9-11, 11-14 und über 14 Stunden an. Dabei ist in der Abbildung eine Ausschnittvergrößerung des Bereichs bis 200 Fahrzeuge eingefügt.

In Bild 2-6 ist die Parkdauerverteilung der Testdaten skizziert. Hier sind die gewünschten Verweildauern über der Ankunftszeit nach Wochentagen unterschieden dargestellt.

Es ist erkennbar, dass zwischen 10:00 und 18:00 Uhr eine Häufung der Kurzzeitparker zwischen 15 und 60 Minuten und von 17:00 bis 23:00 Uhr eine Häufung der Langzeitparker zwischen 9 und 15 Stunden vorliegt.

Die Ergebnisse der Simulation mit den zusammengestellten Parkplatzdaten werden in Kapitel 3.4 Test mit zusammengestellten skalierten Tagesdaten beschrieben.

² Die Daten wurden von Mo 02.03.2015 – Fr 03.04.2015 erhoben.

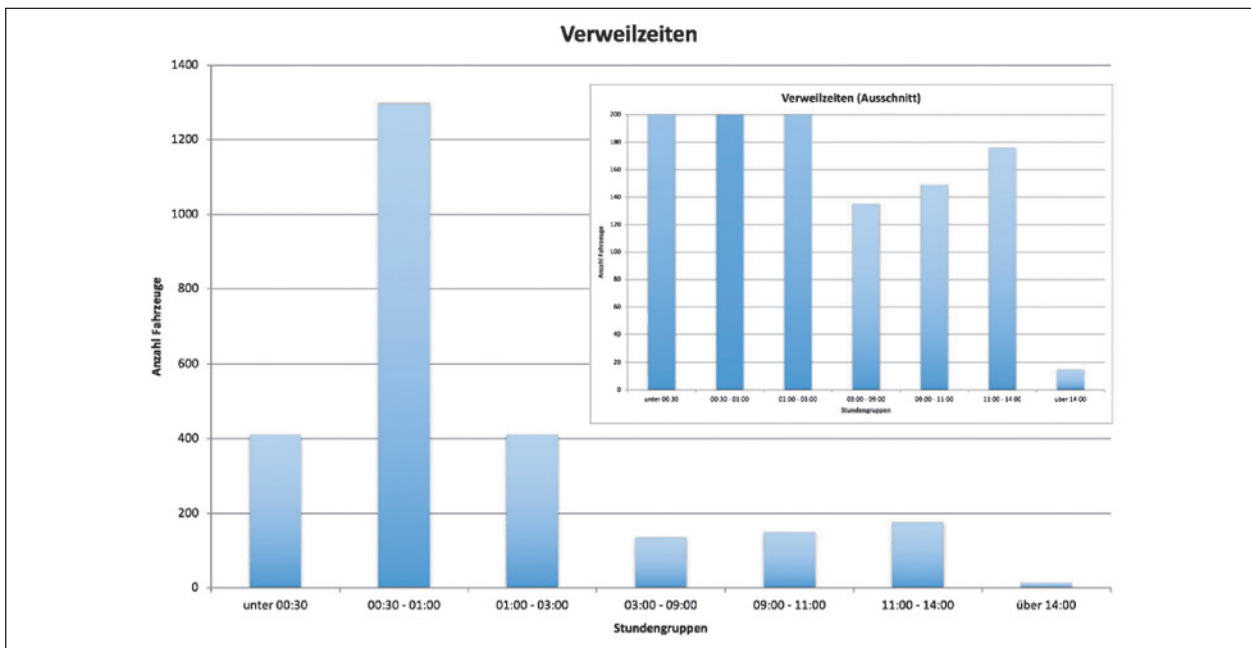


Bild 2-5: Häufigkeitsverteilung der Verweilzeiten Referenzparkplatz (Stundengruppen)

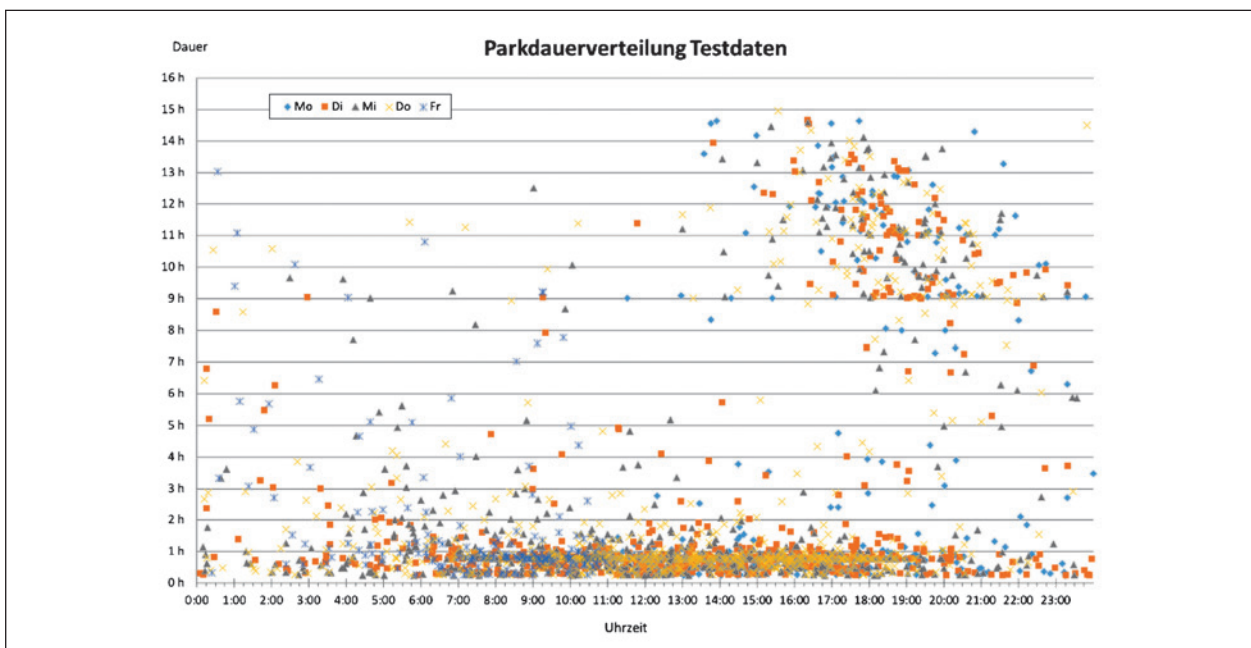


Bild 2-6: Parkdauerverteilung Referenzparkplatz

3 Bewertung Kompaktparken mittels Simulation

Anhand der Simulationsumgebung des Fraunhofer Instituts IML wird das Kompaktparken entsprechend dem spezifizierten Algorithmus (s. [SCHONEBOOM, SCHOLZ (2014)]) fachtechnisch bewertet. Hierfür wird das System zum einem mithilfe von Einzeltests (Abdeckung von diversen Normal- und

Extremfällen), zum anderen mit möglichst realen Massendaten hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit und seiner Flexibilität in der erfolgreichen Handhabung diverser Alltagssituationen geprüft.

Mithilfe dieser Simulation kann nicht auf die Leistungsfähigkeit des Kompaktparkens geschlossen werden, sondern nur Teilaspekte des Algorithmus untersucht werden. Diese sind z. B. zeitliche Sortie-

rung in den Parkstandreihen, Bedienung der Nachfrage (Aufenthaltszeiten) und die Parametersensitivität.

Die grundsätzliche Funktionsweise des Kompaktparkens lässt sich mit Testdaten prüfen (Einschränkungen s. a. Kapitel 2.2 Besonderheiten der Simulation).

In den ersten Lasttests wird der wesentliche Einsatzzweck des Kompaktparkens, möglichst vielen Langzeitparkern ein passendes Angebot zu bieten, eingegangen und um damit eine bessere Auslastung als beim konventionellen Parken zu erreichen. Der Übergang zwischen Langzeit- und Kurzzeitparken steht nicht im Vordergrund der Auswertungen. Implizit wurde der Übergang bei den Tests mit den zusammengestellten Tagesdaten berücksichtigt, da hier über mehrere Tage simuliert wurde.

3.1 Lasttest mit 11 Stunden

Als erster Test werden die Testdaten (Tabelle 3-1) erzeugt.

Es wird hier also vereinfachend davon ausgegangen, dass innerhalb einer Stunde 120³ Fahrer ihre vorgeschrieben tägliche Ruhezeit von 11 Stunden antreten wollen.

Realistisch wäre das Zeitfenster für diesen Lastfall zwischen 19:00 und 21:00 Uhr, da dies die Haupt-

einfahrzeit der Langzeitparker darstellt (s. a. [LÜTTMERTING, A.; GATHER, M.; HEINITZ, F.; HESSE, N. (2008): 23]). Da die Simulation keinen Zeitoffset zulässt (immer bei Sekunde 1 startet), wurde, ohne die Aussagekraft der Prüfung zu reduzieren, der Test mit Einfahrzeiten zwischen 0 und 1 Uhr durchgeführt.

Die Fahrzeuge wurden dem Parkplatz in äquidistanten Abständen von 30 Sekunden zugeführt.

Abfahrtszeiten in 30 Minuten Abständen

Die Simulation liefert bei den voreingestellten Parametern ein in Bild 3-1 und Tabelle 3-2 dargestelltes Ergebnis.

Der Parkbereich ist ab Parkstandsreihe 12 komplett belegt worden. Es ist ersichtlich, dass die Lkw in jeder Reihe zeitlich sortiert parken.

Die Abweichung der gewählten Abfahrtszeit von den gewünschten Verweildauern ist in Tabelle 3-3 dargestellt. Hier wird für die einzelnen Parkstände der Parkstandsreihen die rechnerische Abweichung der gewünschten von der angebotenen Abfahrtszeit aufgeführt. Diese ist simulationsbedingt aufgrund der Rundungsregel immer größer null.

Die durchschnittliche Abweichung von der gewünschten Verweilzeit beträgt in diesem Beispiel 34 Minuten. Die maximale theoretische Abweichung liegt bei 2:22 Stunden, die sich aufgrund der tat-

Zeitbereich	Fahrzeuge	Gruppen
00 – 01	120	11,00 – 11,25/100

Tab. 3-1: Profil (gewünschte) Verweildauer Lkw-Fahrer Lasttest 1

³ Als Beispiel wurden 120 Fahrer gewählt, um eine ausreichend hohe Belastung vorzugeben. Über den Datengenerator können auch andere Vorgaben über entsprechende Parametereinstellungen erzeugt werden.

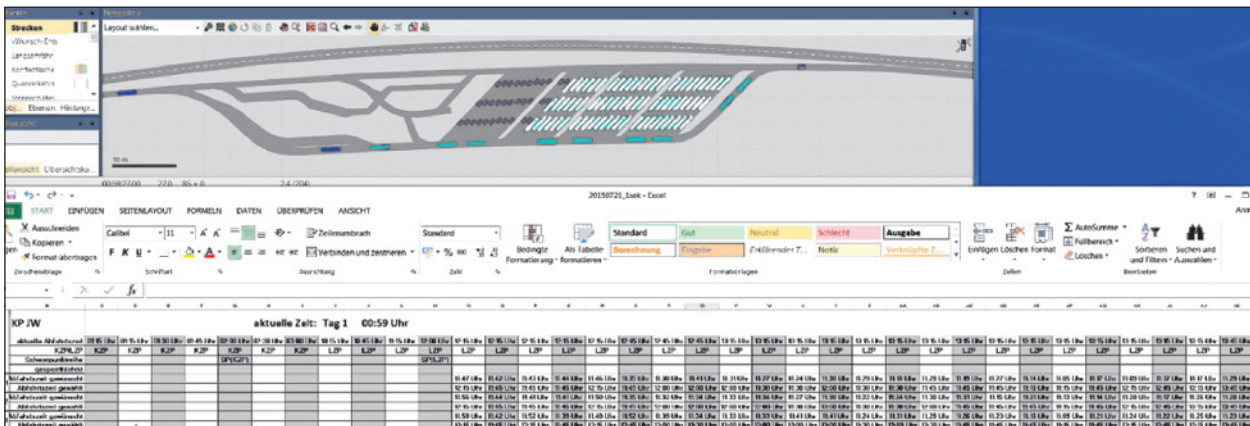


Bild 3-1: Endzustand Simulation Lasttest 11 Stunden (Δt 30 Minuten)

sächlichen hier gleichverteilten Aufenthaltszeit von 11,0-11,25 h nicht einstellt.

Dabei ist zu beachten, dass der Algorithmus nicht für die Zufahrt von 120 Lkw in einer Stunde ausge-

legt ist; aufgrund der Trägheit kann innerhalb so kurzer Zeit das Angebot > 11 h (hier ab ca. Reihe 31) nicht auf 11 h reduziert werden (Algorithmusbedingt dürfen Abfahrtszeiten nur durch höhere überschrieben werden).

KP JW	Aktuelle Zeit: Tag 1 00:59 Uhr											
Parkstandsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	01:15 Uhr	01:15 Uhr	01:30 Uhr	01:45 Uhr	02:00 Uhr	02:30 Uhr	03:00 Uhr	10:15 Uhr	10:45 Uhr	11:15 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr
KZP/LZP	KZP	KZP	KZP	KZP	KZP	KZP	KZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe					SP (KZP)						SP (LZP)	
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht												11:47 Uhr
Abfahrtszeit gewählt												12:15 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht												11:56 Uhr
Abfahrtszeit gewählt												12:15 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht												11:58 Uhr
Abfahrtszeit gewählt												12:15 Uhr
Parkstandsreihe	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	12:15 Uhr	12:15 Uhr	12:15 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	11:42 Uhr	11:43 Uhr	11:44 Uhr	11:46 Uhr	11:35 Uhr	11:38 Uhr	11:41 Uhr	11:31 Uhr	11:27 Uhr	11:24 Uhr	11:38 Uhr	11:29 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	12:00 Uhr	11:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	11:44 Uhr	11:41 Uhr	11:41 Uhr	11:50 Uhr	11:35 Uhr	11:32 Uhr	11:34 Uhr	11:33 Uhr	11:34 Uhr	11:27 Uhr	11:38 Uhr	11:22 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	11:30 Uhr	13:00 Uhr	11:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	11:42 Uhr	11:52 Uhr	11:39 Uhr	11:40 Uhr	11:52 Uhr	11:39 Uhr	11:34 Uhr	11:33 Uhr	11:33 Uhr	11:41 Uhr	11:41 Uhr	11:24 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	11:45 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	12:00 Uhr	12:30 Uhr	13:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	13:00 Uhr	11:30 Uhr
Parkstandsreihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	
Aktuelle Abfahrtszeit	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:15 Uhr	13:45 Uhr	
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	11:18 Uhr	11:29 Uhr	11:19 Uhr	11:27 Uhr	11:14 Uhr	11:05 Uhr	11:17 Uhr	11:09 Uhr	11:17 Uhr	11:17 Uhr	11:29 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	11:30 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	13:15 Uhr	13:45 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	11:24 Uhr	11:30 Uhr	11:31 Uhr	11:15 Uhr	11:21 Uhr	11:13 Uhr	11:14 Uhr	11:20 Uhr	11:17 Uhr	11:26 Uhr	11:28 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	11:30 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	13:15 Uhr	13:45 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	11:31 Uhr	11:29 Uhr	11:26 Uhr	11:23 Uhr	11:16 Uhr	11:09 Uhr	11:21 Uhr	11:24 Uhr	11:22 Uhr	11:25 Uhr	11:23 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:00 Uhr	12:30 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	13:15 Uhr	13:45 Uhr	

Tab. 3-2: Endzustand Simulation Lasttest 11 Stunden (Δt 30 Minuten)

Reihe	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	00:28	00:03	00:02	00:01	00:29	00:10	00:22	00:19	00:29	00:03	00:06	00:22
2	00:19	00:01	00:04	00:04	00:25	00:10	00:28	00:26	00:27	00:26	00:03	01:22
3	00:17	00:03	00:23	00:06	00:35	00:53	00:21	00:56	01:27	00:27	00:19	01:19
Reihe	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	00:01	00:12	00:16	00:26	00:18	00:01	00:10	00:28	01:06	01:28	01:58	02:16
2	00:08	00:06	00:30	00:14	00:30	00:24	00:02	00:31	00:55	01:28	01:49	02:17
3	00:06	00:29	01:01	00:19	00:22	00:29	00:06	00:24	00:51	01:23	01:50	02:22

Tab. 3-3: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 11 Stunden (Δt 30 Minuten)

Der Simulationslauf wurde mit den Defaultparametern der Simulation durchgeführt (siehe auch [SCHOLZ, GEORG (2015)]).

Abfahrtszeiten in 15 Minuten Abständen

Um die Angebote besser an den speziellen Lastfall anzupassen, wurden die Parameter geändert. Die minimale Anzahl von Parkstandsreihen für das Kurzzeitparken wurde auf 2 (7 → 2) und die minimale Anzahl von Parkstandsreihen für das Langzeitparken wurde auf 30 (15 → 30) gesetzt. Damit wurde das Hauptaugenmerk auf den Anwendungsfall Langzeitparken gelegt (Mindestens 30 Reihen für das Langzeitparken, nur noch mindestens 2 Reihen für das Kurzzeitparken reserviert).

Damit die Angebote für das Langzeitparken für diesen Lastfall feiner gestaltet werden können, wurde die Zeitdifferenz von 30 Minuten auf 15 Minuten angepasst.⁴

Die Simulation liefert bei diesen Parametern ein in Tabelle 3-4 dargestelltes Ergebnis.

⁴ Anmerkung: Der Parameter Δt LZP wirkt sich nicht in der Simulation aus, da hier noch ein Umsetzungsfehler vorliegt (abhängig von der Zahl freier Parkstandsreihen < 5 wird hier entweder 30 oder 60 Minuten als Zeitdifferenz bei der Bestimmung der Abfahrtszeiten gesetzt). Die Umsetzung wurde durch eine Änderung in den VBA-Skripten durchgeführt.

KP JW	Aktuelle Zeit: Tag 1 00:59 Uhr											
Parkstandsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	01:30 Uhr	02:00 Uhr	11:00 Uhr	11:30 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr
KZP/LZP	KZP	KZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe	SP (KZP)				SP (LZP)							
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht						11:56 Uhr	11:53 Uhr	12:03 Uhr	11:46 Uhr	11:54 Uhr	11:47 Uhr	11:42 Uhr
Abfahrtszeit gewählt						12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht						11:57 Uhr	11:58 Uhr	12:03 Uhr	11:46 Uhr	11:52 Uhr	11:56 Uhr	11:44 Uhr
Abfahrtszeit gewählt						12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht						11:59 Uhr	11:57 Uhr	11:55 Uhr	11:59 Uhr	11:48 Uhr	11:58 Uhr	11:42 Uhr
Abfahrtszeit gewählt						12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr
Parkstandsreihe	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	11:43 Uhr	11:44 Uhr	11:46 Uhr	11:35 Uhr	11:45 Uhr	11:38 Uhr	11:41 Uhr	11:31 Uhr	11:27 Uhr	11:24 Uhr	11:38 Uhr	11:29 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	11:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	11:41 Uhr	11:41 Uhr	11:50 Uhr	11:35 Uhr	11:55 Uhr	11:32 Uhr	11:34 Uhr	11:33 Uhr	11:34 Uhr	11:27 Uhr	11:38 Uhr	11:22 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:30 Uhr	12:15 Uhr	11:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	11:52 Uhr	11:39 Uhr	11:40 Uhr	11:52 Uhr	11:56 Uhr	11:39 Uhr	11:34 Uhr	11:33 Uhr	11:33 Uhr	11:41 Uhr	11:41 Uhr	11:24 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	12:00 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	11:30 Uhr
Parkstandsreihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	
Aktuelle Abfahrtszeit	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	11:18 Uhr	11:29 Uhr	11:19 Uhr	11:27 Uhr	11:14 Uhr	11:05 Uhr	11:17 Uhr	11:09 Uhr	11:17 Uhr	11:17 Uhr	11:29 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:15 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	11:24 Uhr	11:30 Uhr	11:26 Uhr	11:26 Uhr	11:21 Uhr	11:13 Uhr	11:14 Uhr	11:20 Uhr	11:17 Uhr	11:26 Uhr	11:31 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	11:30 Uhr	11:45 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	11:31 Uhr	11:29 Uhr	11:28 Uhr	11:28 Uhr	11:16 Uhr	11:09 Uhr	11:21 Uhr	11:24 Uhr	11:22 Uhr	11:25 Uhr	11:23 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	11:45 Uhr	12:00 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	

Tab. 3-4: Endzustand Simulation Lasttest 11 Stunden (Δt 15 Minuten)

Reihe	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	00:04	00:07	00:12	00:14	00:06	00:13	00:03	00:02	00:01	00:14
2	00:03	00:02	00:12	00:14	00:23	00:04	00:01	00:04	00:04	00:10
3	00:01	00:03	00:20	00:01	00:27	00:02	00:03	00:08	00:06	00:20
Reihe	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	00:10	00:30	00:07	00:04	00:14	00:03	00:06	00:07	00:01	00:12
2	00:10	00:20	00:13	00:11	00:12	00:11	00:03	00:37	00:08	00:06
3	00:23	00:19	00:06	00:26	00:42	00:12	00:04	00:34	00:06	00:14
Reihe	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	00:01	00:11	00:03	00:01	00:10	00:13	00:36	00:28	00:43	00:46
2	00:15	00:04	00:15	00:09	00:02	00:16	00:25	00:28	00:34	00:29
3	00:31	00:02	00:07	00:14	00:06	00:09	00:21	00:23	00:35	00:52

Tab. 3-5: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 11 Stunden (Δt 15 Minuten)

Der Parkbereich ist nun ab Parkstandsreihe 6 komplett belegt worden.

Die Abweichung der gewählten Abfahrtszeit von den gewünschten Verweildauern ist in Tabelle 3-5 dargestellt.

Mit der geänderten Parametrierung konnte auch hier eine deutliche Verbesserung erzielt werden. Durch die Reduzierung der Zeit Δt auf 15 Minuten rücken die angebotenen Abfahrtszeiten der Parkstandsreihen näher an die Schwerpunktsreihe. Durch der Änderung der minimalen Anzahl von KZP von 7 auf 2 wurde das Angebot für den Lastfall noch einmal erweitert.

Die durchschnittliche theoretische Abweichung von der gewünschten Parkzeit liegt bei 13 Minuten und die maximale Abweichung bei 52 Minuten.

3.2 Lasttest mit 9 und 11 Stunden

Beim nächsten Lasttest wird eine Aufteilung der gewünschten Verweildauern um die verkürzte Ruhezeit von 9 Stunden und die Normale Ruhezeit von 11 Stunden durchgeführt (Tabelle 3-6).

Die 120 Fahrzeuge wurden bei diesem Test über 2 Stunden verteilt erzeugt. Es wird von einer Aufteilung von 50 % Fahrern, die die verkürzte Ruhezeit und 50 % Fahrern, die die normale Ruhezeit einlegen wollen, ausgegangen.

Zeitbereich	Fahrzeuge	Gruppen
00 – 02	120	11,00 – 11,25/50
		09,00 – 09,25/50

Tab. 3-6: Profil (gewünschte) Verweildauer Lkw-Fahrer Lasttest 2

Auch bei diesem Test wurde das Hauptaugenmerk auf den Anwendungsfall Langzeitparken gelegt. Die minimale Anzahl von Parkstandsreihen für das KZP wurde auf 2 gesetzt. Ansonsten wurde die Simulation mit den Standardparametern durchgeführt.

Abfahrtszeiten in 30 Minuten Abständen

Die Simulation liefert bei halbstündigen Abständen der Langzeitabfahrtsangebote ein in Tabelle 3-7 dargestelltes Ergebnis.

Der Parkbereich für das Langzeitparken wurde vollständig belegt.

Die Abweichung der gewählten Abfahrtszeit von den gewünschten Verweildauern ist in Tabelle 3-8 dargestellt.

Die durchschnittliche theoretische Abweichung von der gewünschten Verweilzeit beträgt 24 Minuten. Die maximale theoretische Abweichung liegt bei 1:58 Stunden. Hierbei ist anzumerken, dass die maximale Abweichung einen Ausreißer nach oben darstellt. Die zweithöchste theoretische Abweichung liegt bei 1:03 Stunden bei einem Lkw in vorderster

KP JW	Aktuelle Zeit: Tag 1 01:59 Uhr											
Parkstandsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	02:15 Uhr	02:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr
KZP/LZP	KZP	KZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe	SP (KZP)											
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht			10:35 Uhr	10:27 Uhr	10:39 Uhr	10:39 Uhr	10:42 Uhr	10:27 Uhr	10:22 Uhr	10:08 Uhr	10:09 Uhr	12:26 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			11:00 Uhr	10:30 Uhr	11:00 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	10:45 Uhr	10:45 Uhr	10:15 Uhr	10:15 Uhr	12:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			10:40 Uhr	10:24 Uhr	10:39 Uhr	10:45 Uhr	10:49 Uhr	12:26 Uhr	10:20 Uhr	10:26 Uhr	10:20 Uhr	12:25 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			11:00 Uhr	10:30 Uhr	11:00 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:30 Uhr	10:45 Uhr	11:15 Uhr	11:15 Uhr	13:00 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			10:45 Uhr	10:36 Uhr	10:42 Uhr	10:42 Uhr	10:59 Uhr	12:29 Uhr	10:21 Uhr	10:22 Uhr	12:28 Uhr	10:47 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			11:15 Uhr	11:00 Uhr	11:00 Uhr	10:45 Uhr	11:45 Uhr	12:30 Uhr	10:45 Uhr	10:45 Uhr	12:30 Uhr	12:45 Uhr
Parkstandsreihe	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe						SP (LZP)						
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	10:04 Uhr	10:03 Uhr	09:54 Uhr	12:17 Uhr	12:00 Uhr	09:44 Uhr	09:42 Uhr	09:53 Uhr	09:45 Uhr	11:55 Uhr	09:24 Uhr	09:25 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	10:30 Uhr	10:30 Uhr	10:00 Uhr	13:15 Uhr	12:30 Uhr	09:45 Uhr	09:45 Uhr	10:15 Uhr	10:15 Uhr	12:00 Uhr	09:30 Uhr	09:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	10:15 Uhr	12:19 Uhr	10:01 Uhr	12:29 Uhr	12:00 Uhr	11:58 Uhr	09:57 Uhr	09:48 Uhr	09:49 Uhr	12:04 Uhr	09:41 Uhr	09:36 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	10:30 Uhr	12:45 Uhr	10:30 Uhr	12:45 Uhr	12:30 Uhr	12:00 Uhr	10:15 Uhr	10:15 Uhr	10:15 Uhr	12:30 Uhr	10:00 Uhr	10:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	12:19 Uhr	12:16 Uhr	12:14 Uhr	12:21 Uhr	12:14 Uhr	12:07 Uhr	09:59 Uhr	12:12 Uhr	12:00 Uhr	12:07 Uhr	09:30 Uhr	09:46 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	12:30 Uhr	12:45 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	12:30 Uhr	12:30 Uhr	10:15 Uhr	13:00 Uhr	12:30 Uhr	13:00 Uhr	10:00 Uhr	10:30 Uhr
Parkstandsreihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	
Aktuelle Abfahrtszeit	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	09:24 Uhr	09:11 Uhr	09:16 Uhr	09:19 Uhr	11:35 Uhr	11:14 Uhr	11:15 Uhr	11:22 Uhr	11:38 Uhr	11:55 Uhr	12:38 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	09:30 Uhr	09:15 Uhr	09:45 Uhr	09:45 Uhr	12:00 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	12:30 Uhr	12:45 Uhr	13:00 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	11:49 Uhr	09:10 Uhr	09:19 Uhr	11:28 Uhr	11:33 Uhr	11:13 Uhr	11:25 Uhr	11:23 Uhr	11:40 Uhr	11:47 Uhr	12:36 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	09:15 Uhr	09:45 Uhr	11:30 Uhr	12:00 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	13:00 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	11:49 Uhr	09:31 Uhr	09:26 Uhr	11:41 Uhr	11:38 Uhr	11:20 Uhr	11:25 Uhr	11:33 Uhr	11:47 Uhr	11:59 Uhr	12:46 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	09:45 Uhr	09:45 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:15 Uhr	13:00 Uhr	

Tab. 3-7: Endzustand Simulation Lasttest 9 und 11 Stunden (Δt 30 Minuten)

Reihe	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	00:25	00:03	00:21	00:51	01:03	00:18	00:23	00:07	00:06	00:04	00:26
2	00:20	00:06	00:21	01:00	00:56	00:04	00:25	00:49	00:55	00:35	00:15
3	00:30	00:24	00:18	00:03	00:46	00:01	00:24	00:23	00:02	01:58	00:11
Reihe	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	00:27	00:04	00:58	00:30	00:01	00:03	00:22	00:30	00:05	00:06	00:05
2	00:26	00:29	00:16	00:30	00:02	00:24	00:27	00:26	00:26	00:19	00:54
3	00:29	00:01	00:24	00:16	00:23	00:16	00:48	00:30	00:53	00:30	00:44
Reihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	00:06	00:04	00:29	00:26	00:25	00:01	00:30	00:53	00:52	00:50	00:22
2	00:26	00:05	00:26	00:02	00:27	00:02	00:20	00:22	00:20	00:28	00:24
3	00:26	00:14	00:19	00:04	00:22	00:10	00:20	00:27	00:28	00:16	00:14

Tab. 3-8: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 9 und 11 Stunden (Δt 30 Minuten)

Parkposition. Beim ersten Fahrer, dem kein passendes Angebot gemacht werden kann, waren bereits 92 von 99 Parkständen (LZP) belegt.

Abfahrtszeiten in 15 Minuten Abständen

Auch dieser Lastfall wurde mit 15-minütigen Abständen der angebotenen Abfahrtszeiten durchgeführt (Tabelle 3-9).

Alle für das LZP vorgesehene Parkstandsreihen sind vollständig belegt.

Die Abweichung der in der Simulation zugeordneten Abfahrtszeit von den gewünschten Verweildauern ist in Tabelle 3-10 dargestellt:

Die durchschnittliche theoretische Abweichung von der gewünschten Verweilzeit beträgt 18 Minuten.

Die maximale theoretische Abweichung liegt auch hier bei 1:58 Stunden in Reihe 12. Diese begründet sich in der Simulation, die unabhängig von den angebotenen Abfahrtszeiten jeden Lkw mit 9 h Aufenthaltszeit platziert (Reihen 10 und 12).

Ansonsten ist festzuhalten, dass sich die Simulation bzgl. der Zuweisung der Fahrer gleich verhält. Auch hier erhalten die ersten 92 Fahrer ein passendes Angebot.

Bild 3-2 zeigt für die unterschiedlichen Differenzzeiten der angebotenen Abfahrtszeiten von 15 bzw. 30 Minuten die Häufigkeitsverteilung der theoretischen Abweichungen zwischen gewünschter Verweilzeit und gewählter Verweilzeit.

KP JW	Aktuelle Zeit: Tag 1 01:59 Uhr											
Parkstandsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	02:15 Uhr	02:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr
KZP/LZP	KZP	KZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe	SP (KZP)											
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht			10:27 Uhr	10:39 Uhr	10:26 Uhr	10:22 Uhr	10:08 Uhr	10:09 Uhr	10:04 Uhr	10:45 Uhr	09:56 Uhr	10:49 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			10:45 Uhr	11:15 Uhr	10:30 Uhr	10:30 Uhr	10:15 Uhr	10:15 Uhr	10:15 Uhr	11:45 Uhr	10:00 Uhr	12:45 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			10:24 Uhr	10:42 Uhr	10:22 Uhr	10:20 Uhr	10:27 Uhr	10:35 Uhr	10:15 Uhr	10:42 Uhr	10:01 Uhr	10:59 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			10:45 Uhr	11:15 Uhr	10:30 Uhr	10:30 Uhr	10:45 Uhr	11:45 Uhr	10:30 Uhr	12:15 Uhr	10:15 Uhr	12:45 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			10:39 Uhr	10:36 Uhr	10:20 Uhr	10:21 Uhr	10:39 Uhr	10:40 Uhr	10:45 Uhr	10:42 Uhr	10:03 Uhr	10:47 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			11:00 Uhr	11:15 Uhr	10:30 Uhr	10:30 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	12:15 Uhr	10:15 Uhr	12:45 Uhr
Parkstandsreihe	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe						SP (LZP)						
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	12:28 Uhr	12:26 Uhr	09:42 Uhr	09:53 Uhr	09:45 Uhr	12:16 Uhr	12:14 Uhr	09:24 Uhr	09:24 Uhr	09:11 Uhr	09:16 Uhr	09:19 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	12:30 Uhr	12:30 Uhr	09:45 Uhr	10:00 Uhr	10:00 Uhr	12:30 Uhr	12:15 Uhr	09:30 Uhr	09:30 Uhr	09:15 Uhr	09:30 Uhr	09:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	12:25 Uhr	12:29 Uhr	09:44 Uhr	09:48 Uhr	09:49 Uhr	12:17 Uhr	12:12 Uhr	09:41 Uhr	09:25 Uhr	09:10 Uhr	09:19 Uhr	09:31 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	12:30 Uhr	12:45 Uhr	09:45 Uhr	10:00 Uhr	10:00 Uhr	12:30 Uhr	12:15 Uhr	09:45 Uhr	09:30 Uhr	09:15 Uhr	09:30 Uhr	09:45 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	12:26 Uhr	12:38 Uhr	09:51 Uhr	09:59 Uhr	12:19 Uhr	12:29 Uhr	12:14 Uhr	09:30 Uhr	09:36 Uhr	09:46 Uhr	09:26 Uhr	11:58 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	12:30 Uhr	12:45 Uhr	10:00 Uhr	10:00 Uhr	12:30 Uhr	12:30 Uhr	12:15 Uhr	09:45 Uhr	10:00 Uhr	10:15 Uhr	09:30 Uhr	12:00 Uhr
Parkstandsreihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr	12:45 Uhr
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	12:07 Uhr	12:00 Uhr	11:55 Uhr	11:41 Uhr	11:28 Uhr	11:14 Uhr	11:15 Uhr	11:15 Uhr	11:33 Uhr	11:49 Uhr	12:21 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	12:15 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr	11:30 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	12:07 Uhr	12:00 Uhr	11:55 Uhr	11:47 Uhr	11:33 Uhr	11:13 Uhr	11:25 Uhr	11:25 Uhr	11:35 Uhr	11:47 Uhr	12:36 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	12:30 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:45 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	12:00 Uhr	12:19 Uhr	12:04 Uhr	11:49 Uhr	11:38 Uhr	11:38 Uhr	11:25 Uhr	11:25 Uhr	11:40 Uhr	11:59 Uhr	12:46 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	12:45 Uhr	12:15 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	13:00 Uhr	

Tab. 3-9: Endzustand Simulation Lasttest 9 und 11 Stunden (Δt 15 Minuten)

Reihe	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	00:18	00:36	00:04	00:08	00:07	00:06	00:11	01:00	00:04	01:56	00:02
2	00:21	00:33	00:08	00:10	00:18	01:10	00:15	01:33	00:14	01:46	00:05
3	00:21	00:39	00:10	00:09	00:51	01:05	00:30	01:33	00:12	01:58	00:04
Reihe	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	00:04	00:03	00:07	00:15	00:14	00:01	00:06	00:06	00:04	00:14	00:11
2	00:16	00:01	00:12	00:11	00:13	00:03	00:04	00:05	00:05	00:11	00:14
3	00:07	00:09	00:01	00:11	00:01	00:01	00:15	00:24	00:29	00:04	00:02
Reihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	00:08	00:15	00:05	00:04	00:02	00:01	00:15	00:23	00:27	00:26	00:24
2	00:08	00:30	00:05	00:13	00:12	00:02	00:05	00:07	00:25	00:13	00:09
3	00:15	00:26	00:11	00:11	00:07	00:07	00:05	00:10	00:05	00:01	00:14

Tab. 3-10: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 9 und 11 Stunden (Δt 15 Minuten)

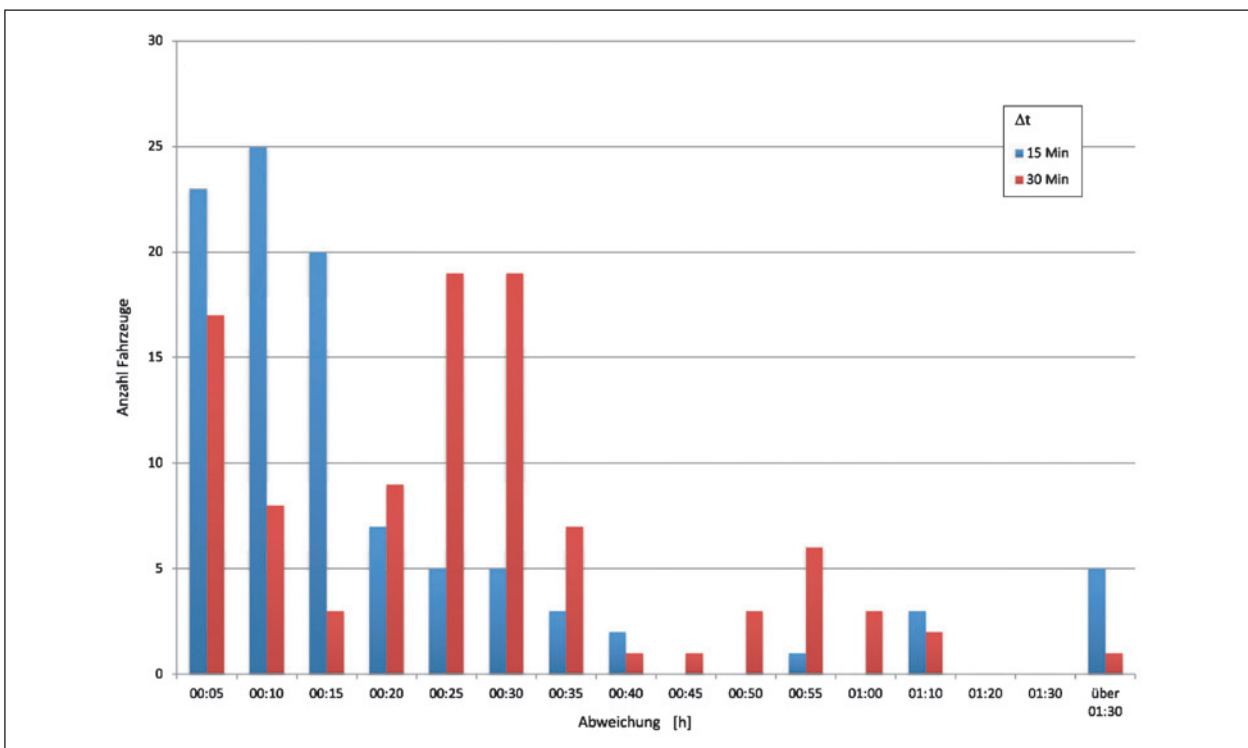


Bild 3-2: Häufigkeitsverteilung Abweichung Verweilzeit

Durch die feinere Einteilung bei 15 Minuten sind die Abweichungen entsprechend geringer. Hier erhalten ca. 68 von den insgesamt 99 Fahrern ein Angebot, das weniger als 15 Minuten von ihrer gewünschten Verweilzeit abweicht. Bei der Einteilung von 30 Minuten sind es nur ca. 28.

3.3 Lasttest mit Verteilung zwischen 3 und 14 Stunden

Beim nächsten Lasttest wird eine Aufteilung der gewünschten Verweildauern zwischen 3 und 14 Stunden eingespeist. Dabei wurde um die verkürzte Ruhezeit von 9 Stunden und die normale Ruhezeit von 11 Stunden eine erhöhte Nachfrage generiert (Tabelle 3-11).

Auch bei diesem Test wurde das Hauptaugenmerk auf den Anwendungsfall Langzeitparken gelegt. Die minimale Anzahl von Parkstandsreihen für das KZP wurde auf 2 gesetzt. Ansonsten wurde die Simulation mit den Standardparametern durchgeführt.

Abfahrtszeiten in 30 Minuten Abständen

Diese Lastverteilung führte auch zu einer vollständigen Belegung des Langzeitparkbereichs (Tabelle 3-12).

Zeitbereich	Fahrzeuge	Gruppen
00 – 02	120	03,00 – 08,75/15
		09,00 – 09,25/30
		09,30 – 10,90/10
		11,00 – 11,25/40
		11,30 – 14,00/05

Die Abweichung der gewählten Abfahrtszeit von den gewünschten Verweildauern ist in Tabelle 3-13 dargestellt.

Die durchschnittliche theoretische Abweichung von der gewünschten Verweilzeit beträgt 28 Minuten. Die maximale Abweichung liegt aufgrund der Randbedingungen der Simulation bei 4:11 Stunden.

Tab. 3-11: Profil (gewünschte) Verweildauer Lkw-Fahrer Lasttest 3

KP JW	Aktuelle Zeit: Tag 1 01:59 Uhr											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Parkstandsreihe												
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	02:30 Uhr	03:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr
KZP/LZP	KZP	KZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe	SP (KZP)											
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht			07:44 Uhr	10:31 Uhr	10:31 Uhr	11:41 Uhr	10:53 Uhr	10:37 Uhr	10:16 Uhr	10:25 Uhr	07:49 Uhr	10:26 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			10:30 Uhr	11:00 Uhr	11:00 Uhr	12:00 Uhr	12:45 Uhr	11:00 Uhr	10:45 Uhr	10:45 Uhr	08:00 Uhr	10:45 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			06:19 Uhr	06:26 Uhr	11:26 Uhr	10:53 Uhr	12:44 Uhr	12:35 Uhr	10:36 Uhr	10:23 Uhr	11:11 Uhr	12:29 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			10:30 Uhr	09:45 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	12:45 Uhr	13:00 Uhr	10:45 Uhr	10:45 Uhr	11:15 Uhr	12:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			10:44 Uhr	10:53 Uhr	09:58 Uhr	10:45 Uhr	10:47 Uhr	12:36 Uhr	10:24 Uhr	12:05 Uhr	12:41 Uhr	12:25 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			10:45 Uhr	11:45 Uhr	10:45 Uhr	11:45 Uhr	12:45 Uhr	13:00 Uhr	10:45 Uhr	12:30 Uhr	13:00 Uhr	12:30 Uhr
Parkstandsreihe	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe						SP (LZP)						
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	04:05 Uhr	11:50 Uhr	10:05 Uhr	07:59 Uhr	10:00 Uhr	09:10 Uhr	09:53 Uhr	06:23 Uhr	06:37 Uhr	09:54 Uhr	09:28 Uhr	09:27 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	05:15 Uhr	12:15 Uhr	10:30 Uhr	08:15 Uhr	10:30 Uhr	09:15 Uhr	10:15 Uhr	06:45 Uhr	06:45 Uhr	10:45 Uhr	09:30 Uhr	09:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	05:34 Uhr	12:14 Uhr	12:23 Uhr	10:00 Uhr	12:21 Uhr	09:52 Uhr	11:19 Uhr	12:09 Uhr	09:49 Uhr	10:32 Uhr	09:34 Uhr	09:46 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	05:45 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	10:30 Uhr	13:00 Uhr	10:00 Uhr	11:30 Uhr	12:30 Uhr	10:15 Uhr	10:45 Uhr	10:00 Uhr	10:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	10:13 Uhr	12:04 Uhr	12:23 Uhr	12:11 Uhr	12:38 Uhr	11:21 Uhr	12:16 Uhr	12:11 Uhr	09:51 Uhr	12:04 Uhr	09:38 Uhr	11:52 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	10:15 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr	12:15 Uhr	13:00 Uhr	11:30 Uhr	12:45 Uhr	12:30 Uhr	10:15 Uhr	13:00 Uhr	10:00 Uhr	12:00 Uhr
Parkstandsreihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	
Aktuelle Abfahrtszeit	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	09:21 Uhr	09:09 Uhr	11:50 Uhr	11:13 Uhr	10:53 Uhr	11:09 Uhr	11:16 Uhr	11:20 Uhr	11:38 Uhr	12:00 Uhr	13:09 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	09:30 Uhr	09:15 Uhr	12:15 Uhr	11:30 Uhr	11:15 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	11:45 Uhr	12:30 Uhr	12:30 Uhr	13:15 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	09:22 Uhr	09:31 Uhr	11:52 Uhr	11:49 Uhr	11:29 Uhr	11:14 Uhr	11:16 Uhr	11:39 Uhr	11:44 Uhr	11:57 Uhr	12:37 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	09:30 Uhr	09:45 Uhr	12:15 Uhr	12:15 Uhr	11:30 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:30 Uhr	13:30 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	09:34 Uhr	09:31 Uhr	11:54 Uhr	11:50 Uhr	11:42 Uhr	11:13 Uhr	11:23 Uhr	11:40 Uhr	11:41 Uhr	12:08 Uhr	13:11 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	10:00 Uhr	09:45 Uhr	12:15 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:30 Uhr	13:30 Uhr	

Tab. 3-12: Endzustand Simulation Lasttest 3 bis 14 Stunden (30 Minuten)

Reihe	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	02:46	00:29	00:29	00:19	01:52	00:23	00:29	00:20	00:11	00:19	01:10
2	04:11	03:19	00:04	00:52	00:01	00:25	00:09	00:22	00:04	00:01	00:11
3	00:01	00:52	00:47	01:00	01:48	00:24	00:21	00:25	00:19	00:05	00:02
Reihe	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	00:25	00:25	00:16	00:30	00:05	00:22	00:22	00:08	00:51	00:02	00:03
2	00:01	00:22	00:30	00:39	00:08	00:11	00:21	00:26	00:13	00:26	00:44
3	00:11	00:22	00:04	00:22	00:09	00:29	00:19	00:24	00:56	00:22	00:08
Reihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	00:09	00:06	00:25	00:17	00:22	00:06	00:29	00:25	00:52	00:30	00:06
2	00:08	00:14	00:23	00:26	00:01	00:01	00:29	00:21	00:16	00:33	00:53
3	00:26	00:14	00:21	00:25	00:03	00:02	00:22	00:20	00:19	00:22	00:19

Tab. 3-13: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 3 bis 14 Stunden (30 Minuten)

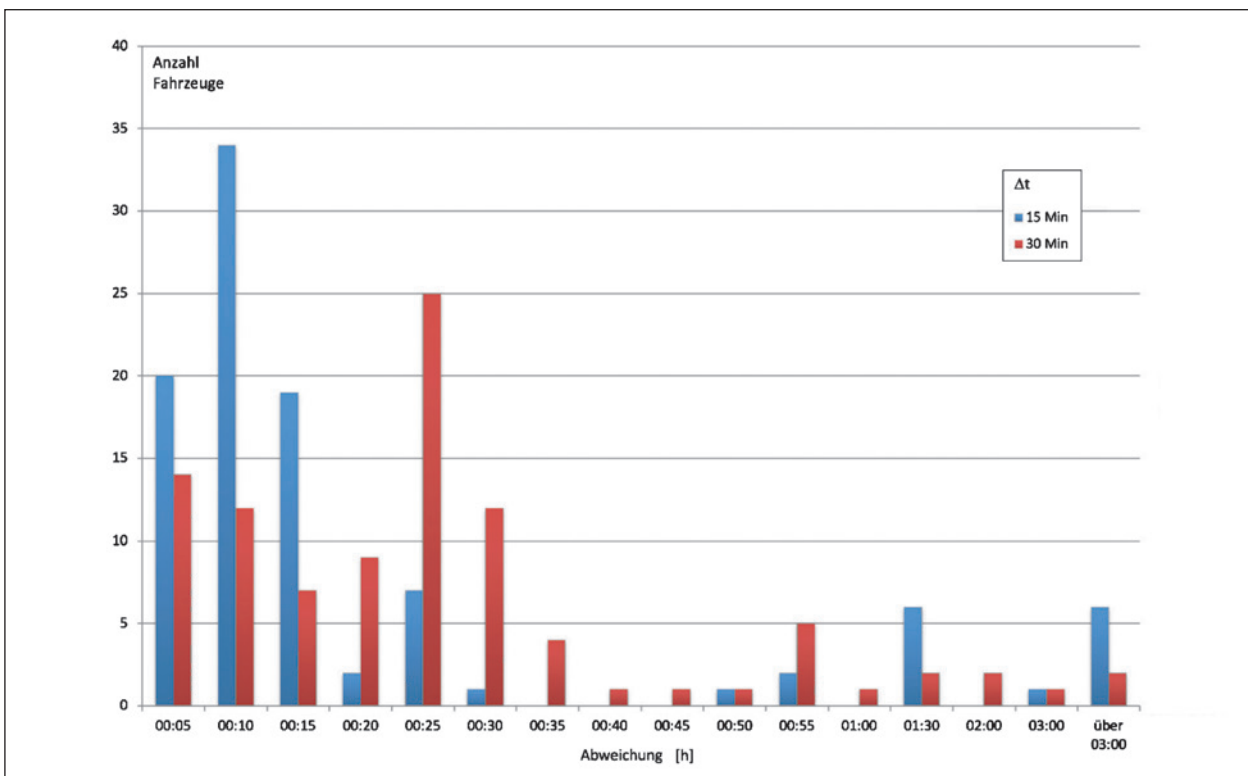


Bild 3-3: Häufigkeitsverteilung Abweichung Verweilzeit

Abfahrtszeiten in 15 Minuten Abständen

Auch dieser Lastfall wurde mit 15-minütigen Abständen der angebotenen Abfahrtszeiten durchgeführt (Tabelle 3-14).

Die Abweichung der gewählten Abfahrtszeit von den gewünschten Verweildauern ist in Tabelle 3-15 dargestellt.

Die durchschnittliche Abweichung von der gewünschten Verweilzeit beträgt 31 Minuten. Die maximale theoretische Abweichung liegt simulationsbedingt bei 5:21 Stunden.

KP JW	Aktuelle Zeit: Tag 1 01:59 Uhr											
Parkstandsreihe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	02:30 Uhr	03:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr
KZP/LZP	KZP	KZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe	SP (KZP)											
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht			10:31 Uhr	06:19 Uhr	10:37 Uhr	11:26 Uhr	07:49 Uhr	10:16 Uhr	10:13 Uhr	10:00 Uhr	12:05 Uhr	10:00 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			10:45 Uhr	11:30 Uhr	10:45 Uhr	11:30 Uhr	09:75 Uhr	10:30 Uhr	10:15 Uhr	10:15 Uhr	12:15 Uhr	10:15 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			10:31 Uhr	10:44 Uhr	09:58 Uhr	10:45 Uhr	10:25 Uhr	10:24 Uhr	10:26 Uhr	10:05 Uhr	10:57 Uhr	11:11 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			10:45 Uhr	11:30 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	10:30 Uhr	10:30 Uhr	10:30 Uhr	10:15 Uhr	12:15 Uhr	11:15 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht			07:44 Uhr	06:26 Uhr	10:53 Uhr	10:53 Uhr	10:23 Uhr	11:41 Uhr	10:36 Uhr	10:53 Uhr	11:01 Uhr	12:35 Uhr
Abfahrtszeit gewählt			11:00 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	11:15 Uhr	10:30 Uhr	11:45 Uhr	10:45 Uhr	11:45 Uhr	12:15 Uhr	12:45 Uhr
Parkstandsreihe	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1
Aktuelle Abfahrtszeit	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP
Schwerpunktreihe						SP (LZP)						
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	06:37 Uhr	05:34 Uhr	12:37 Uhr	09:53 Uhr	11:21 Uhr	09:49 Uhr	12:11 Uhr	09:28 Uhr	09:37 Uhr	09:09 Uhr	09:31 Uhr	10:32 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	07:00 Uhr	09:00 Uhr	12:45 Uhr	10:00 Uhr	11:30 Uhr	10:00 Uhr	12:15 Uhr	09:30 Uhr	09:30 Uhr	09:15 Uhr	09:45 Uhr	10:45 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	06:23 Uhr	07:59 Uhr	12:41 Uhr	09:52 Uhr	11:50 Uhr	09:51 Uhr	12:14 Uhr	09:34 Uhr	09:34 Uhr	09:21 Uhr	09:31 Uhr	12:23 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	07:15 Uhr	09:15 Uhr	12:45 Uhr	10:00 Uhr	12:00 Uhr	10:00 Uhr	12:15 Uhr	09:45 Uhr	09:45 Uhr	09:30 Uhr	09:45 Uhr	12:30 Uhr
Abfahrtszeit gewünscht	04:05 Uhr	09:10 Uhr	12:36 Uhr	12:04 Uhr	12:21 Uhr	09:54 Uhr	12:29 Uhr	09:38 Uhr	09:46 Uhr	09:22 Uhr	11:19 Uhr	12:23 Uhr
Abfahrtszeit gewählt	08:30 Uhr	09:30 Uhr	12:45 Uhr	12:15 Uhr	12:30 Uhr	10:00 Uhr	12:45 Uhr	09:45 Uhr	10:00 Uhr	09:30 Uhr	11:30 Uhr	12:30 Uhr
Parkstandsreihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Tag	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	Tag 1	
Aktuelle Abfahrtszeit	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	13:00 Uhr	
KZP/LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	LZP	
Schwerpunktreihe												
gesperrt/defekt												
Abfahrtszeit gewünscht	12:09 Uhr	11:57 Uhr	11:13 Uhr	10:53 Uhr	11:29 Uhr	11:09 Uhr	11:16 Uhr	11:20 Uhr	11:38 Uhr	11:50 Uhr	12:38 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	12:00 Uhr	11:15 Uhr	11:00 Uhr	11:30 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:30 Uhr	12:00 Uhr	12:15 Uhr	13:00 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	12:11 Uhr	12:16 Uhr	11:52 Uhr	11:54 Uhr	11:44 Uhr	11:14 Uhr	11:16 Uhr	11:39 Uhr	11:42 Uhr	11:50 Uhr	12:44 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	12:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	12:45 Uhr	
Abfahrtszeit gewünscht	12:04 Uhr	12:25 Uhr	12:08 Uhr	12:00 Uhr	11:41 Uhr	11:13 Uhr	11:23 Uhr	11:40 Uhr	11:49 Uhr	11:52 Uhr	07:39 Uhr	
Abfahrtszeit gewählt	12:15 Uhr	12:45 Uhr	12:15 Uhr	12:15 Uhr	11:45 Uhr	11:15 Uhr	11:30 Uhr	11:45 Uhr	12:00 Uhr	12:00 Uhr	13:00 Uhr	

Tab. 3-14: Endzustand Simulation Lasttest 3 bis 14 Stunden (15 Minuten)

Reihe	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	00:14	05:11	00:08	00:04	01:26	00:14	00:02	00:15	00:10	00:15	00:23
2	00:14	00:46	02:02	01:30	00:05	00:06	00:04	00:10	01:18	00:04	00:52
3	03:16	05:19	01:07	00:22	00:07	00:04	00:09	00:52	01:14	00:10	04:25
Reihe	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	03:26	00:08	00:07	00:09	00:11	00:04	00:02	00:03	00:06	00:14	00:13
2	01:16	00:04	00:08	00:10	00:09	00:01	00:11	00:11	00:09	00:14	00:07
3	00:20	00:09	00:11	00:09	00:06	00:16	00:07	00:14	00:08	00:11	00:07
Reihe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	00:06	00:03	00:02	00:07	00:01	00:06	00:14	00:10	00:22	00:25	00:22
2	00:04	00:29	00:08	00:06	00:01	00:01	00:14	00:06	00:18	00:10	00:01
3	00:11	00:20	00:07	00:15	00:04	00:02	00:07	00:05	00:11	00:08	05:21

Tab. 3-15: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 3 bis 14 Stunden (15 Minuten)

3.4 Test mit zusammengestellten skalierten Tagesdaten

Für die folgende Simulation wurde Testdaten von einem realen Parkplatz zusammengestellt (s. Kapitel 2.3.3). Die Simulation wurde so eingerichtet, dass die ersten Fahrzeuge nach Mo 11:00 Uhr auf den Parkplatz einfahren. Die Simulation wurde dann durchgehend bis freitags 11:00 Uhr durchgeführt.

3.4.1 Standardparameter

Die Auswertung der einfahrenden Fahrzeuge⁵ ergibt, dass von insgesamt 2.596⁶ Fahrzeugen 2.224 Fahrer ein geeignetes⁷ Angebot erhalten haben. Das entspricht 85,67 %.

Insgesamt haben 372 Fahrer kein geeignetes Angebot für ihre gewünschte Verweildauer erhalten. Bild 3-5 zeigt die Häufigkeit der Lkw ohne passendes Angebot in Abhängigkeit von der gewünschten Verweildauer.

Beim Vergleich mit den einfahrenden Lkw (s. Bild 2-5: Häufigkeitsverteilung der Verweildauern Referenzparkplatz (Stundengruppen)) ist festzustellen, dass bei der Gruppe 9:00-11:00 Stunden ein gutes

Angebot vorliegt. Von den 149 einfahrenden Lkw haben den Parkplatz nur 4 Lkw ohne passendes Angebot verlassen (Erfolgsquote von 97,3 %). Ähnlich gut sieht es bei der Gruppe 3:00-9:00 Stunden aus. Von 135 Lkw haben 5 Lkw keinen Parkstand eingenommen (Quote von 96,2 %).

Dabei treten auch hier immer wieder starke Abweichungen der gewünschten von der angezeigten Abfahrtszeit auf (z. B. Bild 3-6: Zustand Simulation Referenzparkplatz Dienstag 01:00 Uhr Parkstandsreihe 8 gewünschte Abfahrtszeit 02:44, gewählte Abfahrtszeit 07:15). Dieses nicht realistische Verhalten ist den Besonderheiten bei der Simulation geschuldet (s. a. Kapitel 2.2).

Bei der Gruppe 11:00 bis 14:00 Stunden ist die Quote allerdings nicht so gut. Hier bekommen von 176 einfahrenden Lkw 70 Fahrer kein passendes Angebot (Quote von 60,0 %). Durch die Parametrierung bedingt wird auch im leeren Zustand der An-

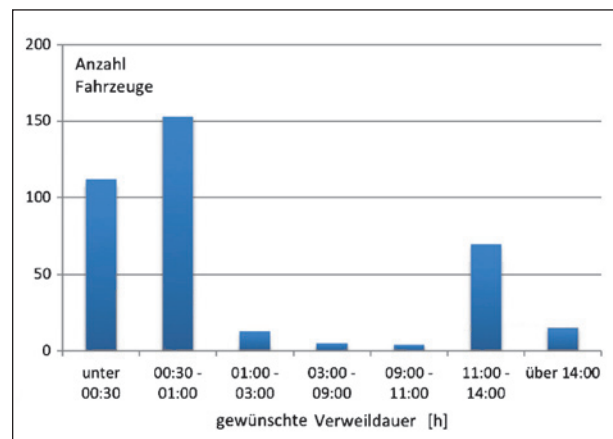


Bild 3-5: Fahrer ohne passendes Angebot abhängig von der gewünschten Verweildauer in Stunden

- 5 Auswertung Arbeitsblatt „Fahrzeuge“ in der Excel-Datei
- 6 Das letzte Fahrzeug wurde nicht durch die Simulation betrachtet (Unterschied zu Eingangsdaten von 2.597 Fahrzeugen).
- 7 Geeignetes Angebot bedeutet, dass der Fahrer einen Parkstand bekommen konnte, an dem er mindestens die gewünschte Parkzeit stehen konnte.

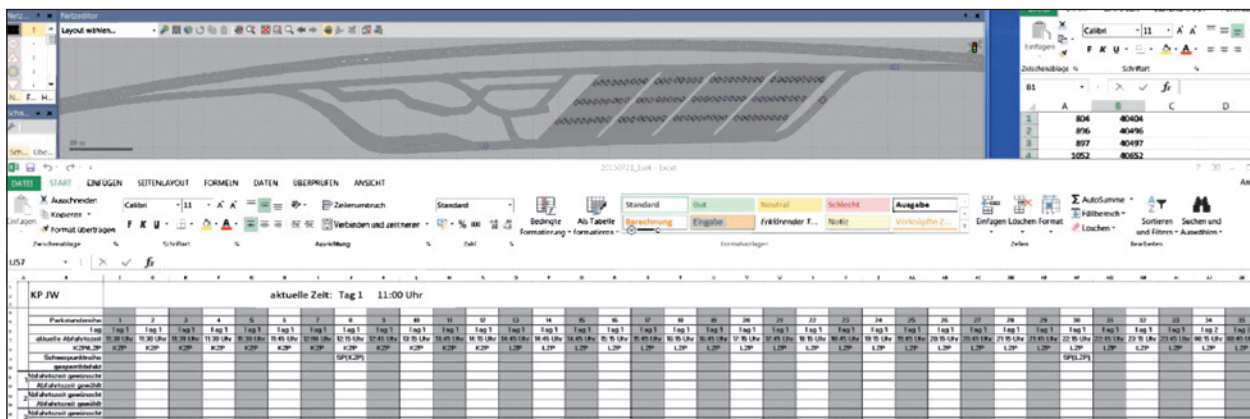


Bild 3-4: Initialer Zustand Simulation Referenzparkplatz Montag 11:00 Uhr

lage nur ein Angebot bis max. 13:30 Stunden vorgehalten.

Nacht gelegt werden. Die Bilder 3-6 bis 3-9 zeigen die Auslastung jeweils um 01:00 Uhr nachts.

Hauptaugenmerk soll in diesem Fall auch auf die Auslastung der Parkstandsreihen für das LZP über

Tabelle 3-16 zeigt die theoretische Auslastung zu den gezeigten Zeitpunkten.

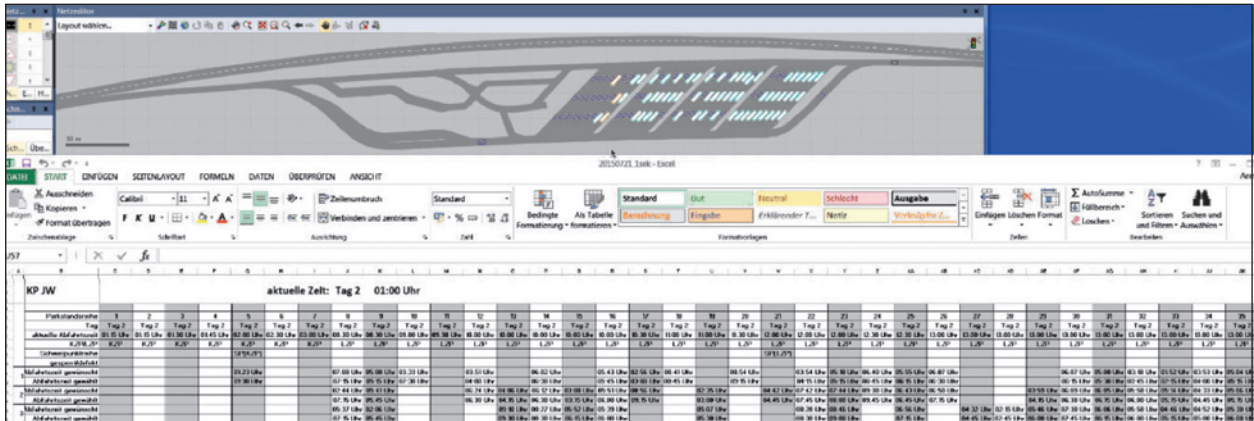


Bild 3-6: Zustand Simulation Referenzparkplatz Dienstag 01:00 Uhr

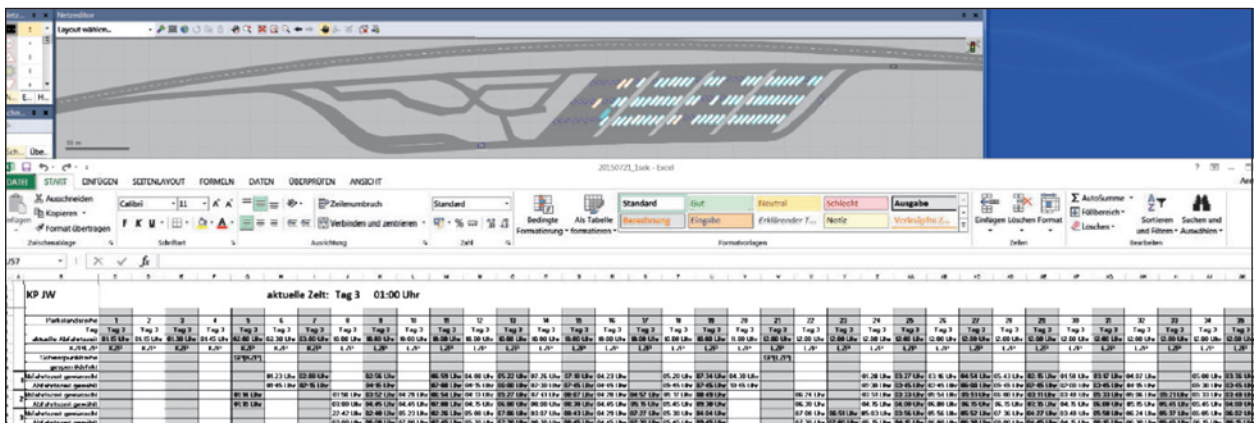


Bild 3-7: Zustand Simulation Referenzparkplatz Mittwoch 01:00 Uhr

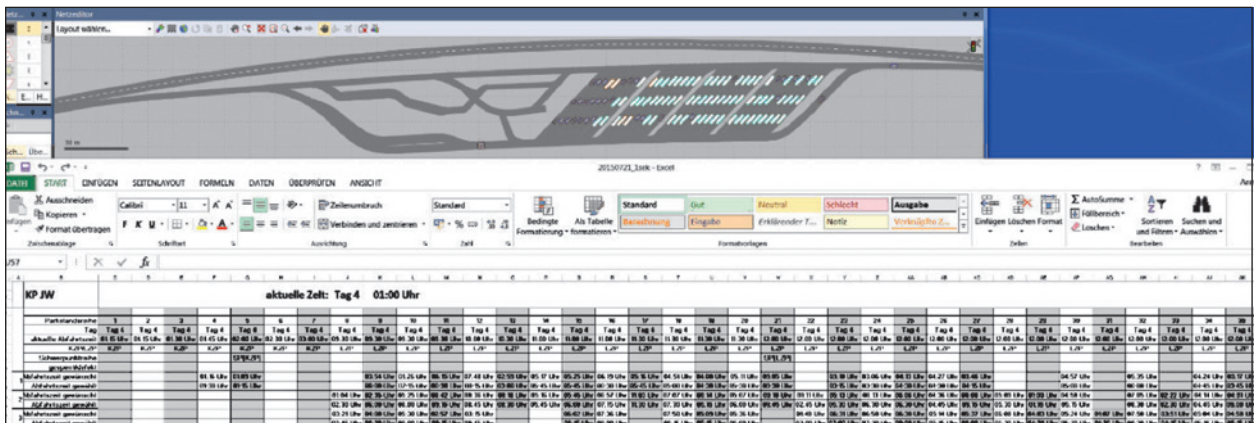


Bild 3-8: Zustand Simulation Referenzparkplatz Donnerstag 01:00 Uhr

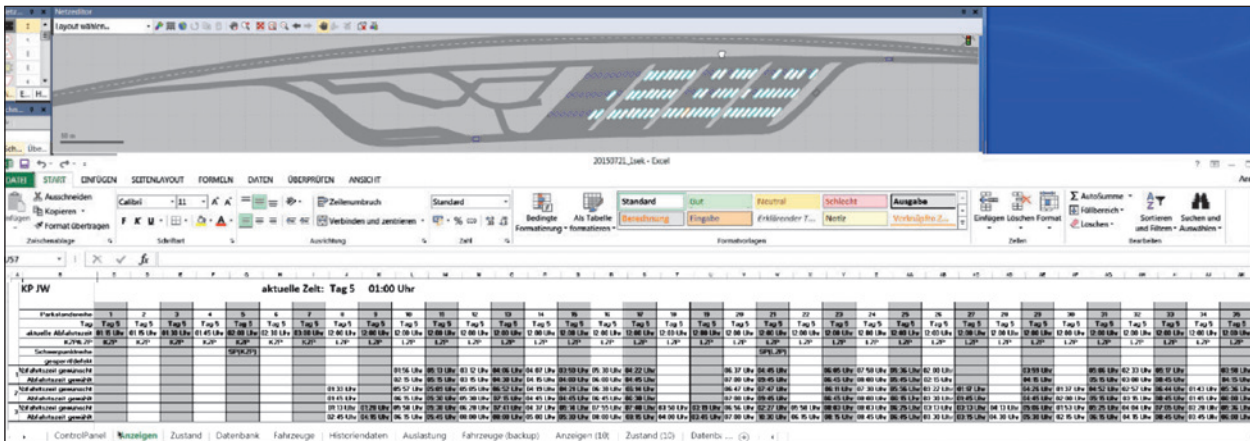


Bild 3-9: Zustand Simulation Referenzparkplatz Freitag 01:00 Uhr

Tag	Parkstände LZP Gesamt	Freie/Belegte Parkstände	Auslastung
Dienstag 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	23/61	72,6 %
Mittwoch 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	12/72	85,7 %
Donnerstag 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	11/73	86,9 %
Freitag 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	14/70	83,3 %

Tab. 3-16: Auslastung Referenzparkplatz

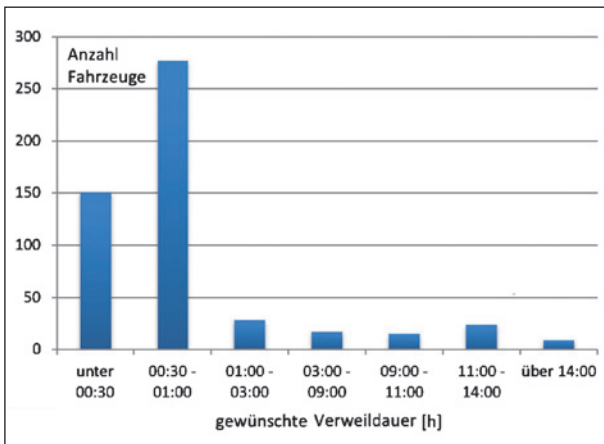


Bild 3-10: Fahrer ohne passendes Angebot abhängig von der gewünschten Verweildauer in Stunden (Variante)

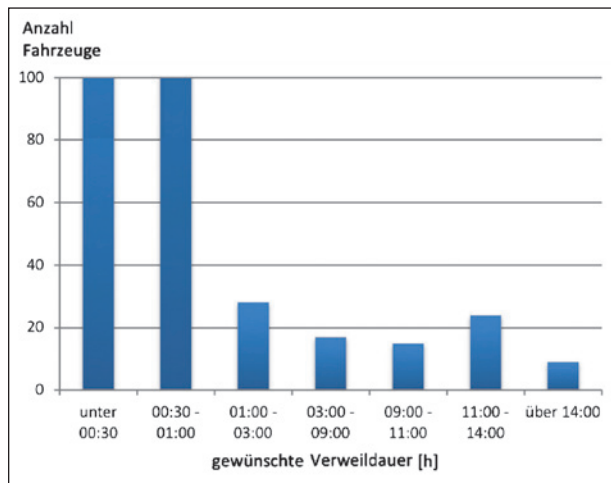


Bild 3-11: Detail Fahrer ohne passendes Angebot abhängig von der gewünschten Verweildauer in Stunden (Variante)

3.4.2 Parametervariante

Die Simulation wurde erneut mit variierten Parametern durchgeführt. Dabei wurde der Faktor KLZP1 von 0,8 auf 0,65 gesenkt. Damit wird der Schwerpunkt beim Langzeitparken nach links (Richtung KZP) verschoben. Zusätzlich wurde der zeitliche Abstand zwischen den angebotenen Abfahrtszeiten von 30 auf 15 Minuten gesetzt. Damit sollte die Anzahl der Langzeitparker über 11 Stunden, die ein passendes Angebot erhalten, erhöht werden. Insgesamt erhielten von den 2.596 einfahrenden Lkw

2.075 ein passendes Angebot. Damit ist die Quote mit diesen Parametern bei 79,93 %.

Im Kurzzeitbereich von unter einer Stunde erhielten bei der Variante in Bild 3-10 ca. 430 Fahrer kein passendes Angebot.

Bei den Langzeitparkern wurde mit der Variante in Bild 3-11 das beste Ergebnis erzielt.

Tabelle 3-17 zeigt die Anzahl der Fahrer ohne passendes Angebot für die Simulationsfälle.

Für die gewünschten Verweildauern ab 11:00 Stunden erhalten bei dieser Variante die meisten Fahrer ein passendes Angebot.

Insbesondere der Vergleich der Momentaufnahmen von Dienstag 01:00 zeigt sehr deutlich, dass die Parametrierung der Simulation in der Variante für die konkrete Nachfrage (s. a. Bild 2-5: Häufigkeitsver-

teilung der Verweilzeiten Referenzparkplatz (Stundengruppen)) zu einer besseren Übereinstimmung geführt hat (Bild 3-12 bis bis 3-15).

Tabelle 3-18 fasst die Auslastung der Parkstände für die Variante für die betrachteten Zeitpunkte noch einmal zusammen.

Im Vergleich zum ersten Simulationslauf ist hier noch mal eine deutliche Verbesserung zu erkennen. Die Auslastung liegt nah an 100 % (bezogen auf die Langzeitparkstände). Der Unterschied zum ersten Simulationslauf war zum einen, dass der zeitliche Abstand beim Langzeitparken hier auf 15 Minuten (zu 30 Minuten) und der Faktor KLZP1 hier auf 0,65 (zu 0,8) gesetzt war.

An dem konkreten Anwendungsfall lässt sich ableiten, dass das Kompaktparken an die konkrete Nachfrage, die bei jedem Parkplatz unterschiedlich sein kann (wird), angepasst werden kann. Dies ist natürlich nur möglich, wenn bei der Charakteristik des jeweiligen Parkplatzes die Nachfrage relativ gleich ist.

Gewünschte Verweildauer in Stunden	Simulation Standardparameter	Simulation Variante
Unter 00:30	112	151
Zwischen 00:30 – 01:00	153	277
Zwischen 01:00 – 03:00	13	28
Zwischen 03:00 – 09:00	5	17
Zwischen 09:00 – 11:00	4	15
Zwischen 11:00 – 14:00	70	24
Über 14:00	15	9
Gesamt	372	521

Tab. 3-17: Vergleich Fahrer ohne passendes Angebot

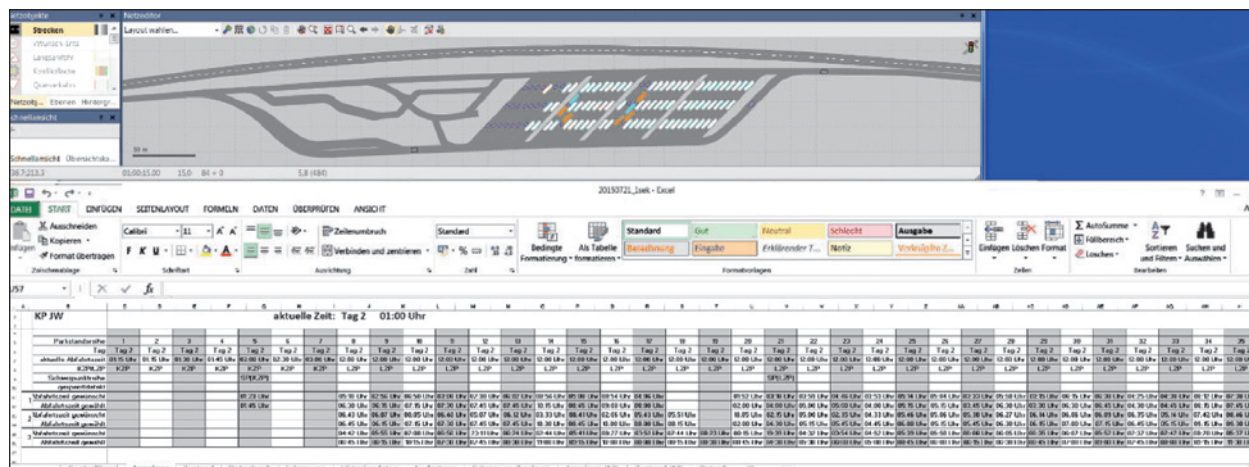


Bild 3-12: Zustand Simulation Referenzparkplatz Dienstag 01:00 Uhr (Variante)

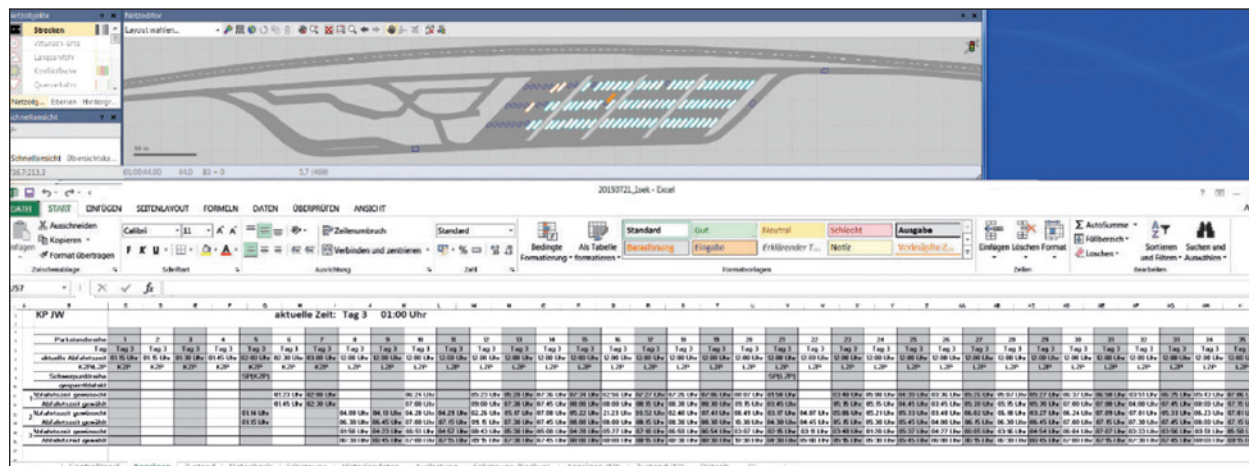


Bild 3-13: Zustand Simulation Referenzparkplatz Mittwoch 01:00 Uhr (Variante)

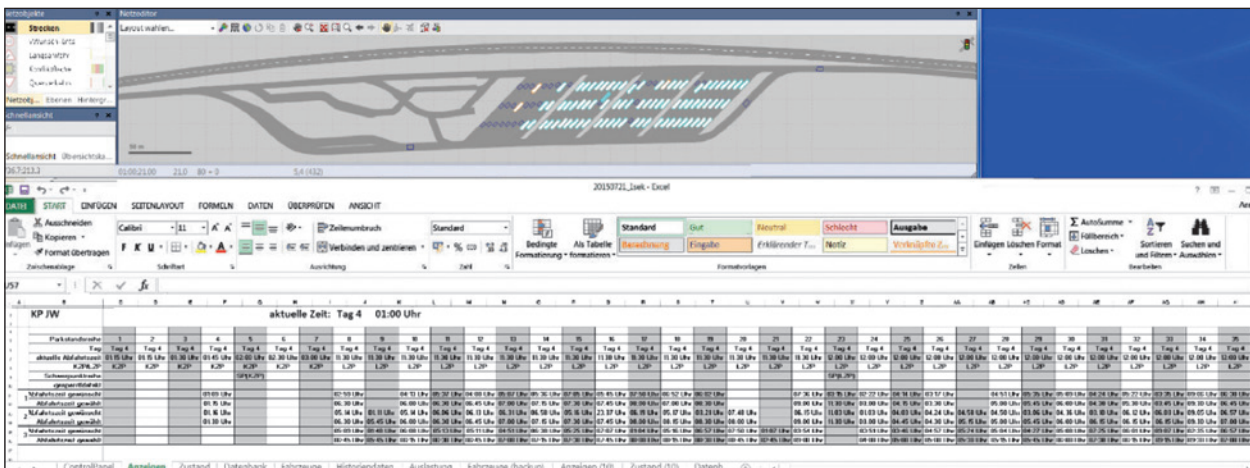


Bild 3-14: Zustand Simulation Referenzparkplatz Donnerstag 01:00 Uhr (Variante)

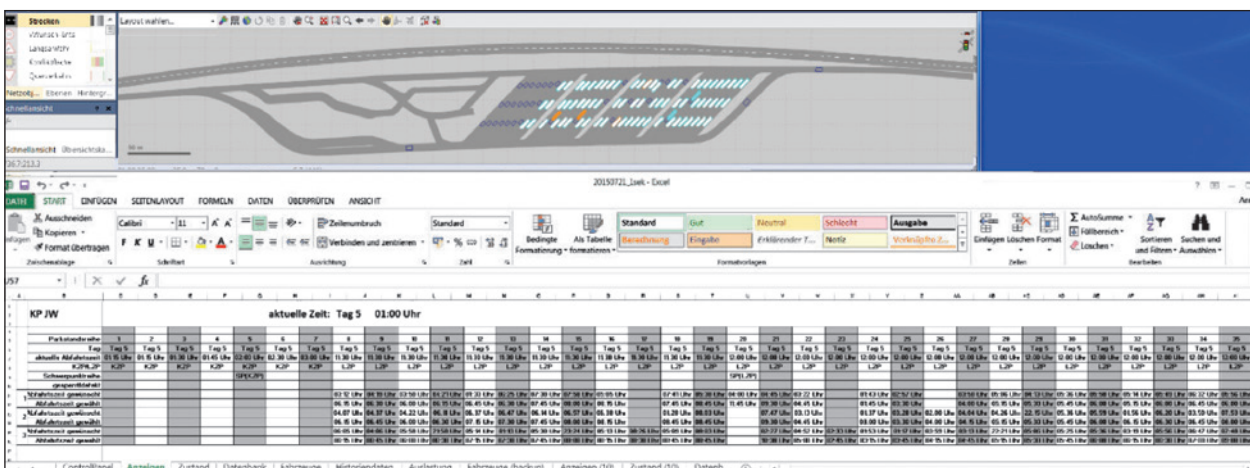


Bild 3-15: Zustand Simulation Referenzparkplatz Freitag 01:00 Uhr (Variante)

Tag	Parkstände LZP Gesamt	Freie/Belegte Parkstände	Auslastung
Dienstag 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	3/81	96,4 %
Mittwoch 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	4/80	95,2 %
Donnerstag 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	6/78	92,9 %
Freitag 01:00 Uhr	84 (28 Reihen)	6/78	92,9 %

Tab. 3-18: Auslastung Referenzparkplatz Variante

3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Simulationen

Bei der Simulation wurde davon ausgegangen, dass die ankommenden Lkw-Fahrer eine Parkstandsreihe auswählen, die ihrer gewünschten Verweildauer am nächsten kommt und größer gleich der gewünschten Verweildauer ist. Dabei werden keine differenzierten Verhaltensmuster der Lkw-Fahrer berücksichtigt.

Die Simulation wurde mit synthetischen Testdaten durchgeführt. Dabei wurden die Verweildauern an

Hand der gültigen Vorschriften zu den Lenkzeiten, Fahrtunterbrechungen und Ruhezeiten gebildet. Gezielte Lasttests haben gezeigt, dass für eine optimale Parametrierung ausreichend gute Daten zur Nachfrage vorliegen müssen.

Es ist davon auszugehen, dass das System Kompaktparken durch die Feinparametrierung auf die realen Bedürfnisse der Lkw-Fahrer im Probebetrieb weiter eingestellt werden kann.

Teil 2: Evaluation Pilotanwendung

4 Grundlagen der Vorort-Analyse

4.1 Pilotanlage Jura West

Das Pilotprojekt zum Kompaktparken wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur gemeinsam mit der Bayerischen Straßenbauverwaltung und der Bundesanstalt für Straßenwesen auf der Rastanlage Jura West an der BAB A 3 in Fahrtrichtung Regensburg realisiert und am 19.02.2016 in Betrieb genommen.

Durch die Umgestaltung der Trenninseln und durch die zusätzliche Ummarkierung der vorherigen mittleren Fahrgasse konnten insgesamt 35 Parkstandreihen mit Längen von rund 70 Metern für das Kompaktparken eingerichtet werden. Die Parkstandreihen haben identische Breiten wie konventionelle Schrägparkstände und es können in einer Reihe mindestens drei Lkw hintereinander und damit insgesamt im Parkbereich mindestens 105 Lkw geparkt werden. Insgesamt wurden damit 35 zusätzliche Parkstände geschaffen.

Für die Montage der Abfahrtsanzeigen und der Lasersensoren zur Ermittlung der Restlängen wurde ein Gitterstahlrohrträger einige Meter zur Fahrgasse versetzt über den hinteren Parkpositionen gebaut. Das Fundament für die Gitterstahlrohrkonstruktion mit den zugehörigen Gerätschaften (Schaltschränke, Infoscreens) ist so positioniert, dass die Vorbeifahrt an ggf. haltenden Fahrzeugen immer gewährleistet ist.

Die Bilder 4-1 bis 4-6 zeigen die für das Kompaktparken installierte Schilderbrücke mit den Anzeigen zur Darstellung der Abfahrtszeiten sowie die über die einzelnen Parkstandreihen installierten Lasersensoren zur Ermittlung der Restlängen.

Die Anordnung und Gestaltung der Anzeigen der Pilotanlage (Positionierung, Winkel, Größe etc.) wurde im Rahmen der verkehrsrechtlichen Anordnung geprüft (s. [ABDN vAO]).

Die eingesetzten Schriftarten für die Anzeige der Abfahrtszeiten entsprechen der RWBA/EN 12966 ([BMVBS 2000]). Sie sind in der Größe für den Anwendungsfall geeignet und damit für die Lkw-Fahrer gut lesbar/erkennbar.



Bild 4-1: Lasersensoren zur Ermittlung der Restlängen [ZVM]



Bild 4-2: Parkstandreihe [ZVM]

Bei der Begehung vor Ort im August 2017 durch die Firma Kappich Systemberatung wurde festgestellt, dass die Abfahrtsanzeigen für die Lkw-Fahrer gut erkennbar, lesbar und übersichtlich angeordnet sind.

Zur Information der Lkw-Fahrer stehen am Eingang eine Infosteile und an den vier Fundamenten für den Gitterstahlrohrträger stehen je ein Infoscreen zur Verfügung. Die Infosteile bei Jura West zeigt aktuell nicht mehr die Zeiten zu den Parkstandreihen an, stattdessen wird eine Animation zur Nutzung des Systems Kompaktparken gezeigt.

Zusätzlich kann die aktuelle Parkstandsituation im Internet abgerufen werden.

Diese Informationsmedien (s. Bild 4-3 und Bild 4-4) sind keine notwendigen Bestandteile des Systems Kompaktparken, sondern dienen zur Orientierung der Lkw-Fahrer auf der Pilotanlage. Bei der Planung zukünftiger Parkbereiche für das System Kompaktparken sollte jeweils die Notwendigkeit dieser Informationsmedien geprüft werden.

Bild 4-5 gibt einen Überblick über den Parkbereich.



Bild 4-3: Infosteile [ZVM]



Bild 4-4: Infotafel [ZVM]



Bild 4-5: Überblick Parkbereich Kompaktparken [ZVM]

4.2 Evaluationskonzept

Für die Evaluation der Anwendung des Verfahrens Kompaktparken auf der Rastanlage Jura West wird ein Zeitraum von vier Wochen angesetzt. Dieser Zeitraum wird gewählt, um die gesamte die Bandbreite des Parkverhaltens abzudecken und somit repräsentative Ergebnisse zu erzielen.

Zur Evaluation kann auf Webcam/Übersichtskamera Bilder und die protokollierten Systemdaten der Steuerungszentrale der Kompaktparkenanlage zugegriffen werden. In den ersten 48 Stunden des Evaluierungszeitraums erfolgt zusätzlich eine differenzierte Erhebung mit Personal vor Ort (Vorort-Analyse). Diese dient der Prüfung der Verknüpfbarkeit der verschiedenen Datenquellen. Des Weiteren soll geprüft werden, ob ergänzend ein zu Evaluationszwecken installiertes Fahrzeugidentifikationssystem (Automatic number-plate recognition, kurz: ANPR) für die automatisierte Auswertung herangezogen werden kann. Dadurch könnte der manuelle Aufwand bei der Datenauswertung reduziert werden. Die Auswertung der Daten zum Kompaktparken für den Evaluationszeitraum von 4 Wochen erfolgt unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Vorort-Analyse.

Bild 4-6 zeigt von der Rastanlage Jura West den Kompaktparken-Bereich, die Systemkomponenten des Kompaktparkens (Lasersensoren, Abfahrtszeitanzeigen, Infoscreens, Infosteile etc.), die Webcam/Übersichtskamera-Standorte und die Standorte des ANPR-Systems.

Die Abfahrtsanzeigen und Lasersensoren sind über den einzelnen Parkstandreihen montiert. Über die 5 schwenkbare Kameras Dome Kamera 1 bis 4 und Kamera Jura West 3 kann der gesamte Parkbereich eingesehen werden.

Die schwenkbaren Kameras wurden für den Beobachtungszeitraum so eingestellt, dass sich ein optimales Beobachtungsfeld für die Ermittlung der Ankunft und Abfahrtszeiten der Fahrzeuge ergab.

Zu den einzelnen Parkstandreihen sind zusätzliche Kameras installiert über die die Belegung der Parkstandreihe kontrolliert werden kann. Dabei ist zu beachten, dass im Wesentlichen das zuletzt in die Parkstandreihe eingefahrene Fahrzeug erkennbar ist. Das bedeutet, dass über diese Quelle die Ankunft der Fahrzeuge ermittelt- bzw. überprüfbar sind. Ebenso kann über diese Quelle die Abfahrt des letzten Fahrzeugs in der Parkstandreihe ermittelt wer-

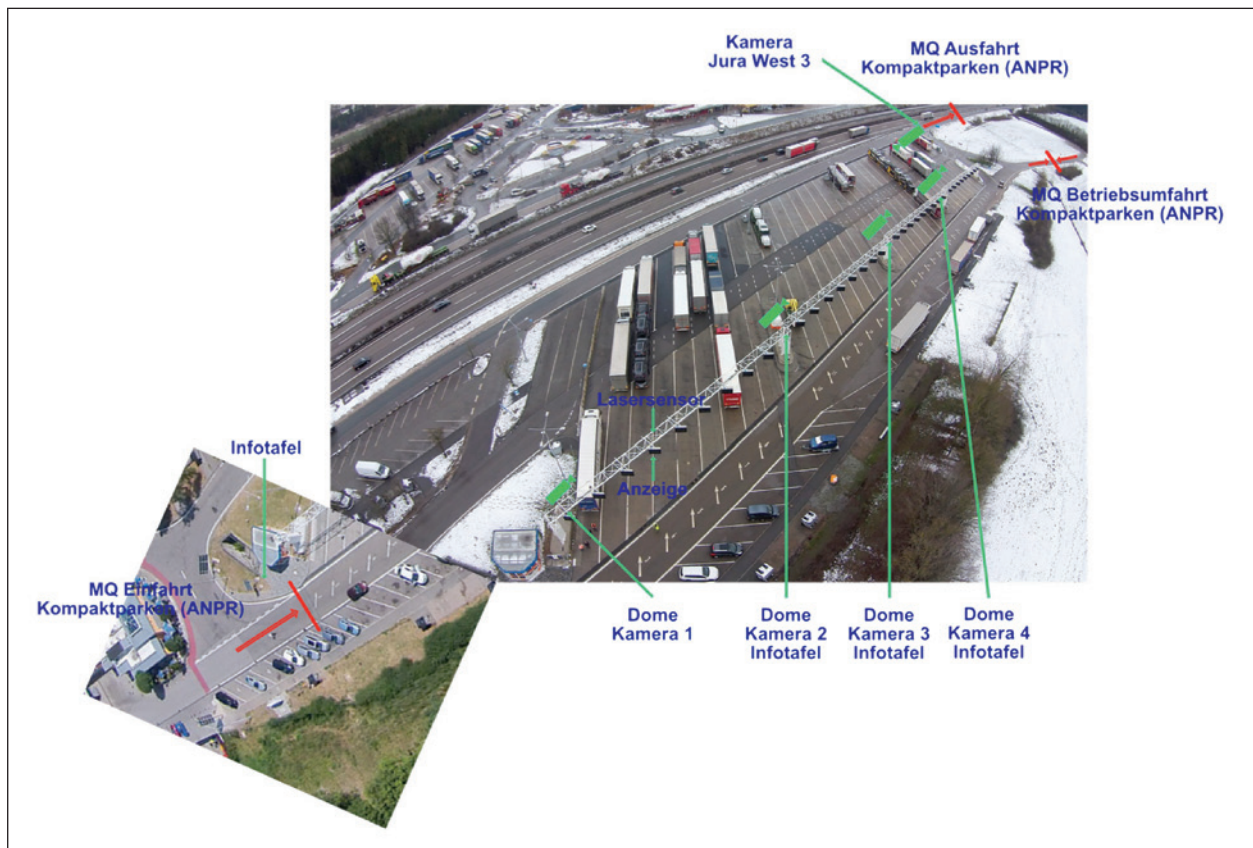


Bild 4-6: Überblick Komponenten Kompaktparken [ZVM]

den. Die Abfahrtszeiten der vor dem letzten Fahrzeug stehenden Lkw ist über diese Quelle i. d. R. nicht ermittelbar. Je nach Konstellation und Lichtverhältnissen können über die Bilder der Parkstandreihen aber doch die Abfahrtszeiten weiter vorne stehender Fahrzeuge ermittelt werden, indem die Nachbarreihen mit betrachtet werden.

Für die Auswertung der Belegung wurden neben den Fotoquellen folgende Protokolle der Steuerungszentrale betrachtet:

- Schaltprotokoll der dynamischen Abfahrtszeiten über den Reihen:
Protokollierung der angezeigten Abfahrtszeiten;
- Belegung der Parkstandsreihen als Tabelle:
Protokollierung der Restlänge zu den einzelnen Parkstandreihen,
- Fahrzeugbelegung PresentVehicles:
Protokollierung der Fahrzeugbelegung inklusive Ankunfts- und angezeigter Abfahrtszeit je Parkstandreihe,
- Betriebsmeldungen: Protokollierung der Betriebsmeldungen (z. B. Fehlermeldungen).

Für weitere detaillierte Informationen zu den Protokollen der Steuerungszentrale sei auf das Pflichtenheft [SIEMENS (2015)] und die Schnittstellenbeschreibung [SIEMENS (2014)] sowie die weitere Systemdokumentation verwiesen

4.2.1 Vorort-Analyse

Bei der Vorort-Analyse werden für fünf Personen im Schichtbetrieb (je Schicht 1-3 Personen) über 48 Stunden die folgenden Tätigkeitsschwerpunkte vorgelesen:

- Festhalten der Parkvorgänge,
- Beobachten der Anzeigen,
- Überprüfung der Restlängen,
- wenn möglich Befragung der Lkw-Fahrer,
- Beobachtung der Meldungen auf der Internetseite Kompaktparken sowie die Meldungen der beiden Systeme ANPR und Kompaktparken.

Im Rahmen der Vorort-Analyse soll eine Belegungsmatrix mit folgendem Inhalt erstellt werden:

- je Parkstandreihe wird die Belegung aller Parkstände (inklusive möglicher Lücken) eingetragen,
- jedes Fahrzeug wird identifiziert,
- es wird die Ankunftszeit notiert,
- es wird die bei der Ankunft gesehene Abfahrtszeit notiert,
- es wird die tatsächliche Abfahrtszeit notiert.

Zusätzlich werden die Systemkomponenten des Kompaktparkens und des ANPR-Systems hinsichtlich Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Verknüpfbarkeit überprüft und alle festgestellten Abweichungen notiert.

4.2.2 Evaluation über 4 Wochen

Im Rahmen der Evaluation soll die Funktionalität des Kompaktparkens überprüft werden. Diese wird wie folgt definiert:

- Schaffung zusätzlichen Lkw-Parkraums auf gegebener Fläche (im Vergleich zur konventionellen Anordnung),
- sortiertes Parken der Lkw nach ihrer gewünschten Abfahrtszeit.

Konventionell können auf der Rastanlage Jura West 70 Lkw-Parkstände im für das Kompaktparken umgestalteten Bereich zur Verfügung gestellt werden. Durch das Kompaktparken wird die Kapazität um 35 auf theoretisch insgesamt 105 Parkstände erhöht (bei Annahme von 3 Fahrzeugen pro Parkstandsreihe). Der Nachweis der Erfüllung der ersten Funktionalität erfolgt somit über die Untersuchung der täglichen Spitzenbelegung über vier Wochen.

Die Kernfunktion, dass die Lkw nach ihrer gewünschten Abfahrtszeit sortiert parken, lässt sich anhand der Befüllung des Parkplatzes am Abend und durch die konfliktfreie Abfahrt der Lkw in den Morgenstunden nachweisen. Dabei wird für die wochentags über zwei Wochen untersucht, ob die Lkw-Fahrer ihre Parkstände konfliktfrei wieder verlassen können. Es wird ausgewertet, ob zur Abfahrtszeit für den Lkw-Fahrer in seiner Parkstandsreihe eine freie Ausfahrt möglich ist, also vor ihm kein weiteres Fahrzeug steht. Wenn zu diesem Zeitpunkt ein Lkw in einem Parkstand vor dem ausfahrbereiten Lkw-Fahrer steht, liegt eine potenzielle Blockade vor. Es wird von einer potenziellen Blockade

gesprochen, da einerseits systembedingt beim Kompaktparken i. d. R. in einem solchen Fall eine alternative Ausfahrtmöglichkeit über eine benachbarte Parkstandsreihe besteht und andererseits keine tieferen Erkenntnisse über eventuelle Absprachen der Lkw-Fahrer untereinander vorliegen.

Als Grundlage für die automatische/manuelle Auswertung sollen die Daten der folgenden vor Ort installierten Geräte dienen:

- Lasersensoren (durch die Lasersensorik erfasste freie Restlängen in den Parkstandsreihen),
- Abfahrtszeitanzeigen (bei der Einfahrt eines Fahrzeugs in eine Parkstandsreihe jeweils angezeigte Abfahrtszeit),
- Bilder der vier Übersichtskameras (je Minute ein Bild, manuelle Auswertung),
- Bilder der über die Einfahrt zu den einzelnen Parkstandsreihen installierten Webcams (je Minute ein Bild, manuelle Auswertung).

Sollte sich bei der Vorort-Analyse herausstellen, dass die zusätzlich erhobenen ANPR-System-Daten eine automatisierte Verknüpfung mit den Daten des Kompaktparkensystems zulassen, so könnten Teile der manuellen Auswertung des Bildmaterials durch eine automatisierte Auswertung ersetzt werden.

5 Evaluierung des Gesamtsystems

Die Vorort-Analyse wurde von Dienstag den 1. August bis Donnerstag den 3. August 2017 auf der Rastanlage Jura West über einen Zeitraum von 48 Stunden durchgeführt.

Die Evaluierung des Kompaktparkens auf der Rastanlage Jura West wurde für den gesamten August 2017 (4 Wochen und 3 Tage) durchgeführt.

5.1 Beobachtungen während der Vorort-Analyse

Bei der Vorort-Analyse wurden von den ausführenden Mitarbeitern verschiedene Beobachtungen protokolliert, die an dieser Stelle festgehalten und hinsichtlich ihrer Relevanz für das Kompaktparken bewertet werden.

Diese beobachteten Auffälligkeiten stehen nicht unbedingt mit dem System Kompaktparken im direkten Zusammenhang. Es handelt sich dabei unter anderem um Punkte die

- die automatisierte Auswertung erschweren,
- die Meinungen oder das Verhalten einzelner Fahrer dokumentieren,
- das Optimierungspotenzial aufzeigen.

5.1.1 Tageszeitabhängiges Verhalten der Lkw-Fahrer

Das Verhalten der Lkw-Fahrer über Tag und in den Abend- und Nachtstunden weicht voneinander ab.

Am Vormittag bis in die frühen Nachmittagsstunden sowie am Wochenende (Zeitbereiche mit geringer Nachfrage) wurde vereinzelt der Bereich der Langzeitparken durch Kurzzeitparker belegt. In diesem Zeitbereich ist der Parkplatz kaum belegt und es wird so geparkt, dass z. B. der Weg zur Raststätte kurz ist oder ein ruhigerer Parkstand gewählt wird. In diesem Zeitfenster kommen fast nur Kurzzeitparker, die den Parkstand innerhalb einer Stunde wieder verlassen und damit keine länger parkenden Fahrzeuge blockieren.

Nachts füllt sich der Parkbereich für das Kompaktparken fast zu 100 %, was der hohen Nachfrage geschuldet ist. Dabei wird der Bereich, der eigentlich für Kurzzeitparker parametrisiert war, von Langzeitparkern genutzt. Ebenso werden Parkstandreihen, die eine Verweilzeitzeit anbieten, die zwischen einer und acht Stunden liegt von Lkw-Fahrern genutzt, die ihre Ruhezeit von acht und mehr Stunden einhalten wollen.

Es wurden an beiden Tagen keine Probleme bei der Abfahrt der Lkw festgestellt.

5.1.2 Sonstige Beobachtungen

Durch die hohe Nachfrage wird nachts quer hinter den Parkstandreihen geparkt. Dieses Verhalten hat keine Auswirkungen auf das System Kompaktparken, da die Parkstandreihen vollständig belegt sind und nach vorne oder seitwärts verlassen werden.

Vereinzelt (1 bis 3 Mal) wird in den frühen Morgenstunden (ab ca. 4 Uhr) rückwärts in frei gewordene vordere Parkstände eingeparkt. Es kommt zu kei-

ner Behinderung der nachfolgenden Lkw, da diese ihren Parkstand über benachbarte Parkstandreihen verlassen.

In einem Einzelfall wurde durch einen Lkw-Fahrer bewusst (aus Sicherheitsgründen) statt der gewünschten Abfahrtszeit von 6:00 Uhr eine Parkstandreihe gewählt, die schon eine Abfahrtszeit von 5:30 Uhr anzeigte.

Vereinzelt verstehen Fahrer das System nicht direkt. Folgende Fragen wurden während der Vorort-Erfassung gestellt:

- Bedeutet Anzeige Parkdauer oder Abfahrtszeit?
- Welche Parkreihe ist für mich die richtige?
- Müssen Parkgebühren gezahlt werden?

Diese vereinzelt Probleme können durch eine verbesserte internationalisierte Anzeigegestaltung gelöst werden (s. Kapitel 5.3).

Am ersten Tag waren im ersten Abschnitt des Parkbereichs Anzeigen aufgrund von Kommunikationsproblemen für einen kurzen Zeitraum ausgefallen bzw. haben eine nicht fortgeschriebene Zeit angezeigt.

Teilweise bewirken Fußgänger in den Parkstandreihen eine Reaktion bzgl. der Restlängendetektion. Dies stellt kein Problem dar, da nachdem die Person(en) den Bereich verlassen haben, die Restlängendetektion wieder den ursprünglichen Wert ermittelt.

5.1.3 Verknüpfung der Daten

Die vor Ort in einzelne Listen festgehaltenen Daten wurden zusammengeführt und mit den Bildern und Protokollen der Steuerungszentrale verknüpft. Die folgenden Daten wurden hieraus ermittelt:

- Auslastung des Parkbereichs über Nacht (größte Nachfrage),
- je Parkstandreihe und Parkstand:
 - parkendes Fahrzeug,
 - Ankunftszeit,
 - die Ankunftszeiten wurden durch die Bilder und/oder Protokolle der Steuerungszentrale ermittelt (PresentVehicles-Protokoll),
 - Anzeige der angebotenen Abfahrtszeit bei Ankunft des Fahrzeuges wurden durch die

Protokolle der Steuerungszentrale ermittelt (PresentVehicles-Protokoll),

- die Abfahrtszeiten wurden durch die Bilder und/oder Protokolle der Steuerungszentrale ermittelt (PresentVehicles-Protokoll),
- Verweildauer,
- Differenz zwischen Abfahrtszeit und Ankunftszeit,
- (angebotene) Parkzeit.

Die Zeitdauer, zwischen Ankunftszeit und der zu diesem Zeitpunkt angebotene Abfahrtszeit:

- (zu kurze) Parkzeit

Die Zeitdauer, die ein Fahrzeug den Parkstand vor der bei seiner Ankunftszeit angebotenen Abfahrtszeit verlassen hat.

- (zu lange) Parkzeit

Die Zeitdauer, die ein Fahrzeug den Parkstand nach der bei seiner Ankunftszeit angebotenen Abfahrtszeit verlassen hat:

- Verhalten der Lkw-Fahrer,
- Wie gut hat sich der Fahrer, im Rahmen seiner Möglichkeiten, an das System Kompaktparken gehalten?
- (potenzielle) Blockaden von Fahrzeugen,
- Es wurde ein Fahrzeug in einer Parkstandreihe bei seiner Abfahrtszeit durch mindestens ein vor im stehendes Fahrzeug potenziell blockiert. Da diese Fahrzeuge ihren Parkstand vor den vor ihnen stehenden Fahrzeugen z. B. über eine benachbarte Reihe verlassen haben, hat keine reale Blockade bestanden.

Durch das System Kompaktparken sind die angebotenen Abfahrtszeiten monoton steigend. Damit haben benachbarte Parkstandreihen immer ähnliche Zeiten, sodass ein Fahrzeug seinen Parkstand auch über benachbarte Parkstandreihen verlassen kann.

Die Daten aus dem für die Evaluation zusätzlich installierten ANPR-System konnten nicht mit den Daten vom System Kompaktparken korreliert werden, da im Zeitraum der Vorort-Analyse beim ANPR-System zum einen nur ca. 70 % der Langzeitparker (> 5 Stunden) erkannt wurden, zum anderen die Zuordnung von Anfahrt (ANPR-System) und zu dem durch die Steuerungszentrale erkannten Zeitpunkt

einer Belegungsänderung einer Reihe nicht mit ausreichender Sicherheit möglich war.

Der Funktionsnachweis wird anhand der Daten des Kompaktparkensystems und der Bilddaten von vier Übersichtskameras sowie der Bilder der Webcams über den einzelnen Parkstandsreihen geführt.

5.2 Funktionalitätsnachweis

Die Funktionalität des Kompaktparkens liegt darin,

- auf gegebener Fläche im Vergleich zur konventionellen Anordnung zusätzlichen Parkraum zu schaffen, dass
- die Fahrzeuge nach ihrer gewünschten Abfahrtszeit sortiert parken.

5.2.1 Belegung

Der Nachweis der Erfüllung der ersten Funktionalität erfolgt über die Belegung.

Konventionell wurden in Jura West 70 Parkstände zur Verfügung gestellt. Durch das Kompaktparken wird die Kapazität um 35 auf insgesamt 105 Parkstände erhöht.

Erhebungen der Lkw-Parknachfrage für das gesamte BAB-Netz haben ergeben, dass in den Nachtstunden die Nachfrage am höchsten ist (zwischen 22:00 und 04:00 Uhr) (s. [LÜTTMERCING, A.; GATHER, M.; HEINITZ, F.; HESSE, N. (2008)]). Dies trifft aufgrund der Auswertung der Daten im August 2017 und Beobachtungen während der Vor-Ort-Erfassung auch auf die Anlage Jura-West zu.

Unabhängig hiervon ist der Algorithmus für das Kompaktparken tageszeitunabhängig, da

- er abgesehen vom Ereigniskalender, also den Wochenend- und Feiertagsregelungen ausschließlich belegungsabhängig ist.
- das Angebot belegungsabhängig reduziert wird
- das Angebot 24/7 vorgehalten wird.

Bild 5-1 zeigt die im Auswertez Zeitraum ermittelte Belegung des Parkbereichs für das Kompaktparken in Jura West. Dabei wird jeweils der Stand der Belegung um 00:00 Uhr dargestellt. In der Abbildung sind die Kapazitäten des konventionellen (70) und

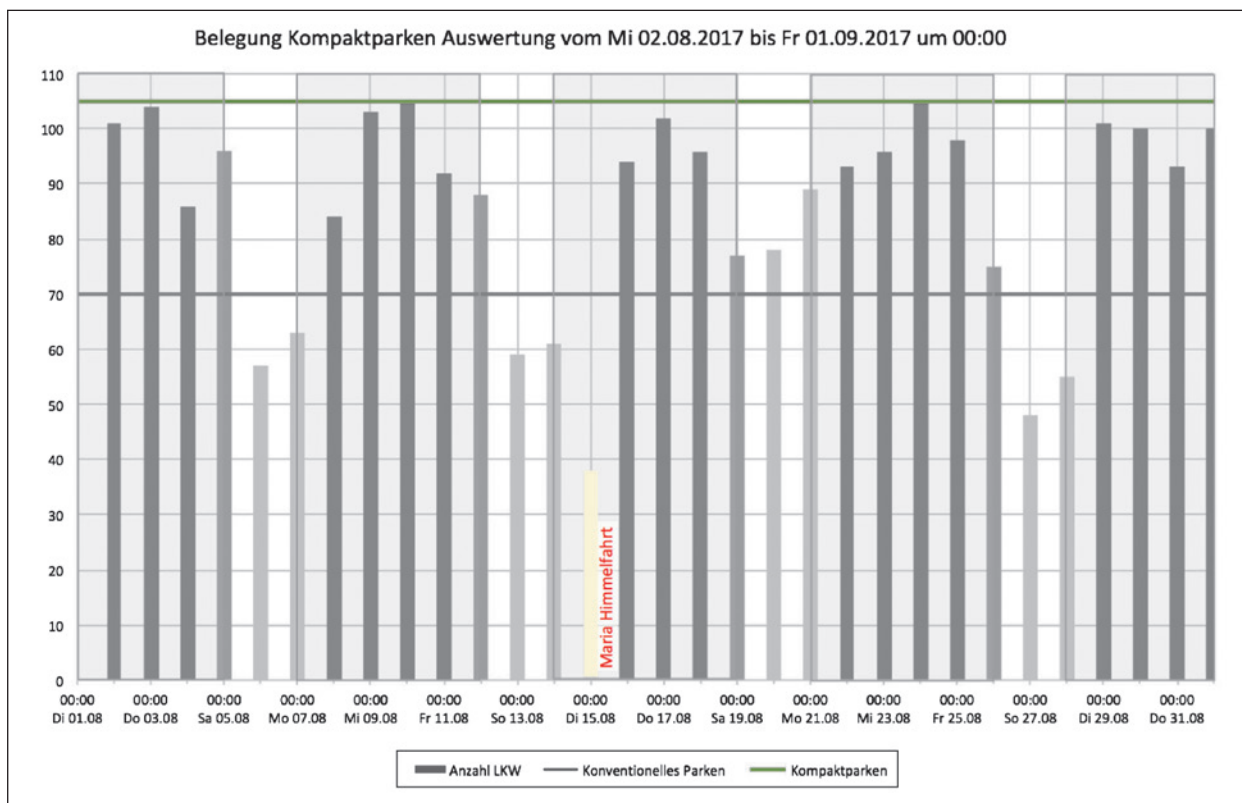


Bild 5-1: Belegung Kompaktparken Jura West August 2017

des Kompaktparken (105) eingezeichnet. Die grün hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Werktage Montag bis Freitag während die weißen Bereiche die Wochenenden Samstag bis Sonntag kenntlich machen.

Aus Bild 5-1 ist erkennbar, dass die größte Nachfrage an den Werktagen Montag bis Donnerstag besteht und hierbei die zusätzliche Kapazität teilweise bis zu 100 % genutzt wird.

An den Wochenenden sinkt die Belegung bis auf ca. 40 %. Hier wird aufgrund der niedrigen Nachfrage die Zusatzkapazität nicht benötigt.

Der in Bayern und Österreich geltende Feiertag Maria Himmelfahrt am Dienstag, den 15.8.2017 stellt eine Ausnahme bzgl. der Belegung dar, die sich auch auf den vorherigen Montag auswirkt. An Maria Himmelfahrt gilt nur für Österreich ein Fahrverbot, das dazu führt, dass am Montag weniger Fahrzeuge Richtung Österreich fahren, da die Weiterfahrt in Österreich nicht möglich ist. Der Feiertag selbst verhält sich wie ein normaler Werktag, da in Deutschland kein Fahrverbot gilt und am Folgetag auch keine Beschränkungen bestehen.

Bild 5-2 stellt die Gesamtbelegung für die Rastanlage Jura West im Monat August 2017 dar. Das Diagramm wurde von dem Lkw-Parkleitsystem Bayern ermittelt. Darin sind der Bereich des Kompaktparkens, der Bereich des zusätzlichen konventionellen Parkens und der Tankstellenbereich zusammengefasst.

Wie erkennbar ist, entspricht die Ganglinie aus dem Kompaktparken (Bild 5-1) tendenziell dem Verlauf der Ganglinie der Gesamtbelegung (Bild 5-2).

In Bild 5-3 werden für die einzelnen Tage, Wochentage und Tagesgruppen die ermittelte Belegungswerte sowie die Gesamtauslastung vom Kompaktparken aufgeführt. Hier wird noch einmal deutlich, dass die Hauptnachfrage werktags vorliegt und an diesen Tagen die Gesamtauslastung bei durchschnittlich 93 % liegt. An den Wochenenden liegt die Auslastung im Durchschnitt unterhalb der Kapazität des konventionellen Parkens. Der Prozentsatz der Auslastung ist kursiv dargestellt, wenn die Gesamtbelegung der Rastanlage unter 100 % lag.

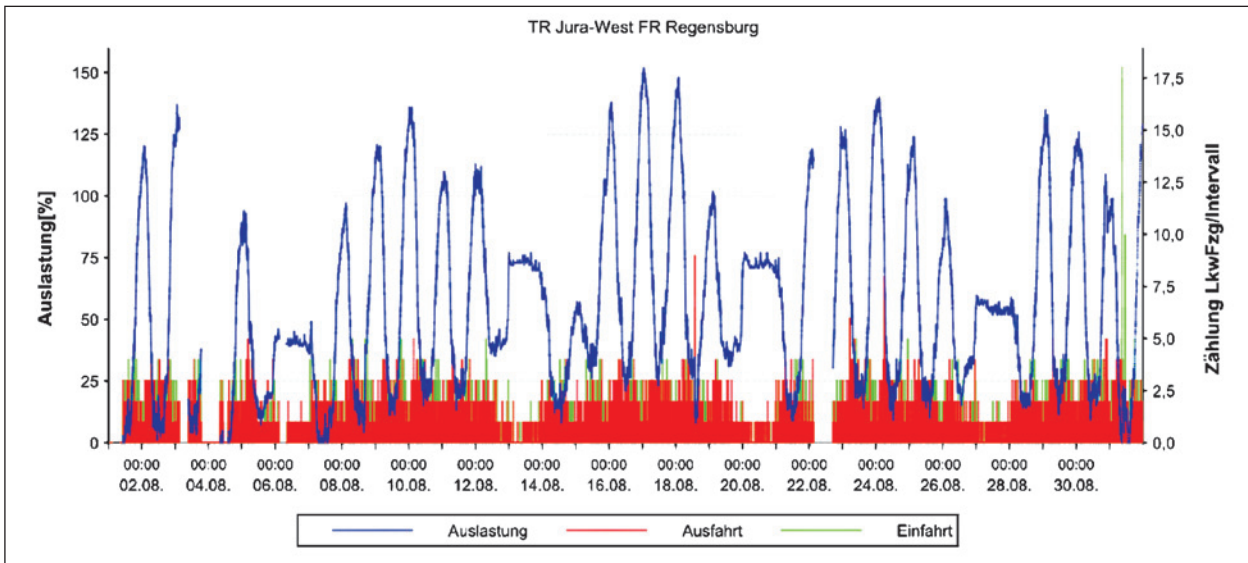


Bild 5-2: Gesamtbelegung Rastanlage Jura West August 2017 [ZVM]

Tag	Belegung	Auslastung
Mi 02.08 00:00	101	96%
Do 03.08 00:00	104	99%
Fr 04.08 00:00	86	82%
Sa 05.08 00:00	96	91%
So 06.08 00:00	57	54%
Mo 07.08 00:00	63	60%
Di 08.08 00:00	84	80%
Mi 09.08 00:00	103	98%
Do 10.08 00:00	105	100%
Fr 11.08 00:00	92	88%
Sa 12.08 00:00	88	84%
So 13.08 00:00	59	56%
Mo 14.08 00:00	61	58%
Mo 14.08 00:00	38	36%
Mi 16.08 00:00	94	90%
Do 17.08 00:00	102	97%
Fr 18.08 00:00	96	91%
Sa 19.08 00:00	77	73%
So 20.08 00:00	78	74%
Mo 21.08 00:00	89	74%
Di 22.08 00:00	93	89%
Mi 23.08 00:00	96	91%
Do 24.08 00:00	105	100%
Fr 25.08 00:00	98	93%
Sa 26.08 00:00	75	71%
So 27.08 00:00	48	46%
Mo 28.08 00:00	55	52%
Di 29.08 00:00	101	96%
Mi 30.08 00:00	100	95%
Do 31.08 00:00	93	89%
Fr 01.09 00:00	100	95%

Wochentage	Belegung	Auslastung
von So auf Mo	67	64%
von Mo auf Di	93	88%
von Di auf Mi	99	94%
von Mi auf Do	102	97%
von Do auf Fr	94	90%
von Fr auf Sa	84	80%
von Sa auf So	62	59%

Tagesgruppe	Belegung	Auslastung
Werktags	97	93%
von Fr auf Sa	84	80%
Wochenende	55	52%

(Feiertag)

Belegung Kompaktparken für die Tage, Wochentage und Tagesgruppen August 2017
Gesamtauslastung Kompaktparken in Prozent (kursiv, wenn die Gesamtbelegung der Rastanlage unter 100 % lag.)

Bild 5-3: Auswertung Belegung Bereich Kompaktparken Jura West August 2017

5.2.2 Fahrerverhalten (sortiertes hintereinander Parken)

Die Kernfunktion, dass die Fahrzeuge nach ihrer gewünschten Abfahrzeit sortiert parken, lässt sich anhand der typischen Befüllung des Parkplatzes am Abend gemäß nachfolgender Begründung und

durch die konfliktfreie Abfahrt der Lkw in den Morgenstunden feststellen.

Typische Befüllung des Parkplatzes

In Bild 5-4 und Bild 5-5 wird beispielhaft die typische Befüllung des Parkplatzes dargestellt. Die Befül-

lung folgt dabei im Wesentlichen dem Algorithmus des Steuerungsverfahrens Kompaktparken. Nachdem die jeweils ersten Parkstände der Parkstandreihen belegt wurden ist zu erkennen, dass sich der Parkplatz um die ermittelte Schwerpunktsreihe ge-

häuft füllt. Indirekt kann über dieses Muster abgeleitet werden, dass die Fahrer den angezeigten Abfahrtszeiten folgen und das Angebot im betrachteten Bereich im Wesentlichen der Nachfrage entspricht.



Bild 5-4: Beispiel Befüllung Kompaktparken bis 20:00 [ZVM]



Bild 5-5: Beispiel Befüllung Kompaktparken bis 24:00 [ZVM]

Typisches Parkverhalten

In Bild 5-6 sind für 7 Werktage im August die An- und Abfahrtszeiten der Lkw-Fahrer dargestellt, die den Parkplatz über Nacht belegt haben. Auf der Abszisse sind die Ankunftszeiten dargestellt. Die Ordinate stellt die Abfahrtszeiten für den jeweiligen Parkvorgang dar. Durch die Geraden wird die Parkdauer der Lkw-Fahrer in Stunden klassifiziert. Der Mittelwert der Ankunftszeit über alle Parkvorgänge ist 18:26 Uhr; der der Abfahrtszeit ist 4:58 Uhr. Die meisten Lkw kommen zwischen 16:00 und 22:00 Uhr und verlassen den Parkbereich zwischen 04:00 und 08:00 Uhr.

Die typischen Parkdauern liegen zwischen 09 und 13 Stunden.

Typische Abfahrten

Bild 5-4 und Bild 5-5 zeigen, dass die Lkw-Fahrer in den Parkstandreihen kompakt hintereinander parken. Im Folgenden wurde untersucht, ob die Lkw-Fahrer ihre Parkstände konfliktfrei wieder verlassen konnten. Dazu wurde ausgewertet, ob zur

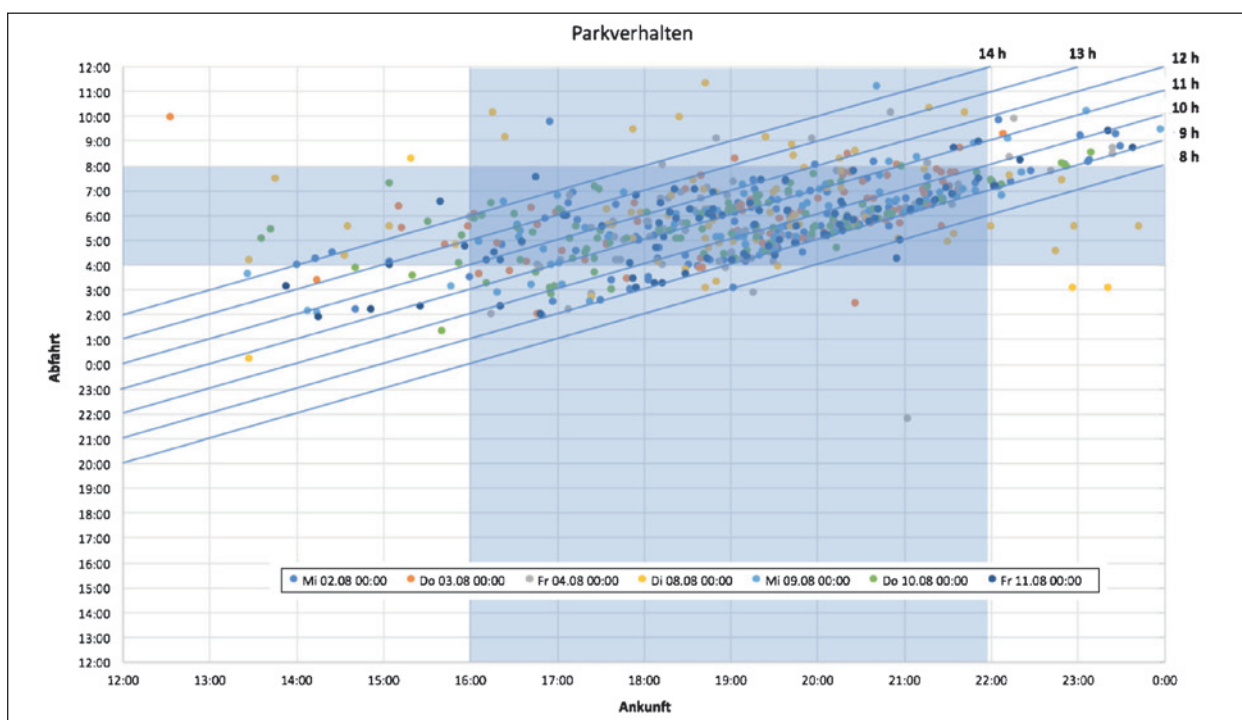


Bild 5-6: Parkverhalten der Lkw-Fahrer

Abfahrzeit für den Lkw-Fahrer in seiner Parkstandreihe eine freie Ausfahrt gegeben war, also vor ihm kein weiteres Fahrzeug stand. Wenn ein Parkstand vor dem ausfahrbereiten Lkw-Fahrer gestanden hat lag eine potenzielle Blockade vor. Da der Lkw-Fahrer aber seinen Parkstand zeitlich vor einem vor ihm stehenden Fahrzeug verlassen konnte, muss er eine alternative Ausfahrtmöglichkeit gefunden haben. D.h. er konnte seinen Parkstand z. B. über eine benachbarte Parkstandreihe verlassen entsprechend der Kernfunktionalität des Kompakt-

parkens, dass benachbarte Parkstandreihen benachbarte Abfahrzeiten haben.

Tabelle 5-1 zeigt, dass in den untersuchten Zeitbereich von den ausgewerteten 675 Parkvorgängen 90 % eine freie Ausfahrt hatten und nur 10 % durch einen später ausfahrenden vor ihm stehenden Fahrzeug potenziell blockiert wurden aber durch das Kompaktparken konforme Verhalten der benachbarten Lkw-Fahrer, den Parkstand überwiegend über die Nachbarreihe verlassen konnten.

Tag	Belegte Parkstände	Freie Ausfahrt	Potenzielle Blockaden
Mi 02.08.17 00:00 Uhr	101	94	7
Do 03.08.17 00:00 Uhr	104	90	14
Fr 04.08.17 00:00 Uhr	86	67	19
Di 08.08.17 00:00 Uhr	84	74	10
Mi 09.08.17 00:00 Uhr	103	99	4
Do 10.08.17 00:00 Uhr	105	98	7
Fr 11.08.17 00:00 Uhr	92	84	8
Summe	675	606	69
Anteil		90 %	10 %

Tab. 5-1: Auswertung Belegung Bereich Kompaktparken Jura West August 2017

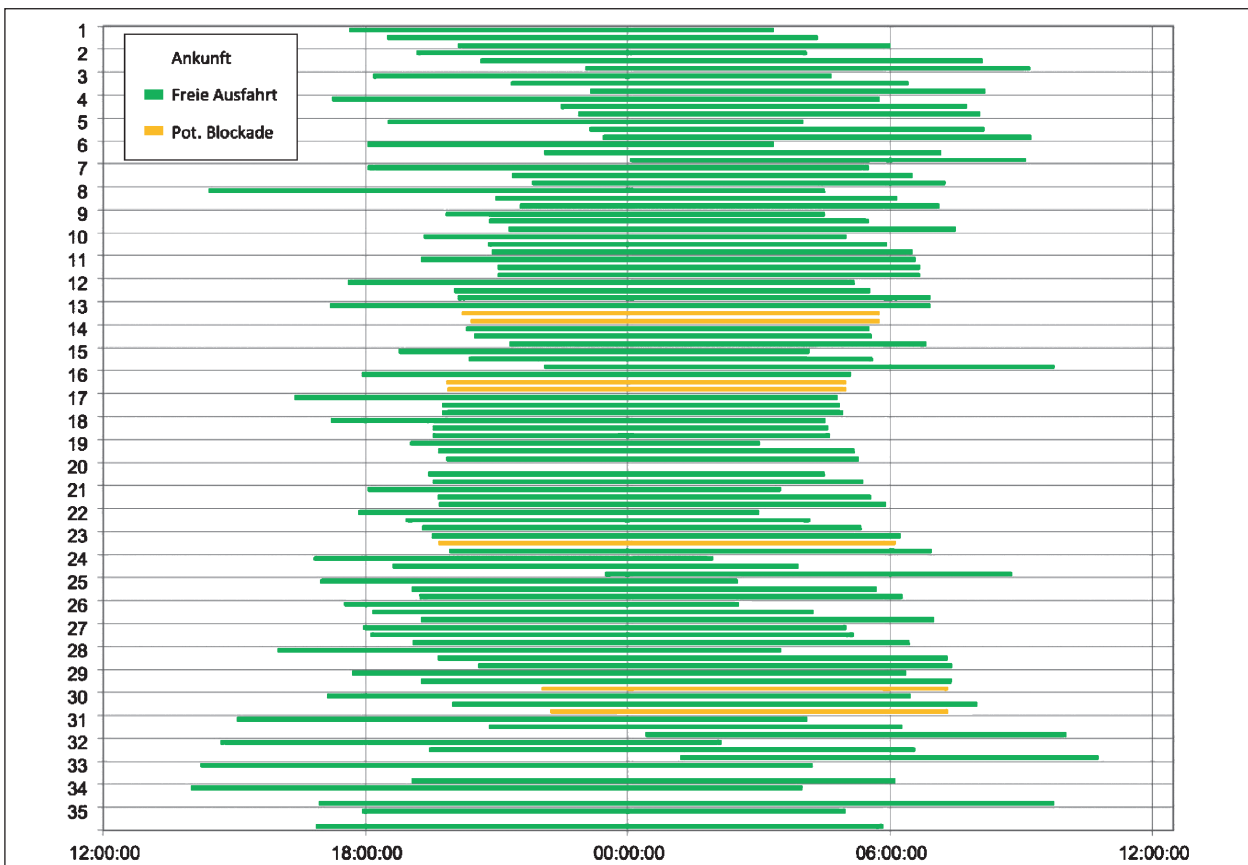


Bild 5-7: Parkverhalten für die Nacht vom 01. auf den 02. August 2017

Dies entspricht auch der Langzeitbeobachtung der zuständigen Polizei und Autobahnmeistereien, dass keine Konflikte beobachtet bzw. gemeldet worden sind.

In Bild 5-7 ist beispielhaft das Parkverhalten in der Nacht vom 01. auf den 02. August 2017 dargestellt. Auf der Abszisse ist die Zeit ab dem 01.08.2017 12:00 bis zum 02.08.2017 12:00 dargestellt. Die Ordinate stellt die Parkstandreihen 1 bis 35 dar. Dabei sind pro Parkstandreihe die zugehörigen drei Parkstände von oben nach unten aufgeführt.

Jeder Balken stellt einen Parkvorgang dar (Ankunfts- und Abfahrtszeitpunkt). In der Abbildung sind die Parkvorgänge, an denen der Lkw-Fahrer eine freie Ausfahrt über seine Parkstandreihe hatte grün dargestellt. Potenziell auftretende Blockaden sind in der Abbildung gelb dargestellt.

5.2.3 Technische Systemverfügbarkeit

Das System Kompaktparken ist seit Februar 2016 ununterbrochen im Betrieb (24/7).

Im Untersuchungszeitraum waren am ersten Tag im ersten Abschnitt des Parkbereichs Anzeigen aufgrund von Kommunikationsproblemen für einen kurzen Zeitraum ausgefallen bzw. haben eine nicht fortgeschriebene Zeit angezeigt. Bei der nachträglichen Analyse der Systemprotokolle über den Beobachtungszeitraum konnte festgestellt werden, dass dieser Fehler nur an diesem Tage und nur für kurze Zeit für die erste Baugruppe aufgetreten ist. In der übrigen Zeit konnten keine Fehler festgestellt werden.

Laut ZVM sind auch für die gesamte Laufzeit des Systems keine Ausfälle bekannt bzw. von der VBZ Fischbach, von wo aus das System 24/7 beobachtet wird, gemeldet worden.

Damit kann das System Kompaktparken als betriebssicher mit einer hohen Systemverfügbarkeit bewertet werden.

5.3 Empfehlungen zur Optimierung

5.3.1 Parametrierung der Abfahrtszeiten

Für die Parametrierung des Systems Kompaktparken für die Rastanlage Jura West wurden seitens der ABDN Erhebungsdaten vom 17.01.-01.02.2008 zur Verfügung gestellt, um die tatsächliche Park-

nachfrage abschätzen zu können und vermutetes Verhalten zu verifizieren [KLEINE, J.; LEHMANN, R. (2017)].

Die Auswertung dieser Daten und Erfahrungen aus dem Probebetrieb führten zur folgenden Parametrierung für die 35 Parkstandsreihen des Systems Kompaktparken auf der Rastanlage Jura West:

- Anzahl Parkstandreihen KZP mindestens 2, maximal 9,
- Anzahl Parkstandreihen LZP mindestens 26, maximal 33,
 - Schwerpunkt bei 0,8 der verfügbaren Parkstandreihen bei der 11 Stunden Reihe,
 - Δt 30 Minuten.

Im Rahmen der Evaluierung wurde für Werktage folgende Nachfrage für die Parkdauer von Lkw-Fahrern, die um 00:00 Uhr geparkt haben, ermittelt (Bild 5-8). Dieses Bild fasst die Parkvorgänge aus Bild 5-6 in Stundengruppen zusammen.

Die Auswertung zeigt, dass die Nachfrage einer Parkzeit in den Nachtstunden unter 9 Stunden äußerst gering ist. Die Nachfrage von Parkzeiten, die größer als 9 Stunden betragen liegt hier bei ca. 94 %. Diese Parkzeiten größer 9 Stunden werden schwerpunktmäßig bei Ankunftszeiten ab 16:00 nachgefragt (s. Bild 5-6).

Aufgrund der aktuellen Parametrierung des Systems Kompaktparken (basierend auf Datengrundlage 2008) werden nachmittags nicht nachgefragte Zeiten unter 9 Stunden angeboten.

5.3.2 Verzicht auf Kurzzeitparkbereich

Aus den vorangehenden Erkenntnissen, dass

- tagsüber und an den Wochenenden aufgrund der niedrigen Nachfrage relativ frei und unabhängig von der angezeigten Abfahrtszeiten geparkt wird
- in den Abend- und Nachtstunden aufgrund der hohen Nachfrage und dem damit einhergehenden Parkdruck der reservierte Bereich für Kurzzeitparker durch Langzeitparker belegt wird

erscheint es sinnvoll, den Kurzzeitparkbereich in den Nachtstunden wegzulassen.

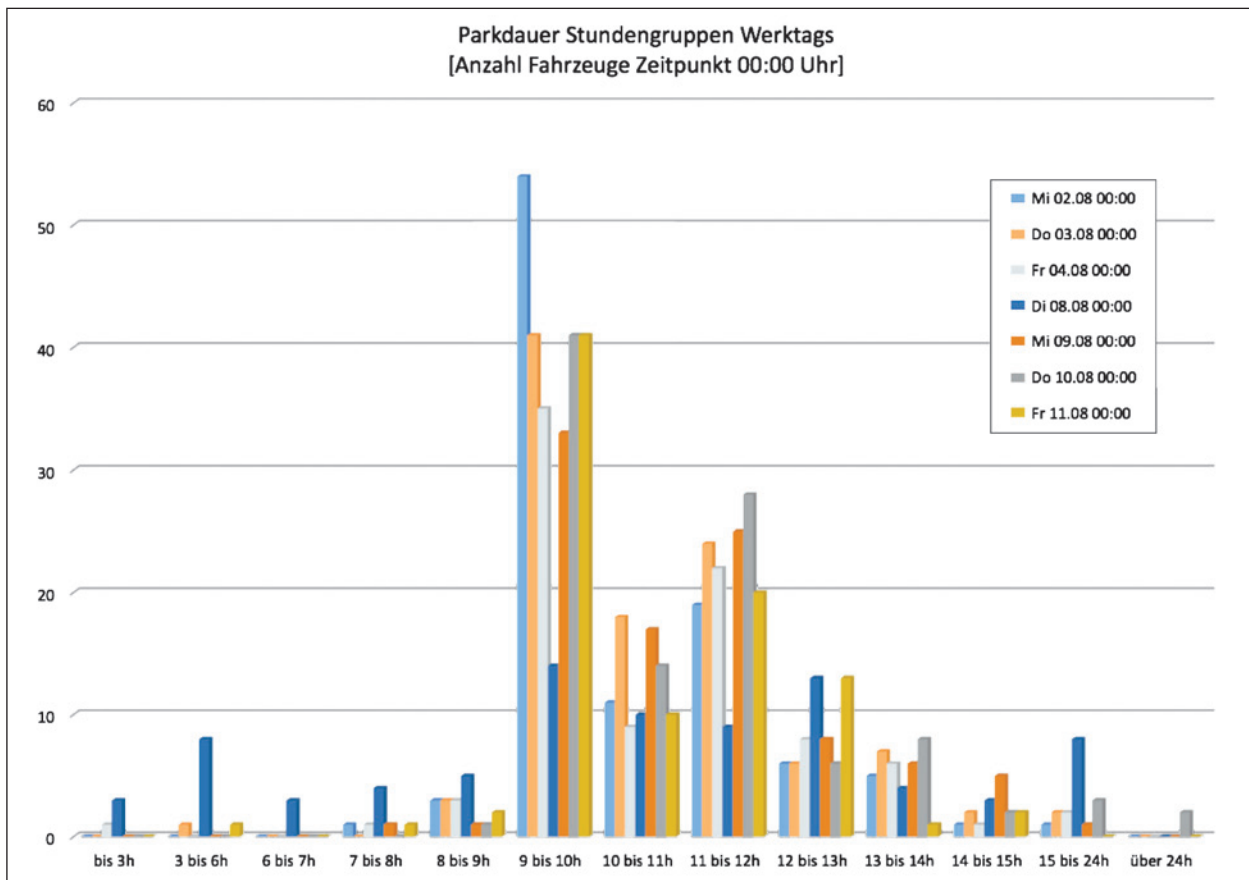


Bild 5-8: Nachfrage Parkdauer Stundengruppen um 00:00 Uhr

5.3.3 Darstellung der Anzeigen

Wie in Kapitel 5.1.2 bereits berichtet, gibt es bzgl. der Interpretation der Anzeigen bei einzelnen Fahrern Verständlichkeitsprobleme:

- Bedeutet Anzeige Parkdauer oder Abfahrtszeit?
- Welche Parkreihe ist für mich die richtige?

Diese Probleme sind ggf. mit dem hohen Anteil internationaler Lkw-Fahrer zu erklären.

Für die beiden vor Ort beobachteten Nächte wurde die Belegung nach Landeskennzeichen untersucht, um eine Aussage bezüglich der sprachlichen Verständigung machen zu können. Dabei wurde eine Unterteilung in deutschsprachige und nicht deutschsprachige Fahrer durchgeführt. Vereinfacht wurde davon ausgegangen, dass die Fahrer mit den Landeskennungen für Deutschland und Österreich keine Verständigungsprobleme hatten. Außerdem wurde eine Aufteilung in west- und osteuropäische Länder durchgeführt.

Tabelle 5-2 zeigt, dass in den beiden Nächten jeweils 26 Fahrzeuge mit deutscher oder österreichi-



Bild 5-9: Beispiel Anzeige [ZVM]

scher Landeskennung auf dem Parkplatz vertreten waren. Ca. 69 % der Fahrzeuge kamen aus dem osteuropäischen Bereich.

Der hohe Anteil internationaler Lkw-Fahrer macht die Verständlichkeitsprobleme der Anzeigen plausibel.

	Land	01./02.08.	02./03.08.	Deutsch	West	Ost
A	Österreich	12	8	20	20	
B	Belgien	2	0		2	
BG	Bulgarien	6	2			8
CZ	Tschechien	7	5			12
D	Deutschland	14	18	32	32	
DK	Dänemark	0	2		2	
F	Frankreich	2	2		4	
H	Ungarn	13	23			36
HR	Kroatien	2	5			7
LT	Litauen	1	2			3
MK	Mazedonien	1	0			1
NL	Niederlande	2	1		3	
PL	Polen	9	13			22
RO	Rumänien	14	8			22
SK	Slowakei	1	2			3
SLO	Slowenien	11	8			19
SRB	Serbien	1	0			1
SU	SU	0	2			2
TR	Türkei	3	3			6
Gesamt		101	104	25,4 %	30,7 %	69,3 %

Tab. 5-2: Aufteilung der Lkw-Fahrer nach Nationalitäten

Er erscheint daher sinnvoll, die Anzeigestaltung durch eine sprachübergreifende Symbolik zu optimieren.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Beim Steuerungsverfahren telematisch gesteuertes Kompaktparken parken mehrere Lkw ohne Mittelfahrgasse kompakt, unmittelbar hinter- und nebeneinander. Damit soll eine Erhöhung der Kapazität durch bessere Nutzung der vorhandenen Fläche auf der Rastanlage erzielt werden. Durch das kompakte hintereinander Parken können in der Regel drei Lkw in einer Parkstandreihe abgestellt werden, wo zuvor nur zwei Lkw Platz fanden. Um Behinderungen zu vermeiden, sollen die Fahrzeuge in einer Parkstandreihe zeitlich sortiert nach ihrer gewünschten Abfahrtszeit parken. Mithilfe von dynamischen Anzeigen über den Parkstandreihen erhalten die Fahrzeugführer Informationen über die späteste Abfahrtszeit der Fahrzeuge, die in einer Reihe hintereinander parken. Ankommende Fahrzeugführer

sollen mithilfe dieser Information in der Reihe parken, an der die eigene geplante Abfahrtszeit angezeigt wird, sodass sich die Fahrzeuge nicht gegenseitig bei der Abfahrt behindern. Die Fahrzeugführer können sich selbstständig für eine geeignete Parkstandreihe entscheiden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgte die Begleitung der Entwicklung eines Algorithmus für das telematisch gesteuerte Kompaktparken in Form der Verifizierung des Algorithmus mithilfe einer Simulationsumgebung des Fraunhofer Instituts (Teil 1) sowie die Evaluierung der Anwendung des Verfahrens in der Realität eines speziell für das Kompaktparken ausgestatteten Rastanlage (Teil 2).

Zur Verifizierung des Algorithmus wurden Simulationen mit synthetischen Testdaten durchgeführt. Dabei wurden die Verweildauern von Lkw auf der Rastanlage an Hand der gültigen Vorschriften zu den Lenkzeiten, Fahrtunterbrechungen und Ruhezeiten gebildet. Bei der Simulation wurde davon ausgegangen, dass die ankommenden Lkw-Fahrer eine Parkstandsreihe auswählen, die ihrer gewünschten Verweildauer am nächsten kommt und größer gleich der gewünschten Verweildauer ist. Dabei werden

keine differenzierten Verhaltensmuster der Lkw-Fahrer berücksichtigt. Gezielte Lasttests haben die theoretische Funktionalität des Algorithmus bestätigt, dass auf gleicher Fläche mehr Parkraum bereitgestellt werden kann und Fahrzeuge nach der gewünschten Abfahrtszeit zeitlich sortiert werden. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass das System Kompaktparken bei ausreichend guter Datengrundlage entsprechend der Nachfrage feinparametriert werden kann.

Die auf der Rastanlage Jura-West installierte Pilotanlage für das telematische System Kompaktparken wurde bzgl. der Erfüllung seiner Funktionalität und seiner technischen Verfügbarkeit evaluiert. Als Zeitbereich für die Evaluierung wurde der August 2017 festgelegt.

Im Rahmen einer Vorort-Analyse über einen durchgehenden Zeitraum von 48 Stunden wurden in Vorbereitung der Evaluierung die Belegungsdaten des Parkbereichs (Ein- und Ausfahrtszeiten, angezeigte Abfahrtszeiten) erfasst, das Verhalten der Lkw-Fahrer beobachtet sowie das technische Zusammenspiel der einzelnen Systemkomponenten geprüft.

Für den Funktionalitätsnachweis wurde untersucht, inwieweit die zusätzlich geschaffene Kapazität von 35 Parkständen (bei drei Lkw pro Parkstandsreihe) durch Einsatz des Systems Kompaktparken genutzt wurden und inwieweit die Fahrzeuge zeitlich sortiert hintereinander parken bzw. bei potenziellen Blockierungen konfliktfreie alternative Möglichkeiten für das Verlassen des Parkbereichs bestanden. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten, dass in der stark nachgefragten Wochentaggruppe Montag bis Donnerstag durchschnittlich 93 % des gesamten Parkbereichs (an einzelnen Tagen bis zu 100 %) belegt wurden. An den Wochenenden ist dagegen die Nachfrage so klein (durchschnittlich nur 52 %), dass selbst die geringere Kapazität des konventionellen Parkens nicht ausgenutzt würde. Für die Prüfung der zeitlichen Sortierung wurden insgesamt 675 reale Parkvorgänge untersucht. Dabei zeigte sich, dass 90 % der Fahrzeuge zeitlich sortiert hintereinander parkten und für 10 % zwar eine potenzielle Blockierung, aber überwiegend eine alternative Ausfahrmöglichkeit über eine Nachbarreihe bestand.

Insgesamt konnte so die Funktionalität des Systems Kompaktparken nachgewiesen werden.

Ebenso konnte gezeigt werden, dass das System Kompaktparken betriebssicher ist und eine hohe Systemverfügbarkeit (> 99,9 %) hat.

Die im Bericht aufgeführten Empfehlungen zur Optimierung des Systems Kompaktparken beinhalten einen Vorschlag für den Wegfall des Bereichs Kurzzeitparken und einen weiteren zur Anpassung der Anzeigen hinsichtlich der Verbesserung der Verständlichkeit bei dem hier gegebenen hohen Anteil internationaler Fahrzeugführer. Diese sind aber nicht zwingend erforderlich. Eine weitere Empfehlung zur Anpassung der vorgegebenen Parameter an die hier gegebene geringere Streuung der nachgefragten Aufenthaltsdauern kann über die vorhandene Benutzeroberfläche des Kompaktparkensystems durchgeführt werden.

Literatur

- [ABDN vAO]: Autobahndirektion Nordbayern, Verkehrsrechtliche Anordnung 3214-43321/A3/R (vAO-Nr. 91/17)
- [BMVBS (2000)]: Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Autobahnen, RWBA 2000, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
- [BMVBS (2008a)]: Mehr Lkw-Parkplätze auf Autobahnen – Parksituation für Lkw auf BAB in Deutschland in den Nachtstunden, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, www.bmvbs.de
- [BMVBS (2008b)]: Studie zu Lkw-Parkplätzen ausgewertet; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Pressemitteilung vom 08. September 2008, Nr.: 248/2008
- [Fraunhofer-Institut (2015)]: Präsentation Simulationsbedienung, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Stand 18.06.2015
- [IHK (2010)]: Sozialvorschriften im Straßenverkehr, IHK Region Stuttgart, G. Bopp, 2010
- [KLEINE, J.; LEHMANN, R. (2017)]: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 286

[KLEINE, J.; LEHMANN, R. (2011)]: Konzeption eines Lkw-Parksystems auf Rastplätzen der BAB, SVT 2011

[LÜTTMERTING, A.; GATHER, M.; HEINITZ, F.; HESSE, N. (2008)]: Belegung der Autobahnparkplätze durch Lkw in Thüringen – Bestandsaufnahme und grundsätzliche Maßnahmenempfehlungen, Fachhochschule Erfurt, Berichte des Instituts Verkehr und Raum, Band 3, 2008

[SCHOLZ, GEORG (2015)]: Simulation Telematisch gesteuertes Kompaktparken am Beispiel der Tank- und Rastanlage Jura-West, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Stand 24.04.2015

[SCHONEBOOM, SCHOLZ (2014)]: Telematisch gesteuertes Kompaktparken, Erweitertes Lastenheft, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Stand 10.06.2014

[SIEMENS (2014)]: CONDUCT+ Unterzentrale, Lkw-Parkleitsystem, Schnittstellenbeschreibung Datenbank, Siemens Aktiengesellschaft, Stand 2014

[SIEMENS (2015)]: Pflichtenheft Parkinfosystem Lkw, SITRAFFIC CONDUCT+, Siemens Aktiengesellschaft, Version 2.4, Stand 07/2015

[ZVM]: Autobahndirektion Südbayern, Zentralstelle Verkehrsmanagement

Bilder

Bild 2-1: Aufbau Simulationsnetz Kompaktparken VISSIM 6 (Fraunhofer)

Bild 2-2: Arbeitsblatt Fahrzeuge

Bild 2-3: Synthetisch erzeugte Fahrzeugdaten

Bild 2-4: Häufigkeitsverteilung der Verweilzeiten Referenzparkplatz

Bild 2-5: Häufigkeitsverteilung der Verweilzeiten Referenzparkplatz (Stundengruppen)

Bild 2-6: Parkdauerverteilung Referenzparkplatz

Bild 3-1: Endzustand Simulation Lasttest 11 Stunden (Δt 30 Minuten)

Bild 3-2: Häufigkeitsverteilung Abweichung Verweilzeit

Bild 3-3: Häufigkeitsverteilung Abweichung Verweilzeit

Bild 3-4: Initialer Zustand Simulation Referenzparkplatz Montag 11:00 Uhr

Bild 3-5: Fahrer ohne passendes Angebot abhängig von der gewünschten Verweildauer in Stunden

Bild 3-6: Zustand Simulation Referenzparkplatz Dienstag 01:00 Uhr

Bild 3-7: Zustand Simulation Referenzparkplatz Mittwoch 01:00 Uhr

Bild 3-8: Zustand Simulation Referenzparkplatz Donnerstag 01:00 Uhr

Bild 3-9: Zustand Simulation Referenzparkplatz Freitag 01:00Uhr

Bild 3-10: Fahrer ohne passendes Angebot abhängig von der gewünschten Verweildauer in Stunden (Variante)

Bild 3-11: Detail Fahrer ohne passendes Angebot abhängig von der gewünschten Verweildauer in Stunden (Variante)

Bild 3-12: Zustand Simulation Referenzparkplatz Dienstag 01:00 Uhr (Variante)

- Bild 3-13: Zustand Simulation Referenzparkplatz
Mittwoch 01:00 Uhr (Variante)
- Bild 3-14: Zustand Simulation Referenzparkplatz
Donnerstag 01:00 Uhr (Variante)
- Bild 3-15: Zustand Simulation Referenzparkplatz
Freitag 01:00 Uhr (Variante)
- Bild 4-1: Lasersensoren zur Ermittlung der
Restlängen [ZVM]
- Bild 4-2: Parkstandreihe [ZVM]
- Bild 4-3: Infosteile [ZVM]
- Bild 4-4: Infotafel [ZVM]
- Bild 4-5: Überblick Parkbereich Kompaktparken
[ZVM]
- Bild 4-6: Überblick Komponenten Kompaktparken
[ZVM]
- Bild 5-1: Belegung Kompaktparken Jura West
August 2017
- Bild 5-2: Gesamtbelegung Rastanlage Jura West
August 2017 [ZVM]
- Bild 5-3: Auswertung Belegung Bereich
Kompaktparken Jura West August 2017
- Bild 5-4: Beispiel Befüllung Kompaktparken bis
20:00 [ZVM]
- Bild 5-5: Beispiel Befüllung Kompaktparken bis
24:00 [ZVM]
- Bild 5-6: Parkverhalten der Lkw-Fahrer
- Bild 5-7: Parkverhalten für die Nacht vom
01. auf den 02. August 2017
- Bild 5-8: Nachfrage Parkdauer Stundengruppen
um 00:00 Uhr
- Bild 5-9: Beispiel Anzeige [ZVM]

Tabellen

- Tab. 2-1: Parameter der Simulation (Arbeitsblatt
'Zustand')
- Tab. 2-2: Beispiel Tagesprofil (gewünschte)
Verweildauer Lkw-Fahrer
- Tab. 3-1: Profil (gewünschte) Verweildauer
Lkw-Fahrer Lasttest 1
- Tab. 3-2: Endzustand Simulation Lasttest
11 Stunden (Δt 30 Minuten)
- Tab. 3-3: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest
11 Stunden (Δt 30 Minuten)
- Tab. 3-4: Endzustand Simulation Lasttest
11 Stunden (Δt 15 Minuten)
- Tab. 3-5: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest
11 Stunden (Δt 15 Minuten)
- Tab. 3-6: Profil (gewünschte) Verweildauer
Lkw-Fahrer Lasttest 2
- Tab. 3-7: Endzustand Simulation Lasttest 9 und
11 Stunden (Δt 30 Minuten)
- Tab. 3-8: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest
9 und 11 Stunden (Δt 30 Minuten)
- Tab. 3-9: Endzustand Simulation Lasttest 9 und
11 Stunden (Δt 15 Minuten)
- Tab. 3-10: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest
9 und 11 Stunden (Δt 15 Minuten)
- Tab. 3-11: Profil (gewünschte) Verweildauer
Lkw-Fahrer Lasttest 3
- Tab. 3-12: Endzustand Simulation Lasttest 3 bis
14 Stunden (30 Minuten)
- Tab. 3-13: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 3
bis 14 Stunden (30 Minuten)
- Tab. 3-14: Endzustand Simulation Lasttest 3 bis
14 Stunden (15 Minuten)
- Tab. 3-15: Abweichungen Abfahrtszeit Lasttest 3
bis 14 Stunden (15 Minuten)
- Tab. 3-16: Auslastung Referenzparkplatz
- Tab. 3-17: Vergleich Fahrer ohne passendes
Angebot
- Tab. 3-18: Auslastung Referenzparkplatz Variante
- Tab. 5-1: Auswertung Belegung Bereich Kom-
paktparken Jura West August 2017
- Tab. 5-2: Aufteilung der Lkw-Fahrer nach
Nationalitäten

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2015

V 261: Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung – Sicherheitsverbesserungen

Alrutz, Bohle, Busek € 16,50

V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50

V 264: Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00

V 265: Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken

Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckließ
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

V 266: Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität von Hauptverkehrsstraßen

Baier, Hartkopf € 14,50

V 267: Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen

Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 268: Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur

Hegewald, Fürneisen, Tautz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

V 269: Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften

Pohle, Maier € 16,50

V 270: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)

Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50

V 271: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur

Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen

Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00

V 273: Autobahnverzeichnis 2016

Kühnen € 25,50

V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen

Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00

V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen

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

V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer

Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50

V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

Kathmann, Roggendorf, Scotti
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014

Fitschen, Nordmann € 30,50

V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen

Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug, Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00

2017

V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren

Maier, Berger, Kollmus € 17,50

V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen

Lippold, Veters, Steinert € 19,50

V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten

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

V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz

Kamptner, Thümmeler, Ohmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung

Kleine, Lehmann € 16,50

V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle

Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

V 288: Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf

Roos, Zimmermann, Köhler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 289: Verkehrsqualität an verkehrsunabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen

Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

- V 291: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50
- V 292: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw**
Burg, Schrempp, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 293: **Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen**
Geistefeldt, Hohmann, Estel
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50
- V 294: **Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB**
Maibach, Tacke, Kießig € 15,50
- V 295: **Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss**
Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50
- V 296: **Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergroße**
Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 297: **Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen**
Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 298: **Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysensysteme**
Balck, Schüller, Balmberger, Rossol
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 299: **Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen**
Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- 2018**
- V 300: **Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten**
Werkenthin, Kluge, Wessolek
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 301: **Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**
Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 302: **Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**
Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 303: **Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**
Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50
- V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**
Fitschen, Nordmann € 31,00
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**
Hartmann, Londong € 16,00
- V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**
Lippold, Wittig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50
- V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50**
- V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**
Wang, Oeser, Steinauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 312: **Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**
Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- 2019**
- V 313: **Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50
- V 314: **Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50
- V 315: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung**
Kappich, Westermann, Holst € 15,50
-
- 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 03-63
- Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.
- www.schuenemann-verlag.de
- Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.