

# Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 286

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, partially overlapping a vertical white line that runs from the top to the bottom of the page.

# Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung

von

Jessica Kleine  
Rainer Lehmann

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 286

**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 Schünemann Verlag GmbH,  
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 F1100.6512004:**  
Telematisch gesteuertes Kompaktparken –  
Grundlagen und Entwicklung

### Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-309-1

Bergisch Gladbach, April 2017

## Kurzfassung – Abstract

### Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung

Durch das steigende Verkehrsaufkommen des gewerblichen Güterverkehrs auf den Bundesautobahnen ergeben sich insbesondere in den Nachtstunden Probleme für die Fahrzeugführer bei der Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Ruhezeiten. Als Folgen sind Überbelegungen in den Rastanlagen und gefährliches Abstellen der Fahrzeuge in den Zu- und Abfahrten von Rastanlagen zu beobachten. Neben Neu-, Um- und Ausbaumaßnahmen können telematische Systeme kurz- und mittelfristig eingesetzt werden, um eine bessere Verteilung der Nachfrage im Streckenabschnitt und eine Erhöhung der Parkkapazität für einzelne Rastanlagen zu erzielen.

In einem Projekt der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde ein neues Steuerungsverfahren „Telematisch gesteuertes Kompaktparken“ entwickelt (im Weiteren: Kompaktparken). Kompaktparken erreicht eine Kapazitätserhöhung durch die Umnutzung der Fahrgasse zwischen parallelen Parkflächen. Dazu parken mehrere Lkw ohne mittlere Fahrgasse zeitlich sortiert, kompakt hintereinander. Damit sich die Fahrzeuge bei der Abfahrt nicht behindern, ist ein zeitliches Sortieren erforderlich. Für das Kompaktparken ist charakteristisch, dass dies mithilfe von dynamischen Abfahrtszeitanzeigen über den Parkstandreihen erfolgt. Ankommende Fahrzeugführer sollen in der Parkstandreihe parken, in der die eigene geplante Abfahrtszeit angeboten wird.

Zur Entwicklung und zum Test eines möglichen Algorithmus für Kompaktparken wurde eine Nutzerschnittstelle programmiert, welche die errechneten Abfahrtszeiten und eine (theoretische) Belegung der Parkstandreihen abbildet. Die Nutzerschnittstelle kann genutzt werden, um einzelne Fahrzeuge per Mausklick auf einer virtuellen Rastanlage zu platzieren. Auf diese Weise konnten bestimmte Funktionalitäten und Varianten einer algorithmischen Umsetzung getestet werden.

Der Algorithmus im Steuerungsverfahren nutzt als Eingangsgröße den charakteristischen Verlauf der Parknachfrage im Güterverkehr. So nimmt die Wahrscheinlichkeit zum Abend hin zu, dass ein ankommender Lkw eine Aufenthaltszeit von 9 bis 11

Stunden auf der Rastanlage plant. Im Steuerungsverfahren werden anhand der typischen Parknachfrage die voraussichtlich gewünschten Abfahrtszeiten abgeleitet und über dynamische Abfahrtszeitanzeigen über den Parkstandreihen angeboten. Wird eine Parkstandreihe vollständig belegt, so wird die dort angebotene Abfahrtszeit auf eine benachbarte, nicht vollständig belegte Parkstandreihe übertragen. Auf diese Weise können stark nachgefragte Abfahrtszeiten lange Zeit angeboten werden.

Bauliche und betriebliche Randbedingungen, auch um Fehlverhalten entgegen zu wirken, werden für eine praktische Umsetzung diskutiert. Dazu gehört die Bereitstellung von Informationen, welche Abfahrtszeiten (in welcher Parkstandreihe) noch verfügbar sind, und Belegungspläne, die darstellen, wann Lkw in den Parkstandreihen die Rastanlage verlassen werden.

Der vorliegende Bericht beschreibt die theoretischen Grundlagen und das Steuerungsverfahren.

### Intelligent controlled compact parking – fundamentals and development

The high volume of commercial freight transport on German motorways makes it difficult for truck drivers to find safe parking places especially for longer rest periods during the night. Even though expansions have been made to satisfy the demand, overcrowding and dangerous situations still occur as a result of vehicles parking in the entrance and exit roads of rest areas. In addition to long-term extension measures, intelligent transportation systems (ITS) can also be deployed in the short and medium terms in order to achieve an improved distribution of the demand and an increase in the capacity of rest areas.

The German Federal Highway Research Institute (BAST) developed a new control procedure, called “Intelligent Controlled Compact Parking” (hereafter referred to as “Compact Parking” for short), to achieve that trucks are parking in a compact way, side by side without driving lanes between trucks. Compact Parking offers a wide range of departure times on variable message signs. Drivers ought to

use the parking row where their intended departure time is offered.

To develop and test a possible algorithm for compact parking a user interface has been programmed, which maps the calculated departure times and a (theoretical) occupancy of the parking rows. The graphic user interface can be used to place individual vehicles on a virtual rest area at one click. In this way, certain functions and variants of an algorithmic implementation have been tested.

The algorithm of Compact Parking does not require the drivers to announce their actual departure times. Instead, the calculation of the contents of the variable message signs is based on an algorithm using knowledge about typical truck driver demand patterns (according to legal rest time regulations). So, for example, in the evening a lot of arriving drivers intend to park for about 9 to 11 hours. During operations the control system offers the departure times that are demanded for as long as possible. For this purpose the current departure times of fully occupied rows are shown on variable message signs of other neighbouring empty rows.

Important structural and operational constraints for practical implementation are given to avoid incorrectly parked vehicles. This includes the provision of information which departure times (in which parking row) are still available, and occupancy plans, which illustrate when trucks intend to leave the rest area.

The essay describes the newly developed control procedure "Compact Parking".

## Summary

### Intelligent controlled compact parking – fundamentals and development

Due to the high density of commercial freight transport on motorways in Germany it is often problematic for truck drivers to find safe parking places for longer rest periods during the night. Even though expansions have been made to satisfy the demand, overcrowding and dangerous situations still occur as a result of vehicles parking on the entrance and exit roads of rest areas. According to an investigation in 2013 by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs (BMVBS) about 11,000 truck parking spaces are missing in the vicinity of motorways in Germany (BMVBS, 2013). In addition to the extension and construction of new rest areas, intelligent transport systems (ITS) can also be deployed in order to achieve an improved distribution of the demand and an increase in the capacity of rest areas (BMVBS, 2012).

Compliance with European rules for maximum daily and fortnightly driving times (EU, 2006) contributes to road safety for all road users. In case there are not enough legally designated parking spaces available, road safety can be reduced by disorderly parking trucks (University of Wuppertal, 2003). Likewise accidents can be caused by fatigue or lack of attention (EVERS et al., 2006). Surveys prove that i.a. the traffic-related conditions have a significant influence on the vehicle driver. Named were poor parking options, the behaviour of other road users and a high level of traffic (Evers, 2009).

The “Masterplan Freight Transport and Logistics”, adopted in 2008 by the Federal Government, describes in action A3 the accelerated implementation of the expansion program to improve the parking offer of rest areas along the Federal Motorways (BMVBS, 2008c). ITS should be used in addition to expanding the rest areas which is strongly promoted. One goal of ITS is to increase the parking capacity by a different and more efficient use of the available space in the rest area – so called “special parking methods”.

The “special parking methods” allow an efficient use of space for parking. Due to the special positioning, the truck driving lanes can be dispensed and used as additional parking space.



Fig. 1: Rest area with special parking method (Photo: Highway Authority of Northern Bavaria)

ITS shall ensure an orderly access and departure of the trucks parked right next to and behind one another. Figure 1 shows the possible redesign of a rest area from conventional to a special parking method. In each parking row at least three trucks fit in succession.

In 2005 the first special parking methods control procedure was developed and called “Telematics Controlled Parking for Trucks” which was installed at the rest area Montabaur on the A3 motorway in Germany. Telematics Controlled Parking for Trucks showed for the first time that trucks can be parked sorted according to their departure time (FOLLMANN, MENGE, 2009). Telematics Controlled Parking for Trucks is subject to a patent (EP 1 408 455 B1, 2007). Until 2012 Telematics Controlled Parking for Trucks required all drivers entering their departure time and the length of the vehicle at a terminal in front of a barrier. Subsequently, on the basis of the input data and the actual situation at the rest area, a free parking row is assigned to the drivers. Since 2012 the vehicle length is automatically detected and just the departure time is to be entered manually by the users at the terminal.

The German Federal Highway Research Institute (BAST) developed another special parking methods control procedure called “Intelligent Controlled Compact Parking” (hereafter referred to as “Compact Parking” for short) to achieve that trucks are parking in a compact way, side by side and without a driving lane between trucks. Telematics Controlled Parking for Trucks and Compact Parking have a different control procedure and appearance. While Telematics Controlled Parking for Trucks assigns a parking row to the driver according to the input they made at an entry-terminal, Compact Parking deliberately leaves the choice of the

parking row to the drivers themselves. Drivers do not have to disclose their departure time to any system and they are not stopped by any barrier as Compact Parking offers a wide range of departure times on variable message signs. Drivers ought to use the parking row where their intended departure time is offered (see figure 2).

With the help of variable message signs (VMS) above the parking rows, the drivers receive the information which is necessary to park their vehicles in the right parking row. An arriving driver should park in that row which shows the driver's own planned departure time. If he does so, it can be assumed by the control procedure that the offered departure time is also the real departure time of the user and that the vehicles will be parked sorted according to the departure times.

The algorithm of Compact Parking does not require the drivers to declare their actual departure times. Instead of this, the calculation of the contents of the VMS is based on an algorithm using knowledge about typical truck driver demand patterns (rules for maximum daily and fortnightly driving times as defined in EU, 2006). Summarized the control system of Compact Parking is characterized as follows:

- Displayed departure times are sorted in direction of travel,
- Displayed departure times are updated periodically and when occupation changes relevantly,
- Displayed departure times can only be updated by later departure times

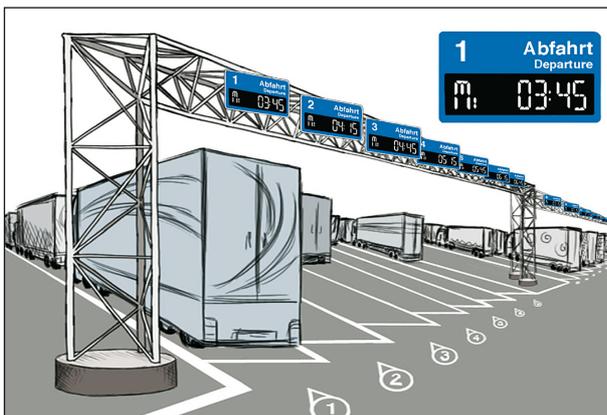


Fig. 2: Compact Parking variable message signs (BAST)

- Requested departure times (row is fully occupied) are offered in adjacent free rows,
- Offer of departure times depends on actual daytime,
- Special departure times are offered on weekends and public holidays (parking until morning of next working day).

When the system is initialised, typically demanded departure times are displayed above empty rows of parking lots. During operations the control system offers departure times that are demanded as long as possible. For this purpose the current departure times of fully occupied rows of parking lots are shown on VMS of other adjacent empty rows. If the parking area is nearly empty, the system is able to offer a wide range of departure times. If, however, the parking area is nearly occupied, offered departure times are reduced to the most demanded.

Figure 3 shows how Compact Parking works by taking a section of a parking area with four parking rows as an example. The parking duration is always calculated in relation to the current time and the departure times are shown on the VMS. Figure 3 shows at 8.00 pm current time departure times between 6.00 am and 7.30 am on the basis of the anticipated demand. This is a parking duration between 10 and 11.5 hours during the night. A time update is parameterized and scheduled for every 15 minutes, resulting in the VMS in Figure 3 changing at 8.15 pm. If a row is fully occupied as shown for 8.21 pm, the corresponding departure time of 7.15 am is transferred to the neighbouring row 7 that is still available for the truck drivers. All

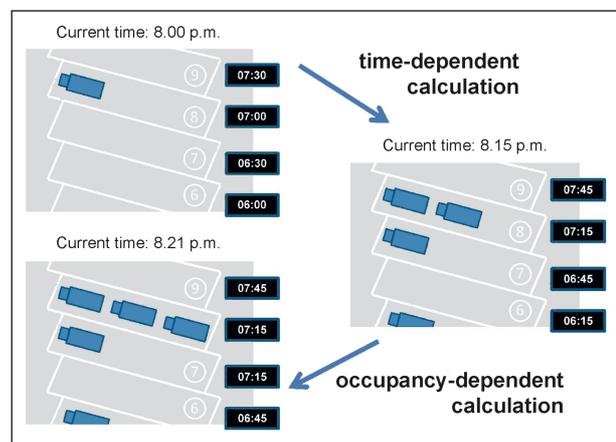


Fig. 3: Time and occupancy-related calculation of the VMS (Own illustration)

departure times are to be transferred to the next row. This means that the departure time 6.15 am is no longer available or displaced to row 5 if possible. The assumption is that the times of empty rows or at the fringe are not demanded as much as others.

Compact Parking includes short time parking and long time parking. Short time parking means, that the parking duration is less than three hours. Long time parking is more than three hours. An arriving driver shall park in the row where the VMS displays the driver's own planned departure time. The responsibility of selecting a suitable parking row does not lie within the control procedure but with the drivers. The control procedure merely calculates a demand-related offer and distributes the departure times on the VMS above all parking rows. The interaction between the user and the supporting control procedure is demonstrated in Figure 4.

The control procedure tolerates certain misconduct of truck drivers. In practice it cannot be excluded that a driver chooses a parking row that does not fit the intended departure time. The parts of Figure 4 with the blue colored background are concerned with the activities of the truck driver. If a truck driver does not find a suitable row he might look for an alternative and park in an empty row in the first position if possible. In case a later departure time is shown in this row than the parked vehicle intended, this does not lead to system malfunction. If a truck is parked in an empty row and stays longer than the departure time displayed on the VMS other vehicles behind in the same parking row might be hindered to leave the rest area at their planned departure time. Depending on the occupancy they might either reverse out of the parking row or use empty neighbouring parking rows to circumnavigate the wrongly parked vehicle. If necessary the wrongly parked vehicle has to leave the rest area earlier. If he parks in an already partially occupied row in which the vehicles in front have a later departure time and behave correctly according to the system, it is the drivers own fault that he is prevented from leaving the rest area at his preferred time.

A software tool was implemented by BAST to be able to approve the functionality of the algorithm. The tool can be controlled via a graphic user interface (GUI) as shown on the right part of Figure 4. This also enables to check out the influence of changing parameters.

The intelligent control of the VMS necessitates the use of detection technology; it is possible to measure the remaining length per row e.g. with laser detection. The detection system does not need to have a high accuracy because the control procedure only needs information whether at least one truck can park in a row or not. If the remaining length is less than round about 65 ft/20 m, the departure time of that row will be shown on the VMS of a neighbouring (still) empty row.

If a single detector fails, the control procedure will treat this row as if it was fully occupied. This means that the VMS of an adjacent row will show the same departure time. In practice this departure time will be displayed in the row with the defective detection and in the adjacent row with intact detection. Both rows can be used for parking and the detection failure does not result in the loss of parking capacity. So the control procedure is robust against failure detection. The detection technology can be mounted on steel tubular trellis girders so that the paved surface of the parking area does not have to be interfered with.

Corresponding assistance by means of internet-based media should be provided to the user. In order to achieve the best possible transparency for the user, up to date occupation information and the available departure times should be accessible via an internet portal at all times. This enables users to check the availability of parking positions in advance. If a driver unexpectedly changes the planned departure time, he can check the anticipated departure time of the vehicles that are parked in front or behind.

The first pilot installation is realized at the rest area Jura West (Figure 5) on the A3 motorway by the Bavarian Road Administration in cooperation with BAST. At the first step the existing truck parking area, consisting of 66 parking spaces for trucks/busses and a driving lane in between, was prepared for Compact Parking. Traffic islands were moved and reduced and the former driving lane was dedicated for parking issues. 35 parking rows with a length of 70 m were created. In case of three parked trucks per parking row the capacity can be raised e.g. up to 105 truck parking spaces.

The principles of compact parking described in this document have been incorporated into the preparation of the first practical application of

compact parking on the rest area Jura-West and have been accompanied by BAST. Compact Parking at the rest area Jura-West has been put into operation at the beginning of 2016 and will be evaluated scientifically during regular operation. Special interest is focused on user acceptance and efficiency.



Fig. 5: Compact Parking rest area Jura West (Photo: BAST)

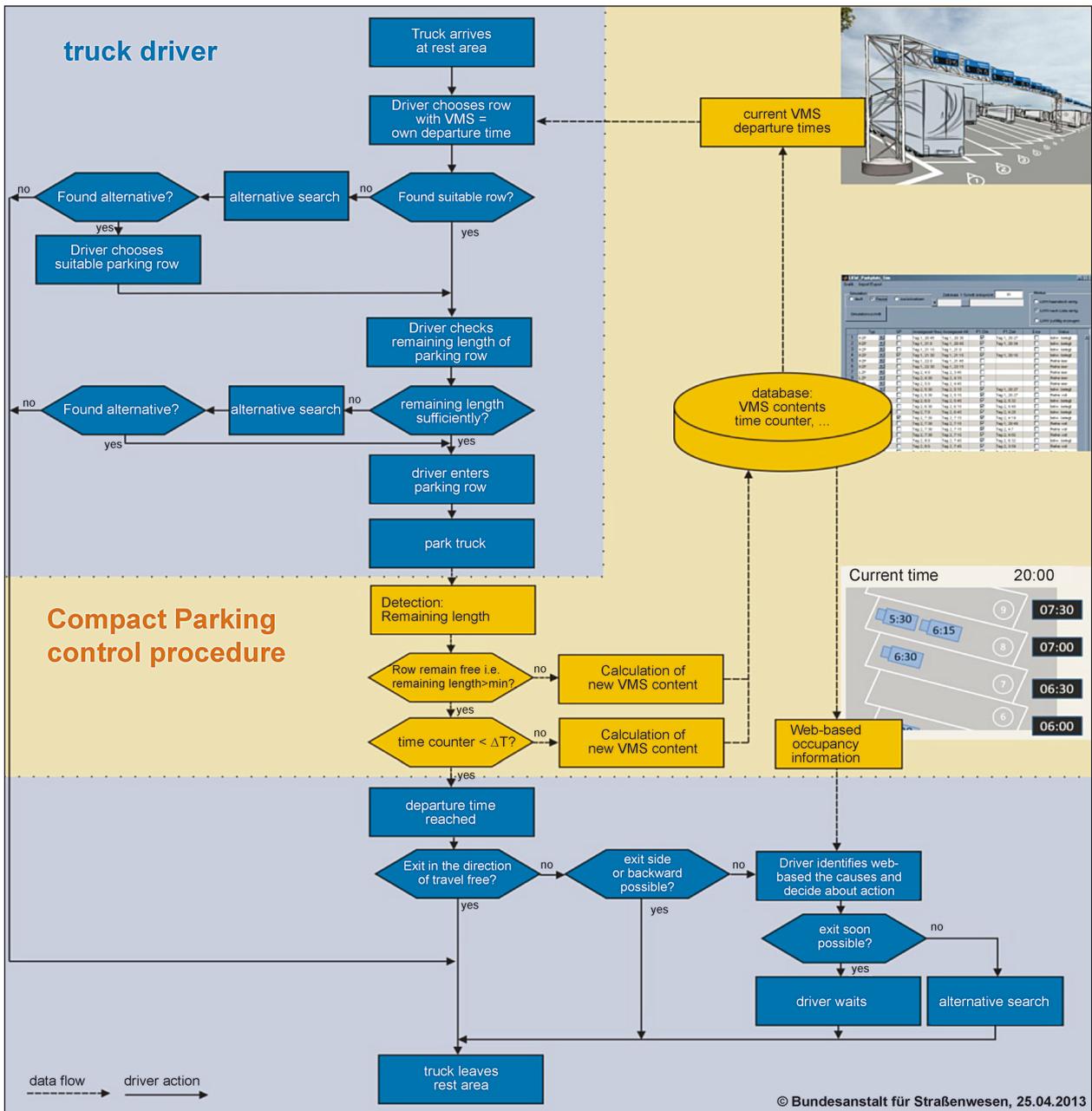


Fig. 4: Interaction between driver and control procedure

## Inhalt

<b>Abkürzungen</b> .....	10	3.4.2 Umgang der Steuerung mit kurzzeitigem Datenbankausfall. ....	36
<b>Glossar</b> .....	11	3.4.3 Umgang der Steuerung mit Sperrung einzelner Parkstandreihen .....	37
<b>1 Einleitung</b> .....	13	3.5 Anwendersicht .....	37
<b>2 Stand der Technik</b> .....	14	<b>4 Steuerungsalgorithmische Grundkonzeption</b> .....	38
2.1 Parkangebot .....	14	4.1 Komponenten des Kompaktparkens .....	38
2.2 Lkw-Parknachfrage .....	15	4.2 Betriebszustände .....	39
2.3 Beeinflussung des Lkw-Parkens .....	19	4.3 „Normalbetrieb“ Kompaktparken .....	41
2.4 Parkinformationen zur Verteilung der Parknachfrage .....	19	4.3.1 Strategiemodul .....	44
2.5 Erhöhung der Kapazität durch besondere Parkverfahren .....	21	4.3.2 Optimierungsmodul .....	47
2.5.1 Konventionelle Parkstandordnung .....	21	4.3.3 Kernmodul .....	48
2.5.2 „Telematisch gesteuertes Lkw-Parken“ .....	22	4.3.4 Dynamische Schwerpunktreihe .....	49
2.5.3 Kompaktparken .....	23	4.3.5 Berechnung der Abfahrtszeitanzeigeninhalte beim Kurzzeitparken .....	51
<b>3 Grundlagen des telematisch gesteuerten Kompaktparkens</b> .....	24	4.3.6 Berechnung der Abfahrtszeitanzeigeninhalte beim Langzeitparken .....	51
3.1 Grundprinzip .....	24	4.3.7 Berechnung der Abfahrtszeiten für Sonn- und Feiertagsparken (SFP) .....	55
3.2 Zeitabhängige Berechnung der Abfahrtszeiten .....	27	4.3.8 Bereichsabgleich .....	55
3.2.1 Lenk- und Ruhezeitverordnung .....	27	4.3.9 Modul für strategische Abfahrtszeitanzeigen .....	56
3.2.2 Erhebungsdaten zu Aufenthaltszeiten .....	27	4.4 Konfiguration und Parameter .....	56
3.2.3 Abgeleitete Steuerungsanforderungen .....	30	4.5 Initialisierung .....	57
3.2.4 Abfahrtszeitanzeigen .....	31	<b>5 Diskussion der Randbedingungen für Kompaktparken</b> .....	58
3.3 Belegungsabhängige Berechnung der Abfahrtszeiten .....	33	5.1 Test und Entwicklung des Algorithmus .....	58
3.3.1 Steuerungsanforderungen .....	33	5.2 Hinweise zur Realisierung Kompaktparken .....	61
3.3.2 Anforderungen an die Detektionstechnik .....	33		
3.4 Erweiterte Funktionalität der Abfahrtszeitberechnung .....	36		
3.4.1 Umgang der Steuerung mit defekten Komponenten .....	36		

5.2.1	Systemumgebung Verkehrsrechnerzentrale . . . . .	61
5.2.2	Bauliche Anforderungen . . . . .	61
5.2.3	Elektrotechnische Ausstattung . . . . .	62
5.2.4	Öffentlichkeitsarbeit . . . . .	63
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . .</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>65</b>

## Abkürzungen

ABDN	Autobahndirektion Nordbayern
BAG	Bundesamt für Güterverkehr
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
DB	Datenbank
MDM	Mobilitäts Daten Marktplatz
MZP	Mittellange Parkzeitnachfrage
RA	Rastanlagen
SE	Softwareeinheit
SFP	Sonn- und Feiertagparknachfrage
SZP	statische Parkzeitnachfrage
TMC	Traffic Message Channel
TPEG	Transport Protocol Experts Group
VRZ	Verkehrsrechnerzentrale

## Glossar

### Abfahrtzeitanzeigen

stellen bei der Einfahrt in eine Parkstandreihe die Zeit dar, bis zu deren Erreichen, die Parkstandreihe verlassen werden soll.

### Aufenthaltszeit

die rechnerische Zeit zwischen Einfahrt und Ausfahrt auf eine Rastanlage

### Belegungsplan

Der Belegungsplan zeigt den aktuellen Belegungszustand der Parkstandreihen. Bei jedem Parkvorgang wird die zu diesem Zeitpunkt angebotene Abfahrtszeit dieser Reihe gespeichert und ebenfalls dargestellt.

### Belegungszustand

Zustand einer Parkstandreihe, der das Vorhandensein von Fahrzeugen beschreibt. Belegungszustände ergeben sich aus der Restlängendetektion. Diese logischen Belegungszustände beschreiben, ob die Parkstandreihe „vollständig frei“ ist (d. h. es befindet sich kein Fahrzeug in der Parkstandreihe), die Parkstandreihe „frei“ ist (d. h. es kann mindestens ein weiterer Lkw in die Parkstandreihe einfahren und parken) oder die Parkstandreihe „vollständig belegt“ ist (d. h. es kann kein weiterer Bemessungs-Lkw in die Parkstandreihe einfahren und parken).

### Bemessungs-Lkw

Fahrzeug einer Länge von 18,75 m (FGSV, 2011)

### Betriebszustände

Die Kompaktparkensteuerung kann die Betriebszustände Aus, Halt, Initialisierung und Normalbetrieb annehmen

### Detektion

umfasst das Detektionsverfahren und die dafür eingesetzte Detektionstechnik zur Erfassung der Situation auf einer Rastanlage. Für das Kompaktparken ist eine Restlängendetektion, welche die verbleibende noch ungenutzte Länge jeder Parkstandreihe ermittelt, sinnvoll.

### Kolonnenparken

siehe Telematisch gesteuertes Lkw-Parken

### Konventionelle Parkstandordnung

Parkstandordnung nach „Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen“ (FGSV, 2011). Jeder Parkstand ist planerisch so angeordnet, dass dieser jederzeit befahren und verlassen werden.

### Kurzzeitparken (KZP)

Parkstandreihen, die für kurze Aufenthaltszeiten (< 3,5 h) vorgesehen sind, werden der Gruppe Kurzzeitparken zugeordnet. Für die Berechnung der Abfahrtszeiten in dieser Gruppe ist ein eigener Algorithmus vorgesehen.

### Langzeitparken (LZP)

Parkstandreihen, die für lange Aufenthaltszeiten (>3,5 h) vorgesehen sind, werden der Gruppe Langzeitparken zugeordnet. Für die Berechnung der Abfahrtszeiten in dieser Gruppe ist ein eigener Algorithmus vorgesehen.

### (Lkw-)Parkbereich

Ein Lkw-Parkbereich umfasst die für Lkw verkehrsrechtlich ausgewiesenen Parkstände und Fahrspuren zum Erreichen dieser Parkstände.

### Parkstand

ist ein verkehrsrechtlich ausgewiesener Ort zum Parken eines Fahrzeugs auf öffentlichem Grund (FGSV, 2012).

### Parkstandgruppe

Parkstandreihen können dynamisch zu logischen Parkstandgruppen zusammengefasst werden. Parkstandreihen einer Parkstandgruppe sollen unmittelbar zusammenhängend sein. Vorgesehen sind die Parkstandgruppe Kurzzeitparken und Langzeitparken. Weitere Parkstandgruppen können bedarfsgerecht definiert werden.

### Parkstandreihe

umfasst mehrere in Reihe nacheinander angeordnete Parkstände

**Restlänge**

die Länge der Parkstandreihe, die dem einfahrenden Lkw zum Parken zur Verfügung steht.

**SP**

Schwerpunkt. Die Schwerpunktreihe stellt eine Hilfsgröße im Berechnungsalgorithmus für die Abfahrzeiten dar.

**Telematisch gesteuertes Lkw-Parken**

Das Verfahren ist in der Patentschrift EP 1 408 455 B1 mit dem Titel „Anlage zur optimalen Ausnutzung des Parkraums von Parkplätzen für Kraftfahrzeuge“ (Patentblatt 2007/50, 2007) dargestellt.

## 1 Einleitung

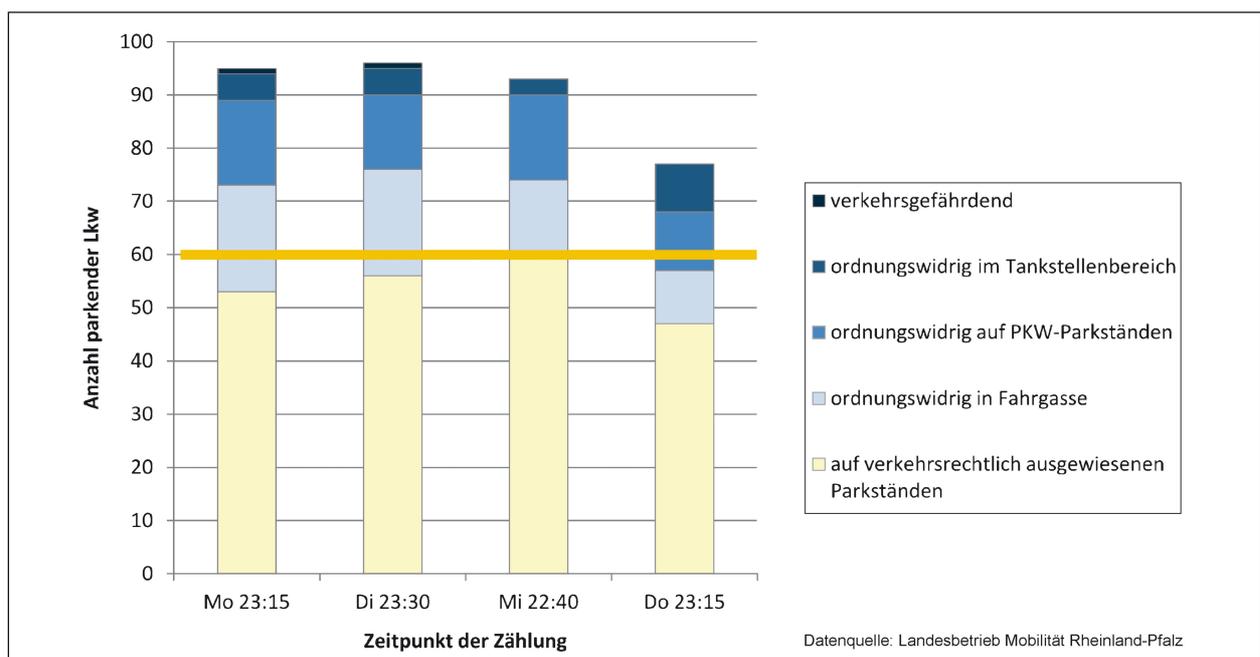
Anfang 2008 wurde auf Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS – seit 2013 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)) die Parksituation auf Autobahnen für Lkw bundesweit erhoben (BMVBS, 2008a). Das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) und die Straßenbauverwaltungen der Länder ermittelten dabei die zwischen 22:00 und 3:00 Uhr abgestellten Lkw auf bewirtschafteten und unbewirtschafteten Rastanlagen an Autobahnen (BAB) sowie auf den Autohöfen. Demnach fehlten etwa 14.000 Lkw-Parkstände im Bundesgebiet (BMVBS, 2008b). Auch im Rahmen einer erneuten bundesweiten Erhebung 2013 zeigte sich, dass trotz erheblichen Ausbaus zahlreiche Rastanlagen und Autohöfe in den Nachtstunden überfüllt waren. Demnach fehlen mindestens 11.000 Lkw-Parkstände an BAB (KATHMANN et al., 2014).

Die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Lenk- und Ruhezeiten trägt zur Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmer bei. Fehlen hierfür Parkstände, wird die Verkehrssicherheit insbesondere durch ordnungswidriges Parken von Lkw außerhalb der dafür vorgesehenen Parkstände reduziert (Bergische Universität Wuppertal, 2003). Ebenso können Unfälle auf Übermüdung und/oder mangelnde Aufmerksamkeit zurückgeführt werden (EVERS

et al., 2006). Befragungen belegen, dass u. a. die verkehrsbezogenen Rahmenbedingungen der Lkw-Fahrertätigkeit einen wesentlichen Belastungsfaktor für die Fahrzeugführer darstellen. Genannt wurden schlechte Parkmöglichkeiten, das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer und hohes Verkehrsaufkommen (EVERS, 2009).

Der 2008 beschlossene „Masterplan Güterverkehr und Logistik“ beschreibt in der Maßnahme A 3 die „Beschleunigte Umsetzung des Ausbauprogramms zur Verbesserung des Parkflächenangebots an Tank- und Rastanlagen der Bundesautobahnen“ (BMVBS, 2008c). Neben dem Ausbau der Rastanlagen, der verstärkt vorangetrieben wird, sollen auch telematische Systeme eingesetzt werden. Auch 2015 bekräftigt der „Aktionsplan Güterverkehr und Logistik“ die Notwendigkeit „zusätzliche Parkflächen an Bundesautobahnen [zu] schaffen“ (BMVI, 2015).

Detaillierte Erhebungen zur Parksituation zeigen das Potenzial für telematische Systeme. Wie beispielsweise in Bild 1 dargestellt, parken Fahrzeuge in den Zu- und Abfahrten der Rastanlage verkehrsgefährdend, obwohl freie Parkstände auf der Rastanlage vorhanden sind (im Bild 1: Kapazität 60 Lkw-Parkstände). Ordnungswidrig abgestellte Fahrzeuge in den Fahrgassen erschweren zusätzlich die Übersicht und Erreichbarkeit freier Parkstände. Mittels Parkinformationen sollen Lkw-



**Bild 1:** Parksituation auf der Rastanlage Hunsrück-West im Juni 2009 mit 60 verkehrsrechtlich ausgewiesenen Parkständen (Quelle: BAST)

Fahrer bei der Einfahrt in einen BAB-Streckenabschnitt mit telematischer Unterstützung zu einem geeigneten freien Parkstand geleitet werden. Damit dient Telematik besonders der Verteilung der Nachfrage auf die verfügbare Parkkapazität einer Strecke (KLEINE et al., 2014).

Ein weiteres Ziel ist es, mittels telematischer Einrichtungen die Parkkapazität durch die veränderte Nutzung der vorhandenen Fläche auf der Rastanlage zu erhöhen. Durch die besondere Aufstellungsweise der Lkw können Fahrgassen entfallen und als zusätzliche verkehrsrechtlich ausgewiesene Parkstände genutzt werden. Diese Systeme werden unter dem Begriff „Besondere Parkverfahren“ zusammengefasst.

Auf der Rastanlage Montabaur an der BAB A 3 wird seit 2005 das besondere Parkverfahren „Telematisch gesteuertes Lkw-Parken“ eingesetzt, welches die Parkkapazität der Rastanlage erhöhen soll. Innerhalb von Parkstandreihen mit einer Länge von ca. 60 m sollen Lkw dicht hintereinander parken, die zur selben Zeit oder später als die vor ihnen parkenden Lkw die Rastanlage verlassen wollen. Das Verfahren beruhte (bis zur Erweiterung im Jahr 2012) darauf, dass alle Fahrer vor einer Schranke an einem Terminal ihre Abfahrtszeit und die Fahrzeuglänge eingeben. Die Fahrzeuglänge wird inzwischen automatisch detektiert und muss von den Nutzern nicht mehr manuell eingegeben werden. Der Kern des Steuerungsverfahrens ist, dass den Fahrern auf der Grundlage ihrer eingegebenen Daten ein freier Parkstand in einer Parkstandreihe zugewiesen wird. Dabei berücksichtigt das Steuerungsverfahren die Abfahrtszeiten und die Standorte bereits parkender Fahrzeuge (FOLLMANN, MENGE, 2009).

Ein anderes von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Jahr 2009 entwickeltes Verfahren zur Erhöhung der Kapazität der Rastanlage ist das „Telematisch gesteuerte Kompaktparken“ (KLEINE, LEHMANN, 2009). Beim Kompaktparken parken Lkw ebenfalls in Parkstandreihen dicht hintereinander. Mittels dynamischer Abfahrtszeitanzeigen werden in freien Parkstandreihen voraussichtlich nachgefragte Abfahrtszeiten angeboten. Füllt sich der Parkbereich, wird das Angebot auf die am stärksten nachgefragten Abfahrtszeiten reduziert. Ankommende Fahrer entscheiden anhand ihrer geplanten Abfahrtszeit und ihrer Fahrzeuglänge selbst, wo sie parken möchten. Detektoren erkennen die vollständige Belegung einer Parkstandreihe,

sodass das Angebot der Abfahrtszeiten angepasst werden kann. Im Ergebnis parken die Lkw zeitlich sortiert hintereinander.

Basierend auf der Literaturanalyse von Nachfragedaten und gesetzlichen Grundlagen zu Lenk- und Ruhezeiten wurde der Steuerungsalgorithmus für Kompaktparken entworfen. Die Grundlagen sowie die Analyse vorhandener Nachfragedaten sind im Kapitel 2 zusammengefasst. Anschließend werden im Kapitel 3 die Grundfunktionen des Kompaktparkens vorgestellt. Dabei werden auch die Anforderungen, z. B. an die Detektion, erläutert, die sich aus dem Algorithmus ableiten lassen. Der Algorithmus zur Ermittlung der Abfahrtszeiten wird im Kapitel 4 ausführlich beschrieben. Kapitel 5 fasst weitere Randbedingungen für den Einsatz des Steuerungsverfahrens zusammen. Der Bericht beschränkt sich inhaltlich auf die Entwicklungsphase des Algorithmus. Gegenstand dieses Berichtes ist nicht die seitens der Autobahndirektion Nordbayern (ABDN) durchgeführte Umsetzung des Kompaktparkens auf der Rastanlage Jura (West) an der BAB A 3 in Fahrtrichtung Regensburg, welche 2016 für den Verkehr freigegeben wurde.

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Parkangebot

„Rastanlagen dienen notwendigen Fahrtunterbrechungen zur Erholung und Versorgung der Verkehrsteilnehmer auf dem Weg zum Fahrtziel und stellen Parkraum zur Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Lenkzeitunterbrechung und Ruhezeiten für Fahrpersonal zur Verfügung. Durch ihre Funktion leisten Rastanlagen einen wichtigen Beitrag zur Verkehrssicherheit“ (FGSV, 2011).

Bewirtschaftete und unbewirtschaftete Rastanlagen sowie Autohöfe bilden das Parkangebot, das allen Verkehrsteilnehmern zur Verfügung steht. Die Planung der Rastanlagen zielt u. a. auf ein bedarfsgerechtes Angebot an Parkständen bei angemessenen Investitions-, Erhaltungs- und Betriebskosten ab. Daraus ergeben sich unter anderem Regelabstände von Rastanlagen (FGSV, 2011):

- zwischen bewirtschafteten Rastanlagen ca. 50-60 km,
- zwischen unbewirtschafteten Rastanlagen ca. 15-20 km.

Zu Ermittlung der Anzahl erforderlicher Lkw-Parkstände stehen Bemessungsverfahren zur Verfügung. Unter anderem werden dabei die Streckencharakteristik, ggf. die erhobene tatsächliche Nachfrage im Streckenabschnitt sowie die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke im Schwerverkehr berücksichtigt. Die Bemessungsverfahren unterliegen fortlaufenden Weiterentwicklungen (FGSV, 2011).

Deutschlandweit standen an Autobahnen im Jahr 2008 auf Rastanlagen ca. 28.500 verkehrsrechtlich ausgewiesene Lkw-Parkstände und auf Autohöfen ca. 17.900 Lkw-Stellplätze zur Verfügung. Seinerzeit standen auf Rastanlagen und Autohöfen insgesamt 46.400 Lkw-Parkstände einem Kapazitätsdefizit von ca. 14.000 Lkw-Parkständen gegenüber. Zusätzlich wird ein steigender Bedarf für die Jahre von 2015 bis 2025 von 8.000 Lkw-Parkständen entlang der Autobahnen prognostiziert. Daraus leitete sich das Ziel ab – vorbehaltlich der notwendigen Baurechtsverfahren – für den Zeitraum von 2013 bis 2015 weitere 10.000 Lkw-Parkstände zu schaffen (BMVBS, 2012).

Erhebungen im Jahr 2013 bezifferten das Parkangebot auf insgesamt 60.410 Parkstände. Auf Rastanlagen standen 40.115 verkehrsrechtlich ausgewiesene Lkw-Parkstände und auf Autohöfen 18.765 Lkw-Stellplätze zur Verfügung. Hinzu kamen 629 Parkstände auf 7 Grenzzollanlagen sowie 901 Stellplätze auf 42 sonstigen Flächen neben der BAB. Das Kapazitätsdefizit wird mit 10.933 angegeben (KATHMANN et al., 2014).

## 2.2 Lkw-Parknachfrage

Neben der Erhebung der Parknachfrage für das gesamte BAB-Netz, für einzelne Streckenabschnitte und auch gezielt für eine Rastanlage interessiert bei der Literaturlauswertung, ob sich auch ein typisches Parknachfragemuster ergibt.

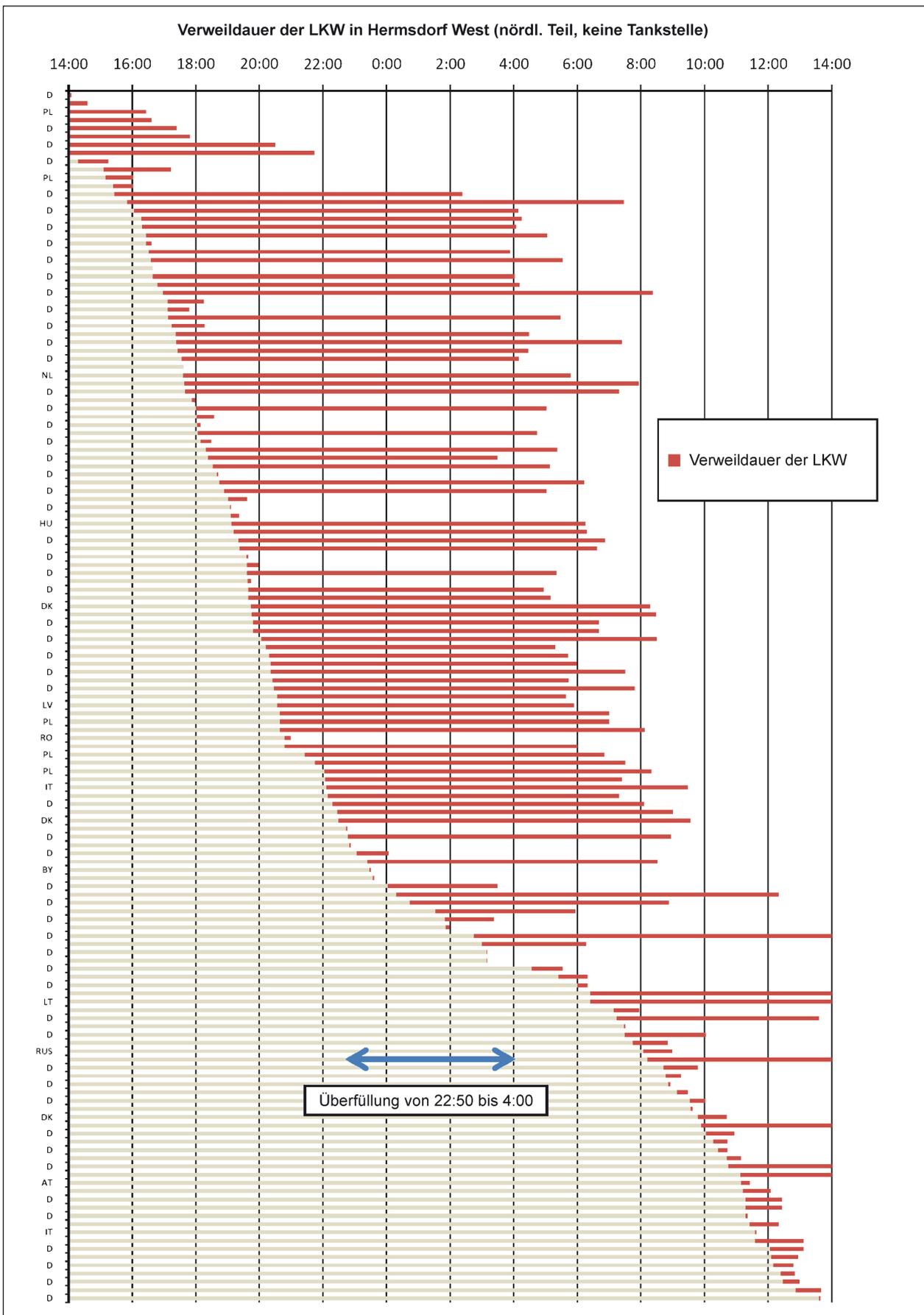
Im Oktober und November 2007 wurde in Thüringen für Rastanlagen an den BAB A 4, A 9 und A 71 die Nachfragesituation auf Rastanlagen detailliert erhoben. Für fünf ausgewählte Rastanlagen wurden ebenfalls Tagesganglinien ermittelt (vgl. LÜTTMERTING, 2008). Die Tagesganglinien bestätigen die Annahme, dass in den Nachtstunden die höchste Parknachfrage besteht (Bild 3). Da die Höhe des Anstieges der Tagesganglinien in den frühen Abendstunden am größten ist, ist hier mit erheblichen Parksuchverkehr zu rechnen.

Die Erhebungen für die Rastanlage Hermsdorf-West wurden dahingehend analysiert, welche Aufenthaltszeiten die eingefahrenen Fahrzeuge haben (Bild 2). Es wird deutlich, dass in dieser Erhebung die Mehrheit der Aufenthaltszeiten über neun Stunden liegt. Zusätzlich können häufig kurze Aufenthaltszeiten bis etwa 60 Minuten beobachtet werden (LÜTTMERTING, 2008).

Umfangreiche Erhebungen (LEERKAMP et al., 2014) für mehrere Rastanlagen im Jahr 2013, welche der Erstellung von Tages-, Wochen und Jahresganglinien der Lkw-Parknachfrage dienen, zeigen ebenfalls deutlich die nächtlichen Nachfragespitzen. Die Erhebungen dienen weiterhin dazu, Aussagen über Aufenthaltszeiten zu gewinnen. Eingeflossen sind die Daten der manuellen Erhebung auf der und FCD-Daten über einen Zeitraum von 8 Monaten für die Wochentage Dienstag, Mittwoch und Donnerstag. Bild 5 zeigt die Ergebnisse beispielhaft für die Rastanlage Aachener Land Süd am 03./04.09.2013. Es wird deutlich, dass längere Aufenthaltszeiten ab 15:00 zu beobachten sind. Die FCD-Daten verdeutlichen jedoch auch, dass vereinzelte Fahrzeuge deutlich längere Aufenthaltszeiten von bis zu 3 Tagen haben. Ursachen hierfür werden in LEERKAMP et al. (2014) nicht ermittelt.

Die Tagesganglinien für Pkw und Lkw der Rastanlage Aachener Land in Bild 6 zeigen, dass ab ca. 18 Uhr die verkehrsrechtlich ausgewiesenen Parkstände gefüllt sind. Eine weitere Zunahme der Belegung erfolgt bis etwa 21 Uhr. Die Belegung bleibt bis ca. 3 Uhr konstant und nimmt ab diesem Zeitpunkt wieder ab. Die Auswertungen von Einfahrzeitpunkt und Aufenthaltszeit von Lkw sind in Bild 4 visualisiert. Bild 4 verdeutlicht, dass die typische Lkw-Parknachfrage hinsichtlich der Aufenthaltszeiten in vier Gruppen unterteilt werden kann (Datengrundlage siehe LEERKAMP et al. (2014)):

- Langzeitparken (über 9 Stunden Aufenthaltszeit): Insgesamt wurden von 507 manuell erfassten Lkw genau 100 Lkw mit langen Aufenthaltszeiten erfasst. Von den 100 Fahrzeugen parken 63 Lkw zwischen 9 und 12 Stunden. Nur 11 Fahrzeuge parken über 14 Stunden. Die längste gemessene Aufenthaltszeit in dieser Erhebung betrug knapp 19 Stunden.
- Mittellanges Parken (Aufenthaltszeit zwischen 3,5 und 9 Stunden): Diese Parknachfrage ist selten, da insgesamt von 507 Lkw nur 8 Lkw eine mittellange Aufenthaltszeit aufweisen.



**Bild 2:** Verweildauer der Lkw auf der Rastanlage Hermsdorf-West, am 11./12.12.2007 (LÜTTMERTING, 2008)

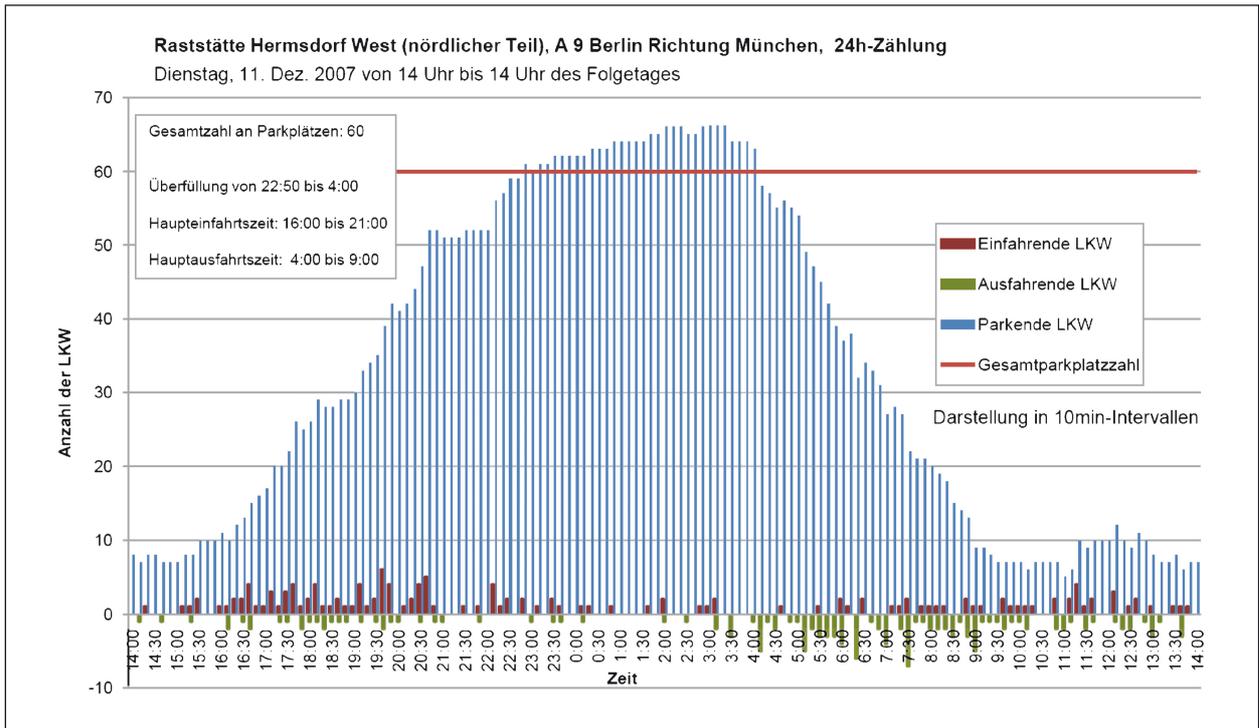


Bild 3: Tagesganglinie Rastanlage Hermsdorf-West am 11.12.2007 (LÜTTMERDING, 2008)

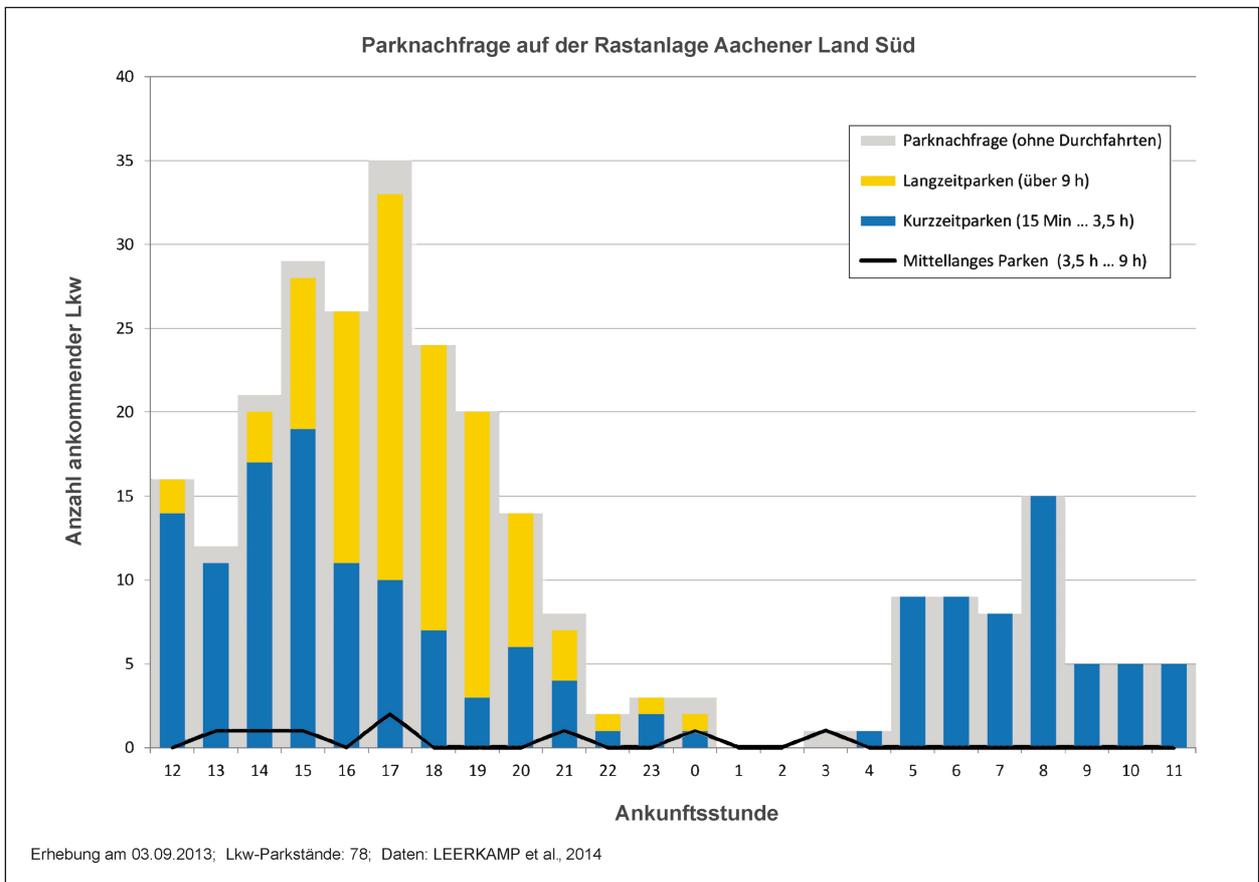
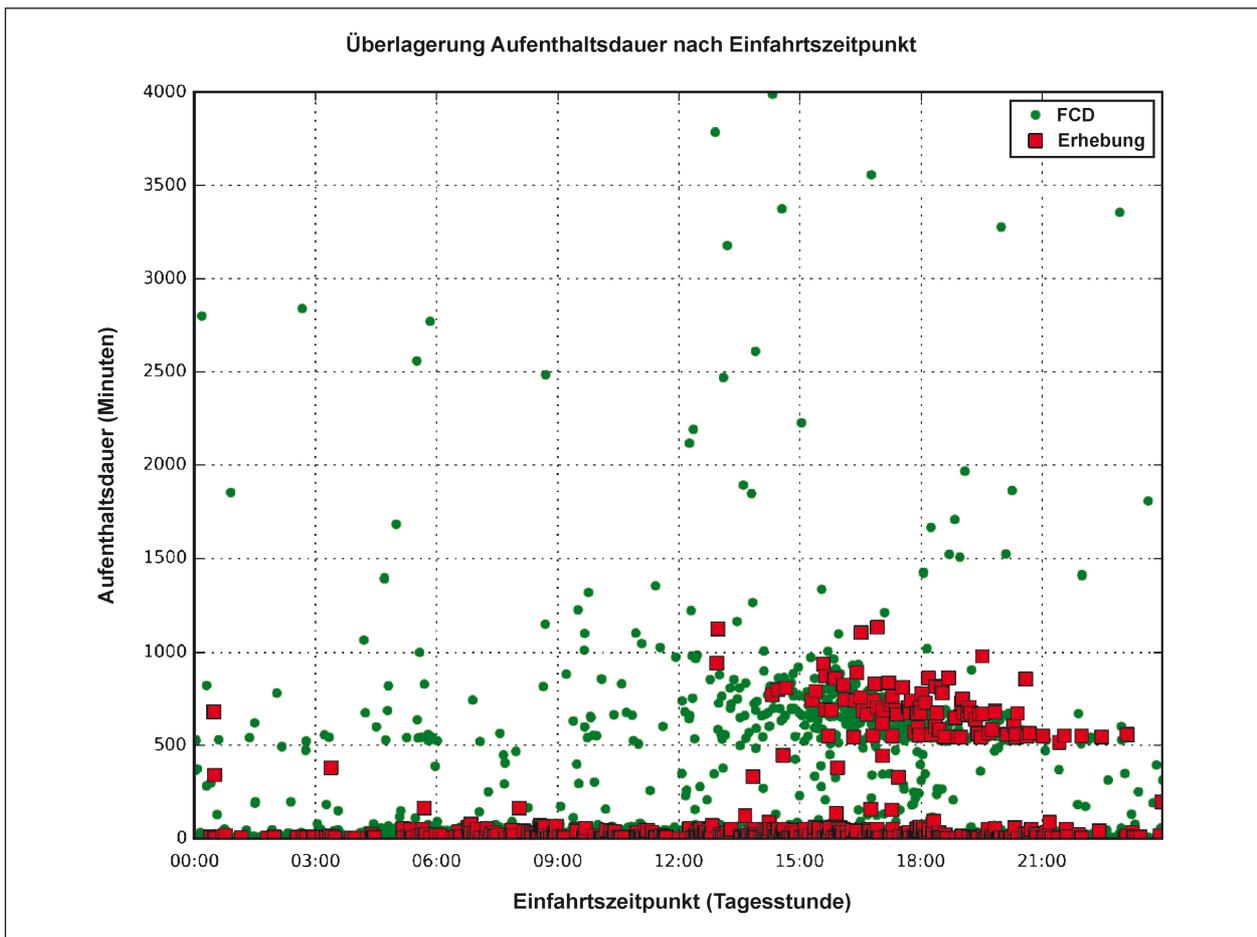
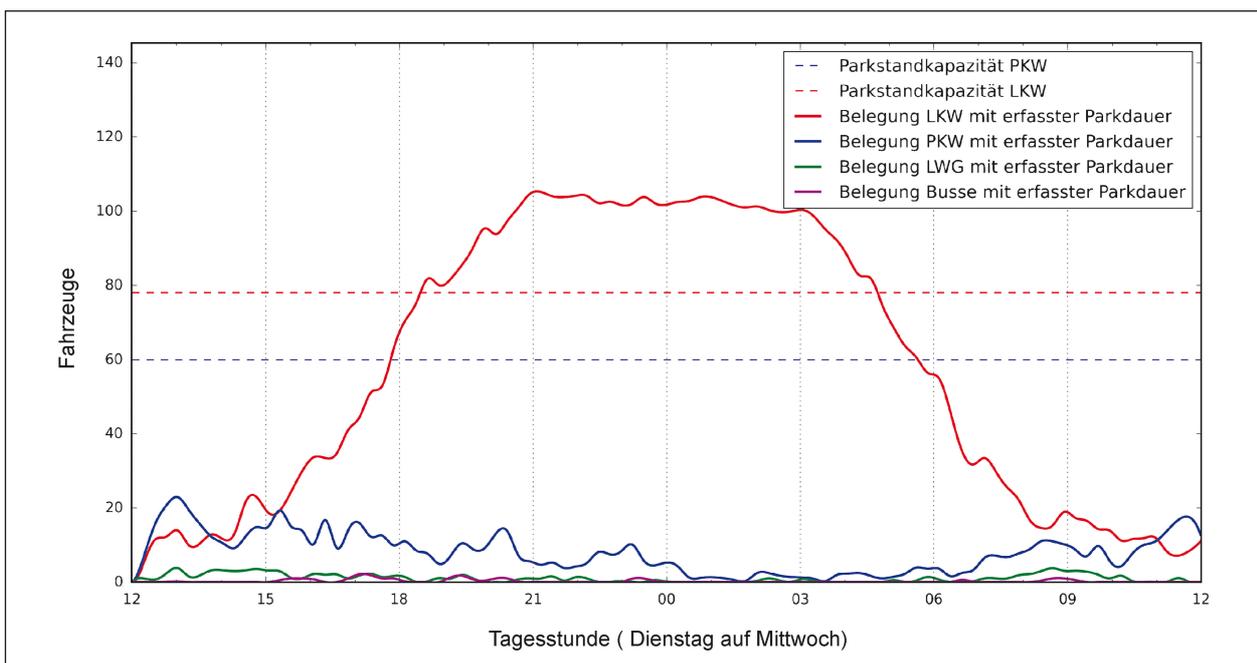


Bild 4: Aufenthaltszeiten auf der Rastanlage Aachener Land Süd, A 4, Sept. 2013 (Quelle: BAST)



**Bild 5:** Aufenthaltsdauer von Lkw (manuelle Erhebung und Auswertung FCD-Daten), RA Aachener Land Süd (LEERKAMP et al., 2014)



**Bild 6:** Tagesganglinie getrennt nach Fahrzeugtyp für Rastanlage Aachener Land Süd, Sep. 2013 (LEERKAMP et al., 2014)

- Kurzzeitparken (Aufenthaltszeit zwischen 15 Minuten und 3,5 Stunden): Von 507 Lkw haben 163 Lkw eine kurze Aufenthaltszeit.
- Durchfahrt: Aufenthaltszeiten unter 15 Minuten werden als Durchfahrt oder Tankvorgang bewertet und in der Ermittlung der Parknachfrage nicht berücksichtigt. Im Beispiel der Erhebung auf der Rastanlage Aachener Land Süd wurden von 507 beobachteten Lkw 236 Lkw als Durchfahrt eingeordnet.

### 2.3 Beeinflussung des Lkw-Parkens

Neben dem Ausbau der Rastanlagen sollen auch telematische Systeme eingesetzt werden, um die steigende Parknachfrage auf die vorhandenen Parkkapazitäten einzelner Streckenabschnitte zu verteilen bzw. um z. B. in Spitzenstunden neue Parkkapazität zu schaffen. Somit bestehen die Ziele des Einsatzes telematischer Systeme einerseits in der Verteilung der Nachfrage auf der Rastanlage selbst und auf benachbarte Anlagen mit Kapazitätsreserven. Andererseits wird eine Erhöhung der Kapazität durch die bessere Nutzung der vorhandenen Fläche auf der Rastanlage durch sogenannte besondere Parkverfahren erzielt (KLEINE et al., 2014).

#### Ziel 1 – Parkinformationen zur Verteilung der Parknachfrage

Die Reduktion des Parksuchverkehrs und eine bessere Nachfrageverteilung werden erzielt, indem die Lkw-Fahrer im Vorfeld über die freie Parkstandkapazität einer einzelnen oder mehrerer Rastanlagen eines Streckenabschnitts informiert werden. Die vorhandenen Kapazitäten einer Strecke werden besser genutzt, dadurch jedoch nicht erhöht (KLEINE et al., 2014).

Seitens der europäischen Kommission wird im Rahmen einer Verordnung zur ITS Richtlinie von „Prioritätszonen“ gesprochen, die dadurch charakterisiert sind, dass innerhalb eines BAB-Streckenabschnitts einige Rastanlagen häufig überbelegt sind, andere Rastanlagen im gleichen Streckenabschnitt zeitgleich jedoch noch freie Parkstände aufweisen. Es wird deutlich, dass durch Parkinformationen eine Verlagerung und damit die Reduktion ordnungswidrig oder verkehrsgefährdend parkender Fahrzeuge erreicht werden soll (Europäische Union, 2013).

#### Ziel 2 – Erhöhung der Kapazität auf einer Rastanlage durch besondere Parkverfahren

Unter dem Begriff besondere Parkverfahren werden telematische Lösungen zusammengefasst, die eine Erhöhung der Kapazität der Rastanlage ohne bauliche Erweiterung schaffen. Die hier bekannten Verfahren basieren darauf, dass Fahrzeuge nach Abfahrzeit sortiert möglichst unmittelbar hintereinander parken, sodass Fahrgassen als Teil des Parkraumes genutzt werden können (BMVBS, 2012).

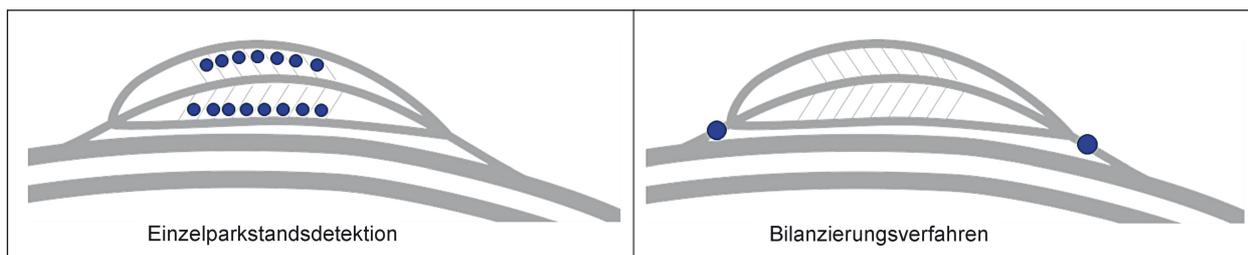
### 2.4 Parkinformationen zur Verteilung der Parknachfrage

Für telematische Systeme ergeben sich zur Verteilung der Parknachfrage aus technischer Sicht vier Verarbeitungsebenen: Detektion, Korrekturen (Plausibilität), Steuerungsverfahren und Kommunikation. Die Detektionstechnik beschreibt ein technisch-physikalisches System mit Ausgabe der erfassten verkehrstechnischen Kenngrößen (z. B. Fahrzeugart, Geschwindigkeit, ...). Diese können auf Plausibilität geprüft und ggf. geglättet oder mit Korrekturverfahren aufbereitet werden. Das Steuerungsverfahren wertet die verkehrstechnischen Kenngrößen der Detektion aus und berechnet Steuerungsgrößen. Mittels geeigneter Kommunikationsmedien werden dem Verkehrsteilnehmer ausgehend von den Steuerungsgrößen lenkende Parkinformationen zur Situation auf den Rastanlagen übermittelt. Möglicherweise werden die Parkinformationen z. B. durch Endgeräte weiter aufbereitet (im Sinne von Empfehlungen) oder nur dann dem Verkehrsteilnehmer dargeboten, wenn sie für ihn relevant sind (KLEINE et al., 2014).

Für die Datenerfassung auf Rastanlagen existieren bislang in der Praxis zwei Detektionsverfahren zur Ermittlung der Anzahl belegter Parkstände:

- direkte Messung mittels Einzelparkstandsdetektion,
- indirekte Erhebung mittels Bilanzierungsverfahren.

Die beiden Detektionsverfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Lage der Detektoren auf der Rastanlage (vgl. Bild 7). Bilanzierungsverfahren beruhen auf der Detektion im Ein- und Ausfahrtbereich, wohingegen bei der Einzelparkstandsdetektion die Belegung jedes einzelnen Parkstandes ermittelt wird (KLEINE et al., 2014).



**Bild 7:** Detektionsverfahren (BAST)

Bilanzierungsverfahren sind insbesondere für größere Rastanlagen eine – bezogen auf den einzelnen Parkstand – kostengünstige Detektionsmöglichkeit. Aussagen, ob die Fahrzeuge tatsächlich auf verkehrsrechtlich ausgewiesenen Parkständen stehen, sind jedoch bei diesem Verfahren nicht möglich. Die Anordnung der Detektoren in der Zufahrt zum Lkw-Parkbereich kann jedoch die Aussagegenauigkeit verbessern (KLEINE et al., 2014).

Die Einzelparkstandsdetektion erlaubt auch bei Ausfall eines einzelnen Sensors Aussagen zur Belegung der Rastanlage, jedoch steigen die Kosten mit der Ausstattung größerer Rastanlagen durch die hohe Anzahl erforderlicher Sensoren. Die Einzelparkstandsdetektion eignet sich zur Bestimmung belegter und freier verkehrsrechtlich ausgewiesener Parkstände einer Rastanlage. Fahrzeuge, die sich außerhalb dieser Parkstände befinden, können damit nicht erfasst werden (KLEINE et al., 2014).

Für die Datenübertragung von den Detektoren zur Streckenstation und in die Verkehrsrechnerzentralen ist die Definition der Datenprotokolle in den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (BAST, 2012) erforderlich, damit die auf der Rastanlage erhobenen Daten in den Verkehrsrechnerzentralen vorliegen und durch Steuerungsverfahren zu Parkinformationen aufbereitet werden können (KLEINE et al., 2014).

Parkinformationen für einzelne Rastanlagen umfassen derzeit nur die Angabe der Anzahl freier Parkstände auf der Rastanlage. Im Einzelfall kann dies auch ohne Einbindung in eine Streckensteuerung, d. h. ohne gezielte Verlagerung der Nachfrage auf benachbarte Rastanlagen, sinnvoll sein. So kann dies für (schlecht einsehbare) Rastanlagen erforderlich sein, bei denen trotz ausreichender Parkstandkapazität wiederkehrend beobachtet werden kann, dass zahlreiche Lkw im Bereich der Tank-

stelle und Einfahrt abgestellt werden (KLEINE et al., 2014).

Bei der Einzelparkstandsdetektion ergibt sich die Anzahl freier Parkstände unmittelbar aus der Detektion. Wird ein Bilanzierungsverfahren eingesetzt, muss die Anzahl freier Parkstände durch die Steuerung errechnet werden. Hierzu werden beim Bilanzierungsverfahren alle bis zum Zeitpunkt  $t$  (seit dem Start) eingefahrenen Fahrzeuge addiert und die Summe aller ausgefahrenen Fahrzeuge subtrahiert. Plausibilitätsverfahren reduzieren den Einfluss von Fehldetektionen (KLEINE et al., 2014).

Einen großen Beitrag zur Verbesserung der Nachfragesituation für Lkw-Parkstände an BAB könnten intelligente Streckensteuerungen leisten. Dazu müssten die Parkinformationen mehrere (ggf. alle) Rastanlagen eines Streckenabschnitts umfassen. Idealerweise würde eine Parkinformation besagen, welche Rastanlage über ausreichend freie Kapazität verfügt, insbesondere dann, wenn einzelne Rastanlagen im Streckenabschnitt bereits keine freien Parkstände mehr aufweisen. Hierzu gibt es aktuell noch keine praktische Anwendung (KLEINE et al., 2014).

Die Darstellung streckenbezogener Parkinformationen kann unter Berücksichtigung wahrnehmungspsychologischer Aspekte nicht nur durch Beschilderung an der BAB geleistet werden. Für Steuerungsverfahren ergeben sich daraus größere Spielräume, um aus der detektierten Nachfrage sinnvolle, streckenbezogene Informationen für verschiedene Kommunikationswege abzuleiten und dem Verkehrsteilnehmer im Fahrzeug bereitzustellen (KLEINE et al., 2014).

Mit dem MobilitätsDatenMarktplatz (MDM) sollen die gesamten Parkinformationen der Verkehrsrechnerzentralen Diensteanbietern bereitgestellt werden (MDM, 2011). Dieses Portal erlaubt z. B. Service Providern (individuelle Mobilitätsdienste), der öf-

fentlichen Hand (kollektive Verkehrsbeeinflussung) und den Rundfunkanstalten (Verkehrswarndienst) das Anbieten, Suchen und Abonnieren von verkehrsrelevanten Online-Daten, u. a. Daten und Parkinformationen von Rastanlagen. Seitens des MDM werden zukünftig Schnittstellen über das DATEX-II-Protokoll (siehe DATEX, 2013), zu allen Verkehrsrechnerzentralen des Bundes geschaffen (MDM, 2013).

Dienstanbieter können die Parkinformationen mithilfe der Übertragungsprotokolle TMC (Traffic Message Channel, vgl. CEN-EN-ISO 14819-1 (2003)) oder TPEG (Transport Protocol Experts Group, vgl. TISA (2013)) den Verkehrsteilnehmern bereitstellen. Bislang existiert jedoch keine automatische Steuerung für die Einbindung von Parkinformationen in diese Übertragungsprotokolle, sodass hier Entwicklungsbedarf besteht (KLEINE et al., 2014).

Das Übertragungsprotokoll TPEG bietet die (noch theoretische) Möglichkeit, umfassende Parkinformationen über den digitalen Rundfunk oder internetbasierte Mobilfunkkommunikation in die Fahrzeuge zu übermitteln. Zwingend erforderlich wird dann die Unterstützung des Fahrers im Umgang mit der Fülle an Verkehrs- und Parkinformationen durch spezielle Applikationen des Endgerätes. Dafür bedarf es geeigneter Flottenmanagement- und Navigationssysteme an Bord des Fahrzeuges, die diese Informationen aufbereiten und den Fahrer bei der Wahl der Rastanlage lenkend unterstützen (KLEINE et al., 2014).

Praktische Erfahrungen mit (dynamischen) streckenbezogenen Parkinformationen im Fahrzeug liegen zum Berichtszeitpunkt nicht vor. Der Entwicklungsbedarf ist in KLEINE et al. (2014) aufgeführt.

## 2.5 Erhöhung der Kapazität durch besondere Parkverfahren

### 2.5.1 Konventionelle Parkstandordnung

„Rastanlagen im Sinne der „Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen“ (ERS) sind Parkplätze für den Fernverkehr an öffentlichen Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften, die im Zuständigkeitsbereich des jeweiligen Straßenbaulastträgers liegen. Sie dienen notwendigen Fahrtunterbrechungen zur Erholung und Versorgung der Verkehrsteilnehmer auf dem Weg zum Fahrtziel und stellen Parkraum zur Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Lenkzeitunterbrechungen und Ruhezeiten für Fahrpersonal zur Verfügung“ (FGSV, 2011).

Es wird unterschieden zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Rastanlagen. Dabei umfassen bewirtschaftete Rastanlagen eine Verkehrsanlage (Anschluss an die Hauptfahrbahn, Durchfahrt, Ausfahrt und Zufahrt, Fahrgassen, Parkflächen, Gehwege sowie Trenn- und Freiflächen) und einen oder mehrere Nebenbetriebe (FGSV, 2011).

„Durch die Verkehrsführung soll eine gute Qualität des Verkehrsablaufes und eine hohe Verkehrssicherheit für alle Verkehrsarten erreicht werden. Aus diesem Grund ist in den Fahrgassen Einrichtungsverkehr erforderlich“ (FGSV, 2011).

Die Planungsrichtlinien sehen dabei Hin- und Rückfahrgassen (Rotunden) für Pkw und Lkw vor, um den Parksuchverkehr zu erleichtern, wenn mehr als eine Parkreihe für Pkw oder Lkw erforderlich ist. Parkstände für Lkw, Last- und Sattelzüge sind in der Regel in Schrägaufstellung mit einem Aufstellwinkel von  $\alpha = 50$  gon angeordnet. Die Abmes-

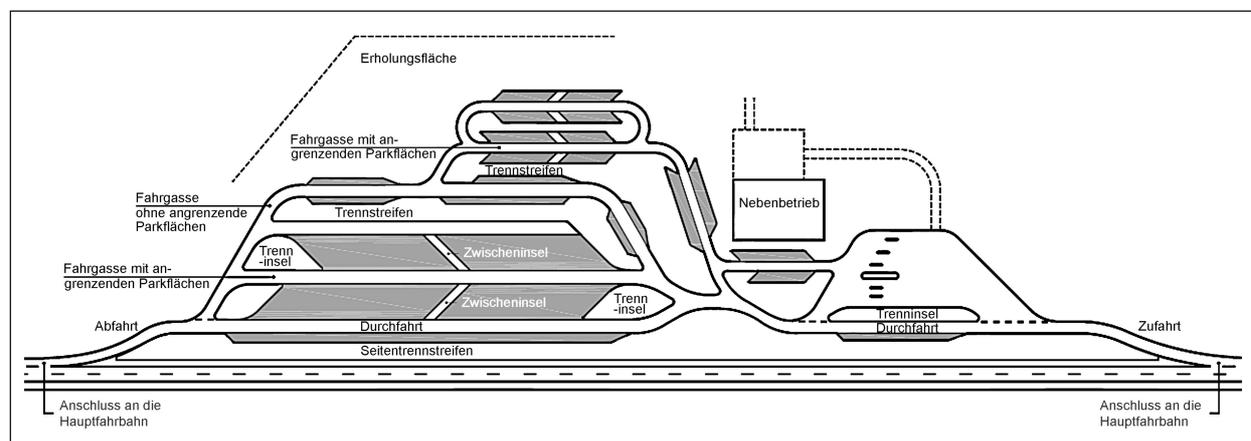


Bild 8: Bestandteile von Rastanlagen (FGSV, 2011)

sungen der Parkstände sind: eine Parkstandlänge  $L = 21,96$  m und eine Breite  $B' = 4,95$  m;  $B = 3,5$  m (FGSV, 2011).

Eine Parkstandordnung nach den ERS (FGSV, 2011) wird im Weiteren als „konventionelle Parkstandordnung“ bezeichnet. Charakteristisch ist, dass jeder Parkstand planerisch so angeordnet ist, dass dieser jederzeit befahren und verlassen werden kann. Die Kapazität einer Rastanlage bei konventioneller Parkstandordnung ergibt sich unmittelbar aus der Summe verkehrsrechtlich ausgewiesener Parkstände. Dem gegenüber stehen besondere Parkverfahren, welche den Einsatz von Telematischen Lösungen erfordern.

### 2.5.2 „Telematisch gesteuertes Lkw-Parken“ (Kolonnenparken)

Das in der Patentschrift EP 1 408 455 B1 (EP 1 408 455 B1, 2007) beschriebene besondere Parkverfahren „Anlage zur optimalen Ausnutzung des Parkraumes von Parkplätzen für Kraftfahrzeuge“ (im Weiteren bezeichnet mit „Telematisch gesteuertes Lkw-Parken“, in der Öffentlichkeit auch bekannt unter dem Begriff „Kolonnenparken“) ist dadurch charakterisiert, dass Lkw-Fahrern durch technische Unterstützung ein freier Parkstand zugewiesen wird. Dabei soll mit Kenntnis der Länge und Abfahrtzeit der Fahrzeuge ein hintereinander Aufstellen von Fahrzeugen, die zeitlich nacheinander abfahren, erzielt werden. Es sollen mehrere Lkw ohne Fahrgasse unmittelbar hinter- und nebeneinander parken. Der Nutzen des „Telematisch gesteuerten Lkw-Parken“ liegt somit in der Schaffung von zusätzlicher Parkstandkapazität ohne konventionellen Ausbau, da keine Fahrgasse zwischen parallelen Parkflächen erforderlich ist. Es ist beim „Telematisch gesteuerten Lkw-Parken“ nicht erforderlich, dass die parkenden Lkw-Fahrer aufrücken, wenn ein Parkstand vor ihnen in der Parkstandreihe frei wird (KLEINE et al., 2014).

Der Ablauf eines Belegungsvorgangs ist schematisch in Bild 11 dargestellt. Der Prozess eines Belegungsvorgangs mit einem Lkw auf der Rastanlage beginnt mit der Ankunft des Fahrers an einem Terminal (Bild 9), an dem der Fahrer seine Fahrzeuglänge und die geplante Abfahrtzeit eingeben muss, um den Parkbereich befahren zu können (EP 1 408 455 B1, 2007) Für einen reibungslosen Ablauf müssen die Angaben des Fahrers inhaltlich korrekt sein. Abschließend



**Bild 9:** Anfahrt Terminal auf Rastanlage Montabaur (Feb. 2014, Foto: BAST)

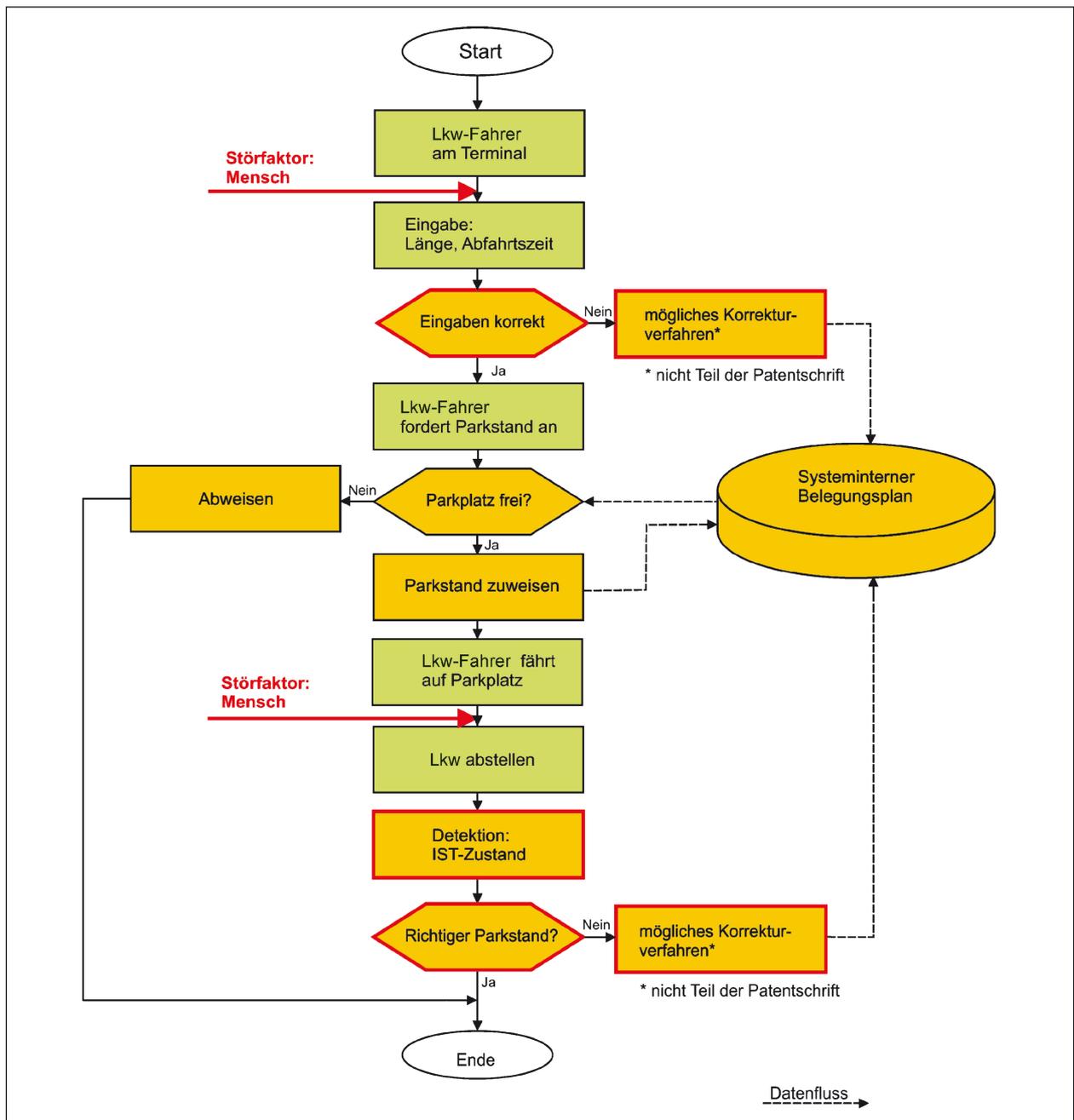


**Bild 10:** Belegung der Parkstandreihen auf Rastanlage Montabaur (26. Feb. 2014; 19:40 Uhr, Foto: BAST)

stätigt der Fahrer seine Eingaben und fordert einen Parkschein an (KLEINE et al., 2014).

Im Steuerungsrechner wird geprüft, ob ein Parkstand frei ist, der für das Fahrzeug eine ausreichende Restlänge bietet und ob die in der Parkstandreihe bereits parkenden Fahrzeuge eine frühere Abfahrtzeit haben. Ist ein geeigneter Parkstand auf der gesamten Rastanlage nicht zu finden, wird der Lkw-Fahrer mit seinem Fahrzeug abgewiesen (Schranke öffnet nicht/Ausfahrt über separate Fahrgasse). Andernfalls wird ihm eine geeignete Parkstandreihe zugewiesen und der Fahrer kann in den Parkbereich einfahren (Bild 10), (KLEINE et al., 2014) Am Terminal und auf einem Parkschein wird der Nutzer informiert, in welcher Parkstandreihe das Fahrzeug abgestellt werden soll (M+C Lkw-Parksysteme GmbH & CoKG, 2013).

Die praktische Erprobung des „Telematisch gesteuerten Lkw-Parken“ in der Entwicklungsstufe, wie sie in der Patentschrift EP 1 408 455 B1 dargestellt ist, begann 2005 auf der Rastanlage Montabaur. Fortlaufende Beobachtungen im praktischen Einsatz zeigte, dass vereinzelt Fahrer aus unterschiedlichen Gründen fehlerhafte Eingaben tätigten oder nicht die zugewiesene Parkstandreihe anfahren. Daraus lassen sich Ansätze für mögliche Korrekturverfahren entwickeln. Die Patentschrift EP 1 408



**Bild 11:** Schematische Darstellung eines Belegungsverganges beim „Telematisch gesteuerten Lkw-Parken“ (Quelle: BAST)

455 B1 enthält keine konkreten Ausführungen zu derartigen Korrekturverfahren.

2012 wurde begonnen, das „Telematisch gesteuerte Lkw-Parken“ auf der Rastanlage Montabaur mit neuer Detektion und überarbeiteter Steuerungssoftware für einen Automatikbetrieb ohne personelle Betreuung auf der Rastanlage zu ertüchtigen. Seither wird die Länge des Fahrzeuges automatisch detektiert. Ebenso wird die Zuweisung eines Parkstandes auch damit unterstützt, dass die zugewiesene Parkstandreihe mit einem grün leuchtenden Pfeil auf der zugehörigen dynamischen

Anzeige der Parkstandreihe zusätzlich verdeutlicht wird (KLEINE et al., 2014).

### 2.5.3 Kompaktparken

Parallel zum Pilotbetrieb des „Telematisch gesteuerten Lkw-Parken“ auf der Rastanlage Montabaur wurde ein weiteres Verfahren entwickelt, damit Lkw kompakt und unmittelbar hintereinander parken können. Erstmals vorgestellt wurde dieses Verfahren als „Telematisch gesteuertes Kompaktparken“ im Jahr 2009 (KLEINE, LEHMANN, 2009).

Kompaktparken unterscheidet sich von dem bestehenden Lösungsansatz „Telematisch gesteuertes Lkw-Parken“ dahingehend, dass allein der Nutzer durch sein Verhalten die Parkraumsteuerung beeinflusst, d. h. die Steuerung beeinflusst nicht die Nutzer durch Zuweisung einer Parkstandreihe.

Nutzern wird beim Kompaktparken kein Parkstand durch ein System zugewiesen, sondern das Parkraumangebot orientiert sich beim Kompaktparken ausschließlich an der detektierbaren Nachfrage der Nutzer. Das Steuerungsverfahren errechnet nachfrageabhängig ein Angebot und verteilt die Abfahrtszeiten über alle Parkstandreihen. Das Ziel bei der Entwicklung des Kompaktparkens ist es, das Verhalten eines Nutzers für andere Nutzer transparent und damit kalkulierbarer zu gestalten, in der Annahme dadurch die Akzeptanz besonderer Parkverfahren zu erhöhen. Gleichzeitig sollte die Verantwortung bei der Wahl einer Parkstandreihe ausschließlich dem Nutzer übertragen werden und nicht durch ein Steuerungssystem übernommen werden.

Für das technische Funktionieren der Steuerung beim Kompaktparken spielt es demnach keine Rolle, ob die vom Fahrer gewählte Abfahrtszeit (erkennbar durch dessen Wahl einer Parkstandreihe) inhaltlich korrekt ist. Das hieraus abgeleitete Grundprinzip und wesentliche Steuerungsalgorithmen des Kompaktparkens werden in Kapitel 3 vorgestellt.

## 3 Grundlagen des telematisch gesteuerten Kompaktparkens

### 3.1 Grundprinzip

Das Steuerungsverfahren für das Kompaktparken, welches für den Lkw-Parkbereich von Rastanlagen und Autohöfen konzipiert ist, zeichnet sich dadurch aus, dass mehrere Lkw nach Abfahrtszeit sortiert ohne Fahrgasse zwischen den Parkständen kompakt, d. h. unmittelbar hinter- und nebeneinander parken. Beim Kompaktparken können je nach vorhandener Anordnung, Ausrichtung und Länge der Parkstände mehrere gleichgerichtete Parkstände zu einer Parkstandreihe zusammengefasst werden. Jede Parkstandreihe besteht dann in der Regel aus drei Parkständen und ist somit ca. 60 m lang. Bild 12 zeigt exemplarisch für die Rastanlage Jura (West) an der BAB A 3 in Fahrtrichtung Regensburg eine mögliche Anordnung der Parkstandreihen unter Beachtung der bestehenden Ausrichtung der Parkstände. Die Breite der Parkstandreihen ist dabei identisch mit der Breite konventioneller Parkstände.

Bild 13 fasst die notwendigen baulichen Bestandteile für das Kompaktparken zusammen. Demnach sind die Parkstandreihen charakteristisch für das Verfahren. Die Gitterstahlrohrträger mit den dynamischen Abfahrtszeitanzeigen verlaufen einige Meter zur Fahrgasse versetzt über den hinteren Parkpositionen. Als vordere Parkposition werden



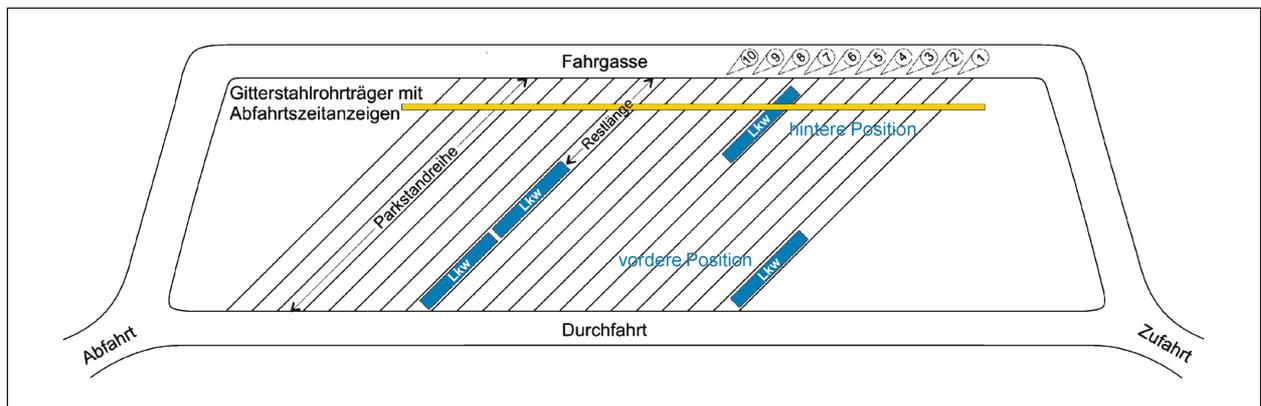
**Bild 12:** Parkstandreihen beim Kompaktparken mit Trenninseln (Quelle: ABDN)

die unmittelbar an der Durchfahrt angeordneten Parkstände bezeichnet. Die für den Algorithmus erforderliche Restlänge ergibt sich aus der Position des zuletzt in eine Parkstandreihe eingefahrenen Lkw und der Fahrgasse. Die Nummerierung der Parkstandreihen beginnt von der Zufahrt kommend mit 1 und endet mit der höchsten Nummer in Richtung Ausfahrt der Rastanlage.

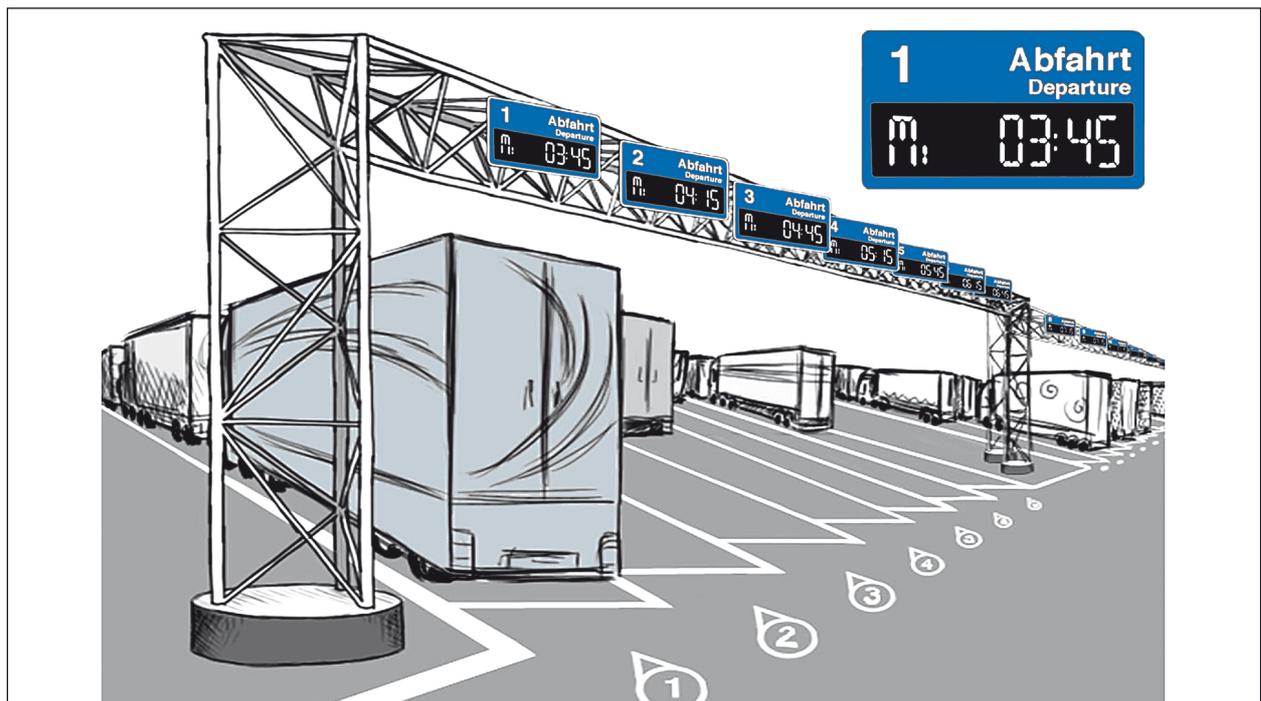
Um Behinderungen bei der Abfahrt zu vermeiden, sollen nur Fahrzeuge in einer Parkstandreihe parken, die die gleiche Abfahrtszeit haben oder später als die davor parkenden Fahrzeuge abfahren. Das Kompaktparken nutzt zu diesem Zweck Abfahrtszeitanzeigen oberhalb jeder Parkstandreihe (siehe Bild 14).

Ankommende Fahrzeugführer sollen mithilfe der Information auf den Abfahrtszeitanzeigen in der Parkstandreihe parken, in der die eigene geplante Abfahrtszeit angezeigt wird. Bei ausreichendem Befolungsgrad entspricht dann die angebotene Abfahrtszeit auch der tatsächlichen Abfahrtszeit der Fahrzeuge in der Parkstandreihe. Daraus können ankommende Fahrzeugführer auf die späteste Abfahrtszeit der Fahrzeuge, die bereits in einer Parkstandreihe parken, schließen (KLEINE et al., 2014).

Anders als beim „Telematisch gesteuerten Lkw-Parken“ erfolgt beim Kompaktparken keine Zuweisung einer Parkstandreihe seitens des Systems, sondern die Nutzer wählen anhand der angebotenen Abfahrtszeit und der verbleibenden Restlänge



**Bild 13:** Bauliche Bestandteile für das Kompaktparken – Begriffsbestimmungen (Quelle: BAST)



**Bild 14:** Kompaktparken mit dynamischen Abfahrtszeitanzeigen (Quelle: BAST)

eine geeignete Parkstandreihe selbst aus. Das Steuerungsverfahren vermittelt den Fahrern den Eindruck eines unterstützenden Instruments. Das heißt auch, dass keine Korrekturen für ein Fehlverhalten der Lkw-Fahrer im Steuerungsverfahren benötigt werden (KLEINE et al., 2014).

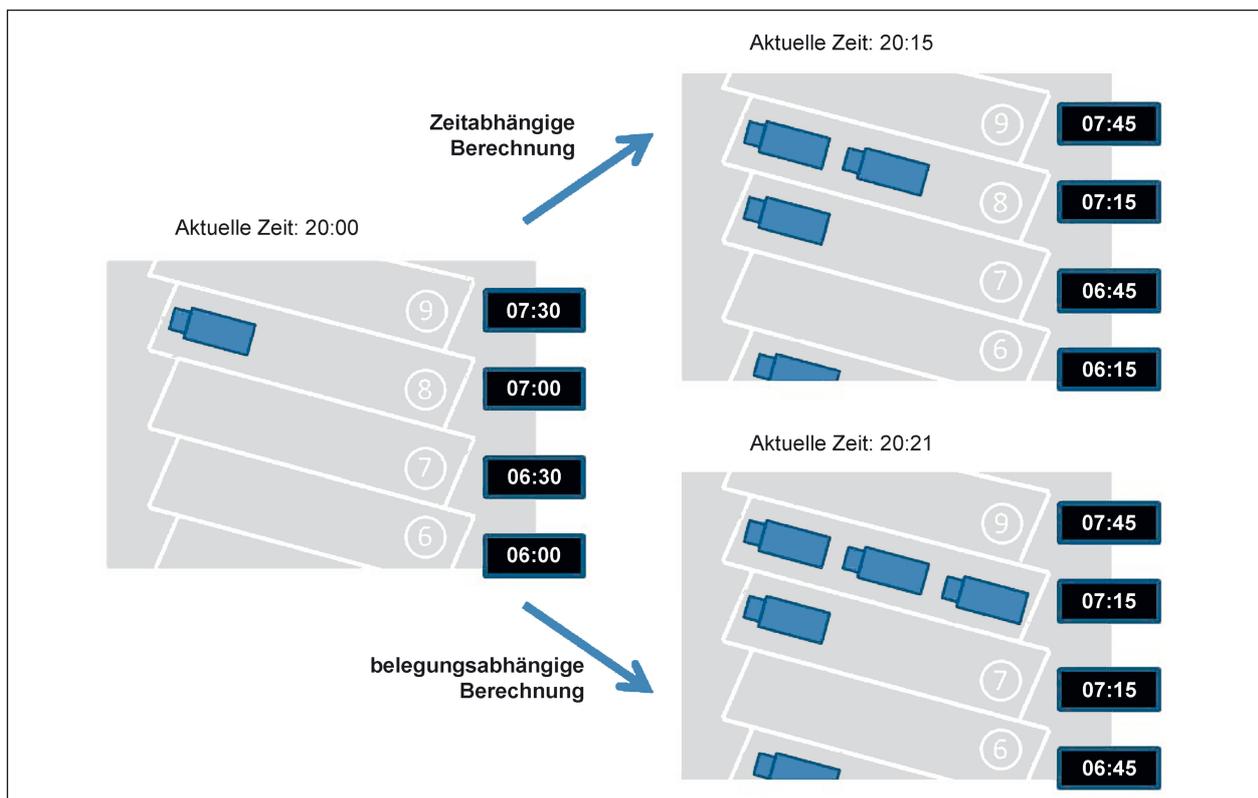
Die Berechnung der Abfahrtszeiten erfolgt zeit- und belegungsabhängig.

Die zeitabhängige Berechnung beruht auf dem Nachfragemuster, welches sich wiederum auf die gesetzlich vorgeschriebenen Ruhezeiten zurückführen lässt. Für die zeitabhängige Berechnung der Abfahrtszeiten je Parkstandreihe wird das typische Nachfragemuster im Güterverkehr zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 2.2).

Eine belegungsabhängige Berechnung erfolgt, wenn eine Parkstandreihe vollständig belegt wurde. Dazu muss die Detektionstechnik für jede Parkstandreihe mindestens die Erfassung der Belegung der hinteren Position ermöglichen. Wurde eine Parkstandreihe vollständig belegt, d. h. es kann kein 18,75 m langer Lastzug (vgl. Europäische Union, 1996) mehr in der Parkstandreihe parken, dann wird die Abfahrtszeit dieser Parkstandreihe auf eine benachbarte vollständig oder teilweise freie Parkstandreihe übertragen. Dabei muss die Steue-

rung stets beachten, dass in dieser Parkstandreihe vorher eine frühere Abfahrtszeit angeboten wurde, denn so haben auch die dort bereits parkenden Fahrzeuge eine frühere Abfahrtszeit und behindern nicht die ankommenden Fahrzeuge (KLEINE et al., 2014).

Bild 15 verdeutlicht die Funktionsweise der Steuerung für einen Ausschnitt des Parkbereichs mit vier Parkstandreihen. Die Aufenthaltszeit wird in Bezug zur aktuellen Uhrzeit umgerechnet und in Form von Abfahrtszeiten auf den dynamischen Abfahrtszeiten dargestellt. Um 20:00 Uhr werden in Bild 15 (links) ausgehend von der vermuteten Nachfrage die Abfahrtszeiten von 6:00 bis 7:30 Uhr angeboten (das entspricht einer Aufenthaltszeit von 10 bis 11,5 Stunden). Eine zeitliche Aktualisierung ist (parametrierbar) alle 15 Minuten vorgesehen und führt zu den veränderten dynamischen Abfahrtszeiten in Bild 15 (rechts oben) für den Zeitpunkt 20:15 Uhr. Dabei werden die angezeigten Abfahrtszeiten um 15 Minuten erhöht. Erfolgt die vollständige Belegung einer Parkstandreihe, wie in Bild 15 (rechts unten) für 20:21 Uhr dargestellt, so wird die zugehörige Abfahrtszeit 07:15 Uhr auf die benachbarte, noch freie Parkstandreihe 7 übertragen und steht dem Verkehrsteilnehmer weiter zur Verfügung. Zu dieser Zeit werden dann in den vier



**Bild 15:** Zeit- und belegungsabhängige Berechnung der Abfahrtszeiten (Quelle: BAST)

Reihen nur noch Abfahrtszeiten angeboten, die einer Aufenthaltszeit von 10,5 bis 11,5 Stunden entsprechen (KLEINE et al., 2014).

## 3.2 Zeitabhängige Berechnung der Abfahrtszeiten

### 3.2.1 Lenk- und Ruhezeitverordnung

Fahrer im gewerblichen Güterstraßenverkehr müssen eine regelmäßige tägliche Ruhezeit von mindestens elf Stunden einhalten. Diese Zeit kann dreimal pro Woche auf neun Stunden verkürzt werden (ohne Ausgleichspflicht) (Europäische Union, 2006). Es müssen für die nächtliche Ruhezeit demnach Parkstandreihen mit Aufenthaltszeiten zwischen 9 und 11 Stunden vorgesehen werden. Eine Ausdehnung auf bis zu 13 Stunden (eventuell 14) ergibt sich aus der Tatsache, dass die gesamte Fahrzeit i. d. R. 9 Stunden nicht überschreiten darf und durch eine Pause von mindestens 45 Minuten unterbrochen werden muss. Somit verbleibt eine rechnerische Ruhezeit von ca. 13 bis 14 Stunden. Weiter besteht die Möglichkeit die tägliche Ruhezeit aufzuteilen in mindestens drei Stunden und mindestens neun Stunden ununterbrochener Pausen.

Die ununterbrochene Fahrzeit 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 30-minütige Fahrtunterbrechung eingeteilt werden (Europäische Union, 2006) Damit ergibt sich für Aufenthaltszeiten von mindestens 15, 30 und 45 Minuten eine erhöhte Wahrscheinlichkeit.

An folgenden Tagen besteht ein Lkw-Fahrverbot:

- Generell: sonn- und feiertags (abhängig vom jeweiligen Bundesland mit Ausnahme von Mariä Himmelfahrt und Buß- und Betttag) von 0:00 bis 22:00 Uhr,
- Zusätzlich: samstags im Juli und August von 7:00 bis 20:00 Uhr (BMV, 1985).

Im Juli und August kann davon ausgegangen werden, dass Lkw, die sich bereits samstags nach 7:00 Uhr in einer Parkstandreihe befinden, dort bis mindestens zum Sonntag 22:00 Uhr bleiben. Es ist zu vermuten, dass einige Fahrer die Möglichkeit nutzen, am Samstag von 20:00

bis 24:00 Uhr zu fahren. Weiterhin ist zu erwarten, dass Lkw, die sich sonntags bzw. feiertags nach 0:00 Uhr in einer Parkstandreihe befinden, bis mindestens 22:00 Uhr dort bleiben und auch diese Zeit als früheste Abfahrtszeit angeboten werden sollte.

Die Steuerung geht somit von einer charakteristischen Verteilung der Nachfrage über den Tages- bzw. Wochenverlauf aus. Es wird zudem vermutet, dass aufgrund von Belade- und Lieferzeiten die Lenkzeiten der meisten Fahrer wahrscheinlich zwischen 5 und 20 Uhr liegen. Damit ist eine grobe Abschätzung der Nachfrage von Kurz- und Langzeitparkzeiten auf die Parkstandreihen möglich. Morgens bis in die frühen Nachmittagstunden wird demnach mehr Nachfrage für kürzere Parkzeiten vermutet und ab ca. 15 Uhr werden die nächtlichen Ruhezeiten begonnen. Neben dem Tageszeitbezug ergibt sich ein Bezug zu den Wochentagen. So wird ein verändertes Parkverhalten an Werktagen und an Sonn- und Feiertagen (mit Lkw-Fahrverbot) vermutet. Das Steuerungsverfahren muss diese Randbedingungen berücksichtigen und in den angebotenen Abfahrtszeiten widerspiegeln können. Grundlage hierfür bildet in der Verkehrssteuerung üblicherweise ein Ereignis- und Systemkalender.

### 3.2.2 Erhebungsdaten zu Aufenthaltszeiten

Seitens der Autobahndirektion Nordbayern (ABDN) wurden Erhebungsdaten vom 17.01.-01.02.2008 für die Rastanlage Jura in Fahrtrichtung Regensburg (West) zur Verfügung gestellt, um die tatsächliche Parknachfrage abschätzen zu können und vermutetes Verhalten zu verifizieren. Die Rastanlage verfügt zum Zeitpunkt der Erhebung gemäß verfügbarer Planungsunterlagen der ABDN über 61 für Lkw und 5 für Busse verkehrsrechtlich ausgewiesene Parkstände.

Die Daten zur Aufenthaltszeit wurden mittels Kennzeichenerfassung erhoben. Die Fahrzeugklassifikation fand bei der Ausfahrt statt. Innerhalb des Erhebungszeitraums führten jedoch Probleme in der Fahrzeugklassifikation dazu, dass über mehrere kurze Zeiträume hinweg, Fahrzeuge nicht klassifiziert werden konnten. Bei der Detektion in der Ausfahrt ist vom 22.01.2008 12:00 Uhr bis 25.01.2008 10:00 Uhr ein längerer Datenausfall eingetreten.

Die Klassifizierung erfolgte in vier Klassen:

- 0 = Pkw,
- 1 = Lieferwagen,
- 2 = Lkw,
- 99 = nicht klassierbar.

Die aufgezeichneten Fahrzeuge der Klasse 1 (Lieferwagen) und 2 (Lkw), d. h. Lkw-ähnlich ohne Lieferverkehr, wurden für die weiteren Auswertungen abhängig von ihrer Aufenthaltszeit in Kategorien aufgeteilt (Abweichend zu Kapitel 2.2):

- Durchfahrt/Tanken,
- Kurzzeitparken (KZP),
- mittellange Parkzeitnachfrage (MZP),
- Langzeitparken (LZP),
- Fahrzeug mit typischer Abfahrtszeit (zw. 4:00 und 8:00 Uhr morgens) und/oder längerer Aufenthaltsdauer (> 14 Std.) als statische Parkzeitnachfrage (SZP),
- nicht zuweisbar.

In der Auswertung der tatsächlichen Nachfrage wurden zunächst nur vier Wochentage (Montag, Dienstag, Mittwoch und Freitag) berücksichtigt, da die Daten an diesen Tagen plausibel erscheinen und wenige Ausfälle aufweisen. Ein Einfluss von Fehldetektion ist jedoch nicht auszuschließen.

Aufenthaltsdauern kleiner 15 Minuten werden als Durchfahren bewertet. Die Zuordnung zu KZP erfolgt für Aufenthaltsdauern zwischen 15 und 150 Minuten. MZP umfasst Aufenthaltsdauern zwischen 151 und 299 Minuten. LZP umfasst die Aufenthaltsdauern zwischen 300 und 850 Minuten. Längere

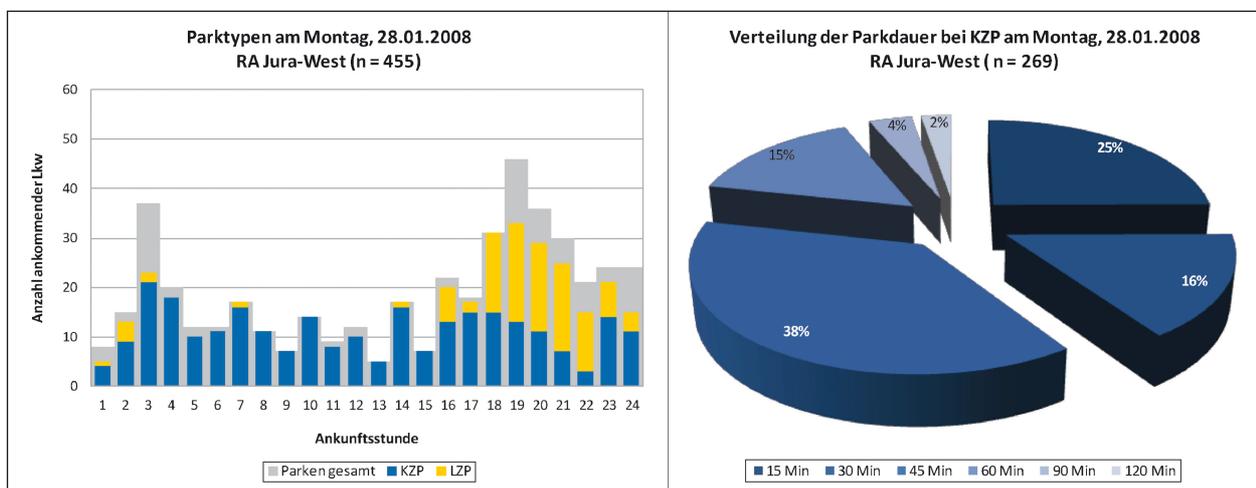
Aufenthaltszeiten werden bei einer Abfahrtszeit zwischen 4:00 und 8:00 der statischen Parknachfrage SZP zugeordnet. Andernfalls wird das Fahrzeug keiner Parkgruppe zugeteilt, d. h. „nicht zuweisbar“. Die Auswertung erfolgte je Ankunftsstunde. Eine Ankunftsstunde fasst alle Ankünfte zwischen Minute 0 und 59 einer Stunde zusammen (z. B. beschreibt Ankunftsstunde 1 die Ankunft zwischen 0:00 und 0:59 Uhr).

Bild 16 bis Bild 19 zeigen die Verteilung der Aufenthaltsdauern in Abhängigkeit von der Ankunftsstunde für alle ankommenden (erfassten) Lkw an vier Tagen im Januar 2008 (Balkendiagramme).

Die Auswertungen zur Nachfrage in den für das Kompaktparken relevanten Gruppen zeigt eine über den ganzen Tag hinweg bestehende Nachfrage für KZP. Diese ist zwischen 07:00 und 17:00 Uhr am größten und nimmt in den Abendstunden ab. LZP wird insbesondere zwischen 17:00 und 23:00 Uhr verstärkt nachgefragt.

Bild 16 bis Bild 19 zeigen weiterhin die Verteilung innerhalb der Gruppe KZP (Kreisdiagramme), um einen ersten Anhaltspunkt für die Verteilung der Parkstandreihen innerhalb der Gruppe zu bekommen. Aufenthaltszeiten ab 15 bis 29 Minuten wurden in der Gruppe „15 Min“ zusammengefasst, Aufenthaltszeiten zwischen 30 und 44 Minuten wurden in der Gruppe „30 Min“ etc. Die maximale Anzahl ankommender Fahrzeuge (in der Gruppe KZP) variiert an den 4 Erhebungstagen zwischen 21 und 36 Lkw/Ankunftsstunde.

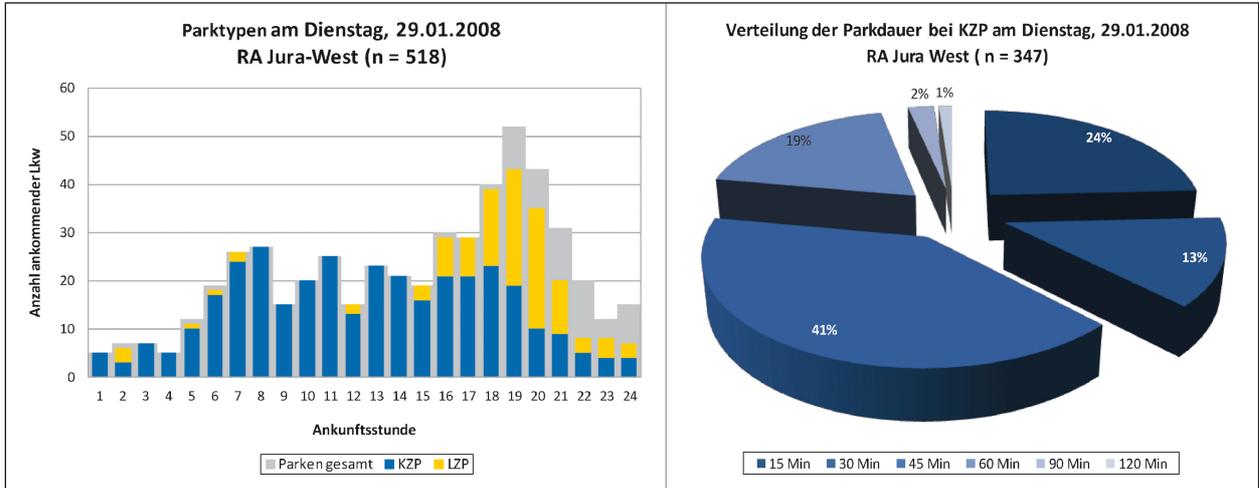
Zwei „Extremfälle“ mit einer sehr hohen Nachfrage für Kurzzeitparken finden sich im Datenmaterial mittwochs zwischen 15:00 und 16:00 Uhr sowie



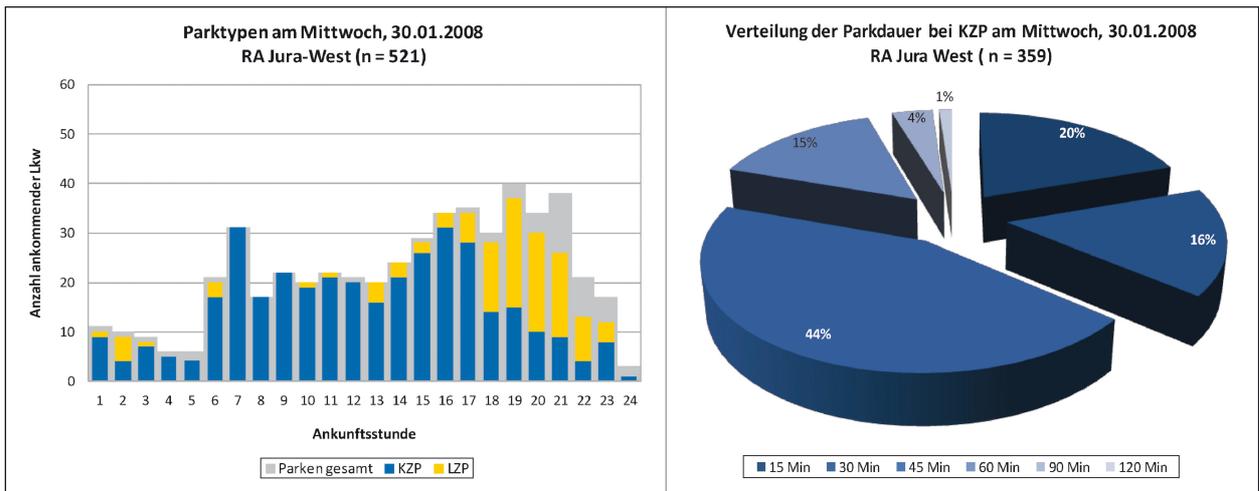
**Bild 16:** Parknachfrage und ankunftszeitabhängige Aufenthaltsdauern beim Kurzzeitparken (Montag)

dienstags zwischen 21:00 und 22:00 Uhr. Tabelle 1 zeigt die Nachfrage für einen erhobenen Mittwochnachmittag zwischen 15:00 und 16:00 Uhr. Unter

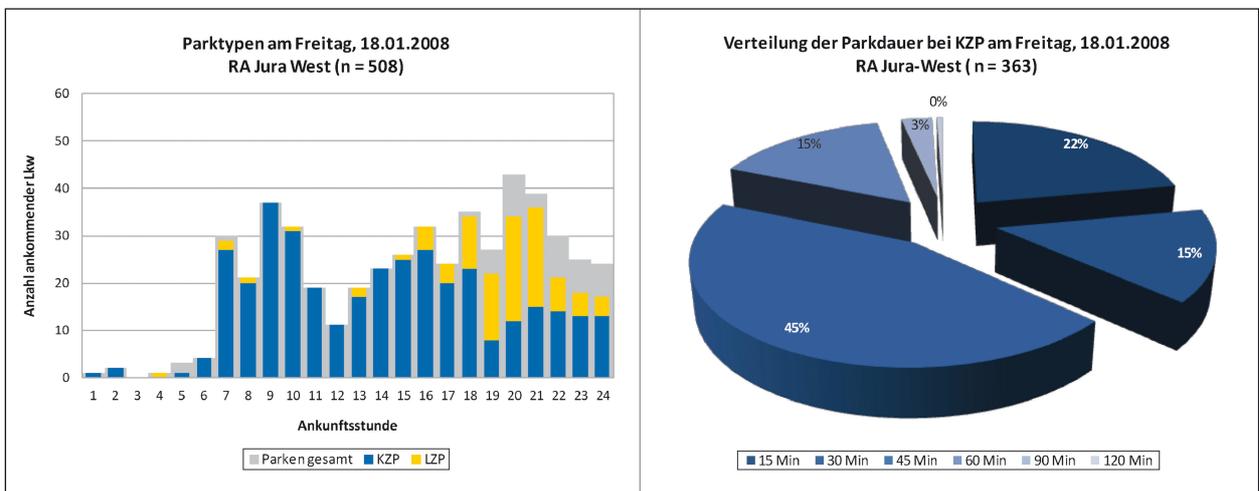
Berücksichtigung der maximalen Kapazität einer Parkstandreihe je nach Aufenthaltszeit ergibt sich die Anzahl erforderlicher Parkstandreihen für die



**Bild 17:** Parknachfrage und ankunftszeitabhängige Aufenthaltsdauern beim Kurzzeitparken (Dienstag)



**Bild 18:** Parknachfrage und ankunftszeitabhängige Aufenthaltsdauern beim Kurzzeitparken (Mittwoch)



**Bild 19:** Parknachfrage und ankunftszeitabhängige Aufenthaltsdauern beim Kurzzeitparken (Freitag)

Aufenthaltsdauer (ca. ... min)	15	30	45	60	90	120
Anzahl ankommender Lkw	3	3	20	2	3	0
Max Kapazität (Lkw) je Parkstandreihe pro Stunde	12	6	3	3	3	3
Resultierende Parkstandreihen für die Nachfrage	1	1	7	1	1	0

Tab. 1: Aufenthaltsdauer am Beobachtungstag Mi 15:00-16:00 Uhr

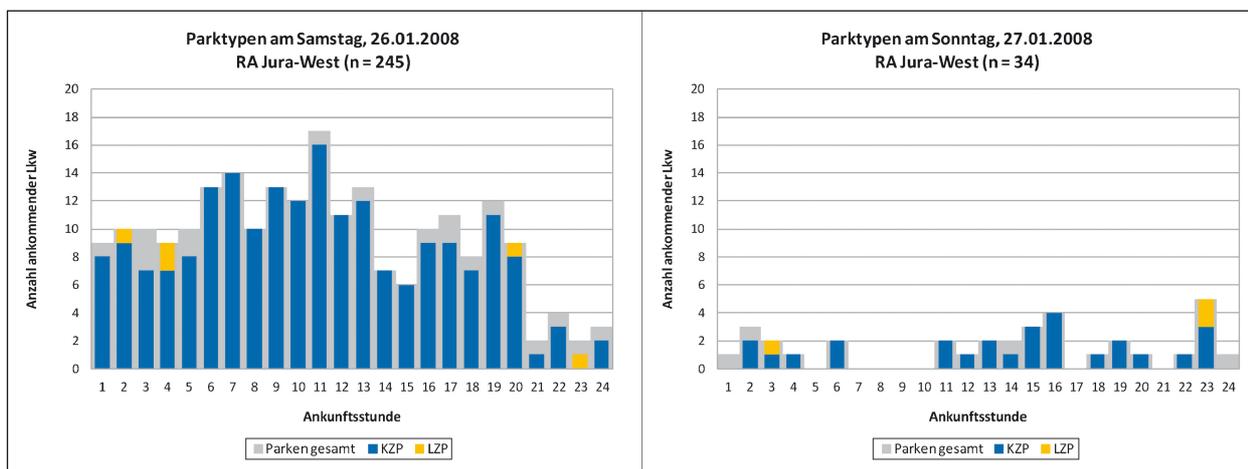


Bild 20: Parknachfrage bei Ankunft am Samstag und Sonntag

Nachfrage. Demnach müssten bis ca. 16:00 Uhr für das KZP bis zu 11 Parkstandreihen allein für die innerhalb der 15. Stunde ankommenden Fahrzeuge vorgehalten werden.

Die Beobachtungen an Wochenenden sind für je einen Samstag und Sonntag beispielhaft in Bild 20 zusammengefasst. An Wochenenden überwiegt der Anteil Fahrzeuge, die weniger als 150 Minuten Aufenthalt planen. Hinzu kommen Fahrzeuge, die eine sehr lange Aufenthaltszeit planen und mit dem Ende des Fahrverbots (Sonntag 22:00 Uhr) die Rastanlage verlassen. Vereinzelt parken Fahrzeuge länger als 150 Minuten, verlassen aber die Rastanlage vor dem Ende des Fahrverbots. Für die Berechnung der Abfahrtszeiten sind Sonn- und Feiertage gesondert zu betrachten.

### 3.2.3 Abgeleitete Steuerungsanforderungen

Das zu entwickelnde Steuerungsverfahren für das Kompaktparken soll das erhobene Verhalten nutzen und auf dieser Basis den Fahrzeugführern ein Parkangebot machen. Um eine hohe Verlässlichkeit und Akzeptanz des Systems zu erzielen, berücksichtigt das Steuerungsverfahren im Besonderen die Aufenthalt- und Abfahrtszeiten, die sich aufgrund gesetzlicher Bestimmungen zu einem bestimmten Zeitpunkt ergeben. In allen nicht vollständig belegten Parkstandreihen ergeben sich

die zeitabhängigen Abfahrtszeiten somit aus der aktuellen Uhrzeit zuzüglich der typischen Aufenthaltszeit gemäß Lenk- und Ruhezeitverordnung. Die Abfahrtszeitanzeigen werden also regelmäßig und unabhängig, ob der Parkbereich leer oder stark gefüllt ist, fortgeschrieben, da andernfalls die Differenz zwischen Abfahrtszeit und aktueller Uhrzeit nicht mehr den typisch nachgefragten Aufenthaltszeiten entspricht.

Priorität im Algorithmus sollen die am stärksten nachgefragten Abfahrtszeiten haben. Zeiten für die Nachfragegruppe MZP sollen daher bei der Steuerung solange angeboten werden, wie es die Nachfrage der anderen Gruppen zulässt. Dazu soll die Gruppe KZP seitens der Steuerung auf 3,5 Stunden erweitert werden (Maximum). LZP wird die minimale Aufenthaltszeit von 3,5 Stunden zugeordnet. Eine MZP-Gruppe wird damit im Algorithmus nicht gesondert vorgesehen sondern ist Teil des KZP in nachfrageschwachen Zeiten.

Sofern die planerische Anzahl Parkstandreihen die Aufenthaltszeit im LZP auf 14 Stunden begrenzt, ist zu prüfen, ob die Nachfrage die Ergänzung einer SZP-Gruppe rechtfertigt (und dabei die Parkstandreihen in der Gruppe KZP und LZP reduziert). Ziel des Kompaktparkens ist, in den Nachstunden für Fahrzeuge mit typischen, großen Aufenthaltszeiten ein angemessenes Angebot zur Verfügung

Nummer	Anforderung
ALLG 1.0	Es sollen zu jeder Tageszeit Parkstandreihen für Kurz- und Langzeitparken zur Verfügung stehen.
ALLG 2.0	Um Behinderungen bei der Abfahrt auszuschließen und ein zeitliches Sortieren der Fahrzeuge nach Abfahrtszeit zu erzielen, dürfen angezeigte Abfahrtszeiten IMMER nur durch spätere Abfahrtszeiten überschrieben werden.
ALLG 3.0	In Fahrtrichtung müssen die angezeigten Abfahrtszeiten (ausgehend von Parkstandreihe 1 bis n) IMMER eine aufsteigende Sortierung haben, d. h. die früheste Abfahrtszeit findet sich in Parkstandreihe 1 und die späteste Abfahrtszeit in der letzten Parkstandreihe n.
ALLG 4.0	Die Parkstandreihe mit der voraussichtlich am stärksten nachgefragten Abfahrtszeit wird als Schwerpunktreihe bezeichnet (jeweils für KZP und LZP).
ALLG 4.1	Die Schwerpunktreihe soll, solange die Rastanlage noch nicht nahezu vollständig belegt ist, nicht am Anfang oder Ende der Parkstandreihen angeboten werden.
ALLG 4.2	Die Schwerpunktreihe soll sich dynamisch berechnen, damit für den Fall, dass Reihen mit einer späteren Abfahrtszeit nicht nachgefragt werden, diese auch gefüllt werden können, d. h. die am meisten nachgefragte Abfahrtszeit der Schwerpunktreihe kann unter dieser Randbedingung auch in einer der letzten Reihen angezeigt werden.
ALLG 5.0	Die Abfahrtszeiten können nicht für jede Minute des Tages angeboten werden. Um Behinderungen zu vermeiden, soll jedoch eine Verteilung der Abfahrtszeiten innerhalb einer Gruppe in Intervallen, z. B. von 30 Minuten, erfolgen (Ausnahme der Parkbereich ist nahezu belegt). Die Differenz der Abfahrtszeitanzeigen benachbarter Reihen einer Parkgruppe wird als Delta bezeichnet und ist parametrierbar.
ALLG 5.1	Delta kann für jede Parkstandgruppe in Abhängigkeit der Anzahl verfügbarer und nicht vollständig belegter Parkstandreihen berechnet werden.
ALLG 6.0	Die Abfahrtszeit der letzten Parkstandreihe errechnet sich für einen Parkbereich ausgehend von der Schwerpunktreihe und ist abhängig von der Anzahl verfügbarer und nicht vollständig belegter Reihen nach der Schwerpunktreihe.
ALLG 7.0	Ausgehend von der letzten Parkstandreihe n einer Gruppe wird die Abfahrtszeit für alle anderen Parkstandreihen ermittelt. Verfügbare und nicht vollständig belegte Parkstandreihen können unterschiedliche Abfahrtszeiten anbieten. Es ist auch möglich, dass (beschrieben durch einen Parameter) mehrere benachbarte verfügbare und nicht vollständig belegte Parkstandreihen die gleiche Abfahrtszeit anzeigen.
ALLG 8.0	Errechnete Abfahrtszeiten werden entweder in den Schrittweiten xx:00, xx:15, xx:30 und xx:45 Uhr oder xx:00 und xx:30 angezeigt. Dies hängt sowohl von der Anzahl verfügbarer Parkstandreihen ab als auch von der Belegung des Parkbereiches. Errechnete Abfahrtszeiten werden also gerundet. Es ist festzulegen, ob mathematisch auf-/abgerundet (Abfahrtszeit errechnet 10:16 → angezeigt 10:15) wird oder immer auf den nächst höheren Wert gerundet wird (Abfahrtszeit errechnet 10:16 → angezeigt 10:30).
ALLG 9.0	Die Abfahrtszeiten werden kontinuierlich berechnet. Berechnungsintervalle können auch einige Sekunden betragen (quasi-kontinuierlich). Durch die Rundung der Abfahrtszeiten entsteht der optische Eindruck, die Fortschreibung erfolgt nur zu bestimmten Zeitpunkten.

Tab. 2: Allgemeine Anforderungen an das Steuerungsverfahren (Teil 1)

zu stellen. Werden jedoch zu viele Parkstandreihen für die Nachfrage der Gruppe SZP reserviert, steht möglicherweise Fahrzeugen mit Aufenthaltszeiten unter neun Stunden keine passende Parkstandreihe zur Verfügung (vgl. Kapitel 5).

Die Abfahrtszeiten sollen so verständlich wie möglich dargestellt werden. Die Verkehrsteilnehmer können sich darauf verlassen, dass die Abfahrtszeiten in Fahrtrichtung aufsteigend angeordnet sind und einmal angezeigte Abfahrtszeiten nur durch zeitlich spätere Abfahrtszeiten ersetzt werden.

Tabelle 2 fasst die Anforderungen an den Algorithmus für eine rein zeitabhängige Abfahrtszeitberechnung zusammen.

### 3.2.4 Abfahrtszeitanzeigen

Eine angezeigte Abfahrtszeit darf immer nur durch eine zeitlich spätere Abfahrtszeit ersetzt werden. Auf diese Weise behindern bereits parkende Fahrzeuge in einer Parkstandreihe die später ankommenden Fahrzeuge nicht. Für die Darstellung der Abfahrtszeit bestanden folgende Vorüberlegungen, wie diese angezeigt werden können:

- Stufe 0: nur Uhrzeit: „XX:XX“,
- Stufe 1: Uhrzeit mit (statischem) Zusatz: „bis XX:XX“ → unterstützt die Wahrnehmung als Abfahrtszeit,
- Stufe 2: Uhrzeit mit Abkürzung Wochentag: „NN, XX:XX“ → Sonntag/Feiertag sowie der Tageswechsel können verdeutlicht werden,

- Stufe 3: Uhrzeit mit Abkürzung Wochentag und (statischem) Zusatz: „bis NN, XX:XX“,
- Stufe 4: Uhrzeit mit Datum: „YY.YY XX:XX“ → sprachunabhängig; schwer lesbar,
- Stufe 5: Uhrzeit mit Datum: „bis YY.YY XX:XX“ → schlecht lesbar/Textbreite.

Die Abfahrtszeit ohne Wochentage („Mo“, ..., „So“) erschwert die Darstellung des Tageswechsels. Sprachunabhängig wäre die Darstellung mit Datum „12.12. 12:00“ (Stufe 4/5). Die dazu erforderliche Breite der Abfahrtsanzeige und die schlechtere Lesbarkeit mehrerer Abfahrtsanzeigen sind jedoch von Nachteil. Die Abfahrtszeiten sollten daher steuerungsintern mit Datum verwaltet und auf den dynamischen Abfahrtsanzeigen mit Wochentag (Stufe 2) dargestellt werden.

Bild 21 zeigt, wie die dynamischen Abfahrtsanzeigen gestaltet werden könnten. Der Aufbau und die farbliche Gestaltung der Abfahrtsanzeige sind mit den Verkehrsbehörden jedoch im Einzelfall abzustimmen. Von Bedeutung ist hier die Lesbarkeit in einer Montagehöhe von ca. 5 Metern und einer geringen gefahrenen Geschwindigkeit (Schrittgeschwindigkeit). Wichtig ist, dass zur besseren Orientierung auch die Reihenummer gut lesbar gezeigt wird. Mittels (mehrsprachigem) Text wird verdeutlicht, dass die angezeigten Inhalte eine Abfahrtszeit für diese Parkstandreihe vermitteln sollen.

Abfahrtsanzeigen sollten folgende Inhalte darstellen können:

- Abfahrtszeit gemäß Stufe 2 (vgl. Bild 21),
- rotes Kreuz (o. Ä. Sperrsymbol),
- dunkel,
- einzelner Leuchtpunkt oder Strich (vgl. Kapitel 4.2).

Für den Sonderfall, dass Kompaktparken außer Betrieb ist, wird folgende Regelung vorgeschlagen: Die erste(n) und letzte(n) Parkstandreihe(n) werden (sofern möglich und erforderlich) mit rotem Kreuz für das Parken gesperrt. Alle anderen Reihen werden dunkel geschaltet. Damit soll gewährleistet werden, dass die Zufahrt zu den Parkständen an erster Position und die Ausfahrt über die letzte Parkstandreihe für Fahrzeuge auf den hinteren Positionen jederzeit möglich ist. Die mittleren Parkstände bleiben wie bei konventioneller Parkstandordnung frei und dienen als Fahrgasse. Zusätzliche Beschilderungen können für das Verständnis der Verkehrsteilnehmer erforderlich sein. Ein Konzept für die Rückfallebene des konventionellen Parkens ist im Einzelfall für die Rastanlage zu konkretisieren.

Das Abfahrtsanzeigenmodul (vgl. Kapitel 4.1) entnimmt die anzuzeigenden Abfahrtszeiten (oder Sperrinformation) der Datenbank und meldet die tatsächlich angezeigten Abfahrtszeiten (Quittierung) an die Datenbank zurück. Der Zustand der Abfahrtsanzeigen ist stets aktuell in der Datenbank zu speichern.

Tabelle 3 fasst die Anforderungen seitens der Kompaktparkensteuerung an die Abfahrtsanzeigen zusammen.



**Bild 21:** Entwurf für die dynamische Abfahrtsanzeige (Stand Januar 2014, Quelle: BAST)

Nummer	Anforderung
AANZ 1.0	Abfahrtsanzeigen sollen mindestens folgende Inhalte darstellen können: Abfahrtszeit mit Wochentag rotes Kreuz (o. Ä. Sperrsymbol), d. h. Parkstandreihe ist gesperrt dunkel, d. h. Defekt/Störung der Anzeige einzelner Leuchtpunkt oder Strich (Halt).
AANZ 2.0	Das Abfahrtsanzeigenmodul entnimmt die anzuzeigenden Abfahrtszeiten (oder Sperrinformation) der Datenbank. Sobald sich der Inhalt für eine Abfahrtsanzeige ändert, ist diese unverzüglich auf der Abfahrtsanzeige darzustellen (Soll-Ist-Vergleich).
AANZ 3.0	Das Abfahrtsanzeigenmodul schreibt die aktuell tatsächlich angezeigten Abfahrtszeiten (Quittierung) in die Datenbank.
AANZ 4.0	Störungen/Defekte sind zu überwachen und in der Datenbank zu hinterlegen.
AANZ 5.0	Bei Datenbankausfall/Kommunikationsausfall sind die angezeigten Abfahrtszeiten für eine parametrierbare Zeit beizubehalten (z. B. 15 Min).

**Tab. 3:** Anforderungen an das Abfahrtsanzeigenmodul

### 3.3 Belegungsabhängige Berechnung der Abfahrzeiten

#### 3.3.1 Steuerungsanforderungen

Sobald eine Parkstandreihe „vollständig belegt“ wird, d. h. es kann kein 18,75 m langer Lastzug mehr in dieser Parkstandreihe parken, müssen die Abfahrzeiten neu berechnet werden. Kompaktparken ist unabhängig von der eingesetzten Detektionstechnik konzipiert. Die Anforderungen, die sich seitens der Kompaktparkensteuerung an die Detektion ergeben, sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Für die Ermittlung der belegungsabhängigen Abfahrzeiten gelten die nachfolgenden Anforderungen: Wird eine Parkstandreihe vollständig belegt, so muss die Steuerung die Abfahrzeit dieser Parkstandreihe auf die nächste benachbarte freie oder vollständig freie Parkstandreihe entgegen der Fahrtrichtung übertragen. Damit ändern sich alle Abfahrzeitanzeigen entgegen der Fahrtrichtung und es ist sichergestellt, dass alle wichtigen Abfahrzeiten angeboten werden.

Die am stärksten nachgefragten Abfahrzeiten werden so lange angeboten bis der gesamte Parkbereich vollständig belegt ist. Die Differenz angebotener Abfahrzeiten zweier Reihen in einer Parkgruppe ist konstant (Parameter Delta), sodass die Verkehrsteilnehmer bereits bei der Einfahrt in den

Parkbereich abschätzen können, wie das Angebot gestaltet ist.

Weiterhin verdeutlichen die erhobenen Aufenthaltszeiten, dass die Kompaktparkensteuerung die Verteilung der Parkstandreihen je Gruppe dynamisch anpassen können muss. So müssen in den Nachtstunden mehr Reihen für die Gruppe LZP angeboten werden. Die Anzahl Reihen für die Gruppe KZP reduziert sich in dieser Zeit entsprechend. Die Berechnung der Verteilung erfolgt belegungsabhängig (siehe Kapitel 4.3.1).

Die Anforderungen zur Berechnung belegungsabhängiger Abfahrzeiten sind in Tabelle 4 als Nummer ALLG 10.0 bis ALLG 14.0 zusammengefasst. Sie ergänzen die allgemeinen Anforderungen an die Kompaktparkensteuerung gemäß Tabelle 2.

#### 3.3.2 Anforderungen an die Detektionstechnik

Zur Ermittlung des Belegungszustandes bedarf es Detektionstechnik. Diese muss für jede Parkstandreihe mindestens die Belegung der hinteren Position einer Parkstandreihe erfassen und somit den Belegungszustand „Parkstandreihe ist vollständig belegt“ ermitteln. Für die automatische Initialisierung bedarf es der Ermittlung des Zustands „Parkstandreihe vollständig frei“, d. h. kein Fahrzeug befindet sich in der Parkstandreihe. Reihen, die weder „vollständig frei“ noch „vollständig belegt“

Nummer	Anforderung
ALLG 10.0	Für wichtige Abfahrzeiten, d. h. wahrscheinlich und/oder tatsächlich nachgefragte Abfahrzeiten, d. h. die Parkstandreihe wurde vollständig belegt, ist diese Abfahrzeit so lange wie möglich anzubieten.
ALLG 10.1	Ist eine Parkstandreihe vollständig belegt, übernimmt daher eine noch nicht vollständig belegte, entgegen der Fahrtrichtung unmittelbar benachbarte Parkstandreihe die Abfahrzeit der vollständig belegten Parkstandreihe.
ALLG 10.2	Alle anderen Reihen entgegen der Fahrtrichtung erhalten ebenfalls eine neu auszurechnende Abfahrzeit. Ausgehend von der Parkstandreihe, welche die Abfahrzeit der vollständig belegten Parkstandreihe übernommen hat, erhalten alle weiteren benachbarten Reihen eine um Delta reduzierte Abfahrzeit.
ALLG 11.0	Ist in einer Parkstandreihe der Detektor defekt oder wird einen Fehler gemeldet, berechnen sich die Abfahrzeiten als ob diese Parkstandreihe „vollständig belegt“ wäre.
ALLG 11.1	Die Reihe mit einem defekten Detektor muss nach der Instandsetzung z. B. durch einen Operator freigegeben werden, andernfalls gilt ALLG 11.0. Die Anzahl Detektoren, die als defekt gelten dürfen oder im Rahmen von Wartungsarbeiten außer Betrieb (also „defekt“) sind, sollte auf eine maximale Anzahl begrenzt sein.
ALLG 12.0	Reihen können mit einem roten Kreuz (Lichtzeichen) gesperrt werden. Es darf dann nicht zeitgleich eine Abfahrzeit angezeigt werden.
ALLG 13.0	Für gesperrte Reihen werden keine Abfahrzeiten berechnet, d. h. diese werden in der Kompaktparkensteuerung nicht berücksichtigt, d. h. sie können auch keine Abfahrzeiten benachbarter, vollständig belegter Reihen übernehmen.
ALLG 14.0	Der Grund der Sperrung bestimmt, ob diese manuell oder automatisch aufgehoben werden kann.

Tab. 4: Allgemeine Anforderungen an das Steuerungsverfahren (Teil 2)

sind, gelten per Definition als „frei“, d. h. es kann noch mindestens ein 18,75 m langer Lastzug in dieser Parkstandreihe parken.

Vorüberlegungen zur Detektionstechnik führten zu einer Abstufung möglicher Ausstattungsvarianten:

- Stufe 0: nur letzter Parkstand wird durch Sensoren hinsichtlich „Parkstandreihe vollständig belegt“ geprüft (Erlaubt nur manuelle Inbetriebnahme, siehe Kapitel 4.5).
- Stufe 1: letzter Parkstand wird durch Sensoren hinsichtlich „Parkstandreihe vollständig belegt“ geprüft und die gesamte Parkstandreihe wird hinsichtlich „Parkstandreihe vollständig frei“ durch Sensoren geprüft.
- Stufe 2: Restlängenmessung je Parkstandreihe und Ableiten erforderlicher Eingangsgrößen (vollständig frei, frei, vollständig belegt).
- Stufe 3: Restlänge und abgeleitete Information hinsichtlich der Ankunft einzelner Fahrzeuge (aus Differenz der gemessenen Restlängen vor und nach Einfahrt/Ausfahrt eines oder mehrerer Fahrzeuge).
- Stufe 4: Fahrbewegungen einzelner Fahrzeuge können verfolgt werden und typisches Fehlverhalten kann abgeleitet werden, sodass sich Behandlungsroutinen aufstellen lassen (z. B. Überfahren mehrerer Parkstandreihen, sodass angenommen werden kann, der Fahrer hat Abfahrtzeit nicht gesehen).

Nummer	Anforderung
DETK 1.0	Die Belegungszustände jeder Parkstandreihe werden der Kompaktparkensteuerung zur Verfügung gestellt.
DETK 1.1	Je nach eingesetzter Detektionstechnik soll das Detektionsmodul folgende Ausgangsgrößen ermitteln: Belegungszustand: vollständig frei; frei; vollständig belegt Detektorzustand: defekt; keine Daten
DETK 1.2	Das Detektionsmodul soll darüber hinaus folgende Daten je Parkstandreihe als Ausgangsgrößen bereitstellen: Detektorstatus: Ein/Aus Fehlerstatus: Kein Fehler/Fehler, wenn z. B. keine (Restlängen)Messung möglich ist Messungsergebnis: Restlänge (Anwesenheit Fahrzeug). Plausibilität: Vergleich mit vorherigen (Restlängen) Messung nach Fahrzeugstillstand (siehe DETK 3.0).
DETK 2.0	Jede Änderung des Belegungszustands/Detektorstatus wird mit Zeitstempel dokumentiert.
DETK 3.0	Nur Fahrzeuge, die parken, d. h. längere Zeit unverändert stehen, sollen sicher erkannt werden und können nur dann einen Wechsel des Belegungszustandes auslösen. Fahrzeuge, die ein-, durch- oder ausfahren, sollen nicht in die Bewertung des Reihenzustands einfließen. Je nach Detektionssystem sind hierfür Berechnungsmethoden zu hinterlegen.
DETK 4.0	Die physikalischen Messwerte (z. B. Restlänge oder Anwesenheitserkennung) müssen plausibel sein: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Messwerte müssen in einem parametrierbaren Zeitintervall (z. B. 20 Sekunden) mindestens 3-mal aufeinanderfolgend innerhalb eines parametrierbaren Messungstoleranzbereichs gleich sein.</li> <li>• Zudem soll der mehrmalige Wechsel von „vollständig belegt“ auf „frei“ einer Parkstandreihe innerhalb einer bestimmten Zeit nicht möglich sein (z. B. nur viermal innerhalb einer Zeitstunde).</li> <li>• Sofern eine Reihe nicht sicher als „frei“ oder „vollständig frei“ detektiert wird, gilt bei nicht eindeutigen Messungsergebnis der Belegungszustand „vollständig belegt“.</li> </ul> Beispiele: Plausibilitätsregel für Restlängenmessung: Toleranzbereich 1 m, d. h. absoluter Wert von $ \text{gemessener Wert} - \text{vorheriger Wert}  < 1 \text{ m}^*$ Plausibilitätsregel für Anwesenheitsdetektion: Fahrzeug gilt als anwesend, wenn für mehr als 30 Sekunden erkannt.  * Evtl. kann Toleranzbereich noch höher sein, da ein weiteres Fahrzeug nicht unter 6 m Länge aufweist. Erst wenn Restlängenmesswerte um mehr als 6 m voneinander abweichen, kann auch ein weiteres Fahrzeug Ursache für Abweichung sein.
DETK 4.1	Der Wechsel eines Belegungszustandes soll so schnell wie möglich erfolgen, wenn die Restlänge zuvor nur noch ca. 20 m beträgt (d. h. nur noch hintere Position ist verfügbar), soll sofort nach Erkennen einer Fahrbewegung „vollständig belegt“ gemeldet werden, unabhängig davon, ob das Fahrzeug steht oder (noch) vorfährt.
DETK 5.0	Es sind, sofern eine Restlängendetektion erfolgt, die für die Erstellung eines Belegungsplans erforderlichen Daten bereitzustellen, d. h. eine signifikante Restlängenänderung (z. B. +/- 3 m) wird zusammen mit der aktuellen Abfahrtzeit der Reihe gespeichert.
DETK 6.0	Bei der Positionierung der Detektoren ist der Fehlereinfluss so gering wie möglich zu halten, so sollte möglichst kein Fahrzeug in einem Bereich parken können, der durch den Detektor nicht erfasst wird. Dies ist ggf. für querparkende Fahrzeuge über mehrere hintere Parkstände zu prüfen.

Tab. 5: Anforderungen an die Detektion

Für die Stufe 0 eignet sich bereits einfache Anwesenheitsdetektion (Infrarotsensor), die an den Traversen der Gitterstahlrohrträger für die Abfahrzeitanzeigen montiert wird. Für die Stufen 1 bis 3 können die Belegungszustände mittels Systemen für die Restlängenmessung erhoben werden (z. B. Videokameras, Radardetektoren, Laser-scanner).

Für einen weitestgehend automatischen Betrieb muss die Umsetzung der Stufe 2 oder Stufe 3 erfolgen. Damit ist eine automatische Initialisierung des Kompaktparkens möglich. Eine verbesserte,

schnellere automatische Initialisierung erlaubt Stufe 3 durch den Vergleich der Restlängen vor und nach einem Systemausfall (vgl. Kapitel 4.5).

Die Auswertung der Detektoren ist nicht Teil des Steuerungsverfahrens. Die Detektionsdaten werden in einem Detektionsmodul aufbereitet, sodass der Steuerung des Kompaktparkens nur der Belegungszustand jeder Parkstandreihe bereit gestellt wird. Es ist Aufgabe des Detektionsmoduls, aus den Ausgangsgrößen der physikalischen Sensoren die Eingangsgrößen für das Kompaktparken zu ermitteln (vgl. Kapitel 4.1).

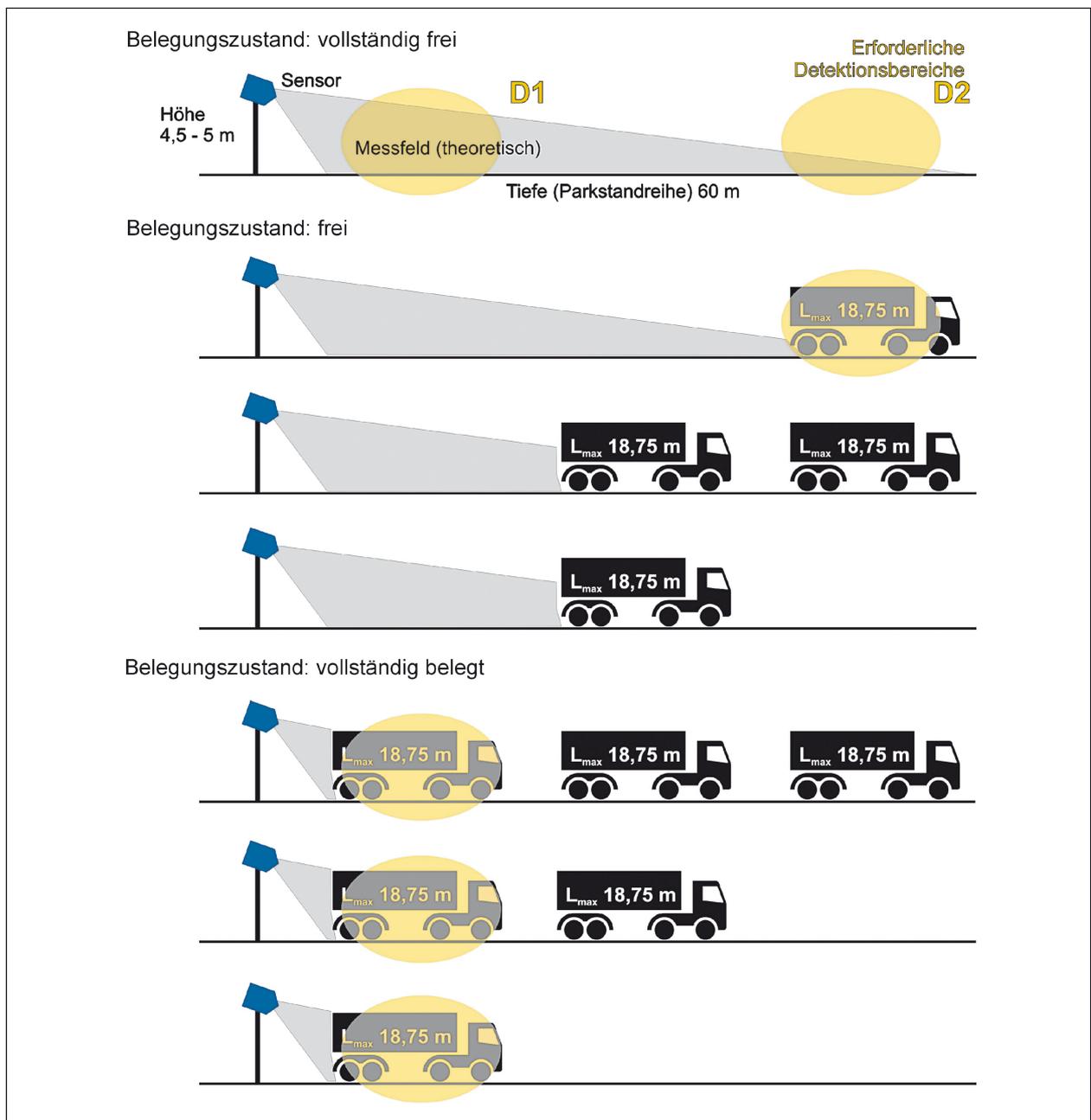


Bild 22: Erfassung der Belegungszustände (Quelle: BAST)

Das Beispiel in Bild 22 verdeutlicht, wie aus der detektierten Restlänge einer Parkstandreihe der logische Belegungszustand einer Parkstandreihe ermittelt werden könnte:

- WENN die gemessene Restlänge ein Teil der unter D1 definierten Restlängen ist, DANN ist die Parkstandreihe VOLLSTÄNDIG BELEGT.
- WENN die gemessene Restlänge ein Teil der unter D2 definierten Restlängen ist, DANN ist die Parkstandreihe VOLLSTÄNDIG FREI.
- WENN die gemessene Restlänge weder Teil der unter D2 definierten Restlängen noch eine Teilmenge der unter D1 definierten Längenmenge ist, DANN ist die Parkstandreihe FREI.

Der Wert der Variablen, die den Belegungszustand einer Parkstandreihe beschreibt, darf sich nur ändern, wenn entsprechende Regeln zur Erkennung fahrender und parkender Fahrzeuge eingehalten werden. Solange Messwerte auf Fahrbewegungen schließen lassen, bleibt der bestehende Wert der Variablen gültig. Erst wenn der Messwert die Plausibilitätskontrolle erfüllt, kann sich diese Variable ändern. Die Plausibilitätskontrollen sind nach der Auswahl geeigneter Detektoren entsprechend weiter zu entwickeln.

Weitere Belegungszustände sind für die Kompaktparkensteuerung zwar nicht erforderlich, können aber für Optimierungszwecke ergänzt werden.

### 3.4 Erweiterte Funktionalität der Abfahrzeitberechnung

#### 3.4.1 Umgang der Steuerung mit defekten Komponenten

Die Berechnung der Abfahrzeiten ist gegenüber Ausfall oder Fehldetektion einzelner Detektoren robust. Parkstandreihen, in denen die Detektion keine oder nicht plausible Daten liefert oder einen Fehler meldet, werden bei der Berechnung der Abfahrzeiten nicht ausgeschlossen. Vielmehr werden diese Reihen so behandelt als wäre die Parkstandreihe vollständig belegt (vgl. Tabelle 4; ALLG 11.0 und ALLG 11.1). Dies führt dazu, dass in der Parkstandreihe weiterhin eine Abfahrzeit angezeigt wird, jedoch eine benachbarte, freie oder vollständig freie Parkstandreihe die gleiche Abfahrzeit anzeigt. Auf diese Weise kann auf der Rastanlage die Parkstandreihe mit defekter Detektion vollständig zum Parken genutzt werden.

Würde ein Detektor fälschlicherweise für eine tatsächlich freie Parkstandreihe melden, dass sie vollständig belegt sei, so führt dies lediglich dazu, dass eine benachbarte Parkstandreihe die Abfahrzeit dieser Parkstandreihe übernimmt (siehe Kapitel 3.3). Damit reduziert sich lediglich das Angebot der Abfahrzeiten. Sobald die Parkstandreihe wieder richtigerweise als frei oder vollständig frei gemeldet wird, erweitert sich das Abfahrzeitenangebot.

Wird eine vollständig belegte oder freie Parkstandreihe fälschlicherweise als vollständig frei gemeldet, so ist dies nur im Rahmen der Initialisierung von Bedeutung. Die Kompaktparkensteuerung greift zu keinem anderen Zeitpunkt auf diese Information zurück.

Grundsätzlich ist die Kompaktparkensteuerung robust gegenüber Messungsfehlern und vereinzelt Detektorausfall. Meldet die Detektion jedoch für eine „vollständig belegte“ Parkstandreihe sie sei „frei“ oder „vollständig frei“ so mindert dies die Qualität für die Nutzer des Systems insofern, als dass die offensichtlich nachgefragte Abfahrzeit nicht mehr in freien Reihen angeboten wird und ein Nutzer mit dieser Abfahrzeit in einer anderen Parkstandreihe parken muss und ggf. bei der Abfahrt gehindert wird oder andere bei der Abfahrt hindert. Bei Bedarf können Betreiber Festlegungen treffen, über welchen Zeitraum Detektionsfehler akzeptiert werden. Im Rahmen der Inbetriebnahme des Kompaktparkens sollte für jede Parkstandreihe geprüft werden, dass die Detektoren korrekt eingerichtet wurden und sinnvolle Belegungszustände liefern. Der Belegungszustand „vollständig belegt“ muss mit einer hohen Zuverlässigkeit erkannt werden.

Abfahrzeitanzeigen müssen hinsichtlich eines Defekts überwacht werden. D. h. wenn sie die Abfahrzeit nicht mehr lesbar darstellen können, ist zu prüfen, ob eine Reihensperrung mittels roten Kreuzes angeordnet werden kann. Andernfalls wird die Abfahrzeitanzeige dunkel geschaltet. Die betreffende Parkstandreihe steht der Kompaktparkensteuerung nicht mehr zur Verfügung (analog manueller Reihensperrung).

#### 3.4.2 Umgang der Steuerung mit kurzzeitigem Datenbankausfall

Bei Datenbankausfall oder Störungen in der Kommunikation sind gemäß AANZ 5.0 (siehe Tabelle 3) die aktuell angezeigten Abfahrzeiten für eine parametrierbare Zeit beizubehalten (z. B. 15 Min).

Sofern innerhalb dieser Zeit der Zugriff auf die Datenbank wieder möglich ist, können unmittelbar die zu diesem Zeitpunkt neu berechneten Abfahrtszeiten über die Datenbank ausgetauscht werden (vgl. Kapitel 4.5).

### 3.4.3 Umgang der Steuerung mit Sperrung einzelner Parkstandreihen

Reihen können aus verschiedenen Gründen gesperrt werden. Dazu ist auf den Abfahrtszeitanzeigen ein rotes Sperrkreuz (Lichtzeichen) vorzusehen. Je nach Grund der Sperrung kann die Aufhebung der Reihensperrung manuell oder auch automatisch erfolgen (vgl. Tabelle 4 ALLG 12.0 bis 14.0).

#### Manuelle Sperrung

Durch manuelle Eingriffe können Reihen gesperrt werden, d. h. diese Parkstandreihen stehen der Kompaktparkensteuerung nicht zur Verfügung. Alle nicht manuell gesperrten Parkstandreihen werden durch die Kompaktparkensteuerung berücksichtigt. Manuell gesperrte Parkstandreihen können auch nur manuell (oder zu einem manuell festzulegenden Zeitpunkt) für den automatischen Betrieb freigegeben werden. In gesperrten Reihen wird statt einer Abfahrtszeit ein rotes Kreuz angezeigt.

#### Automatische Sperrung

Im Rahmen der automatischen Initialisierung ist vorgesehen, alle Reihen zunächst mit einem roten Kreuz kurzzeitig zu sperren. Je nach Initialisierungsroutine, können Reihen, die vollständig frei sind und wenn sie erstmals vollständig frei werden für die Berechnung der Abfahrtszeiten automatisch freigegeben werden. Nähere Festlegung zum Umgang mit einem Systemausfall und der Inbetriebnahme sind in Kapitel 4.5 beschrieben.

## 3.5 Anwendersicht

Jede Parkstandreihe verfügt über eine dynamische Abfahrtszeitanzeige. Diese informiert die ankommenden Fahrer darüber, bis wann sie in einer Parkstandreihe höchstens parken dürfen. Sofern die Fahrzeuge, die bereits in einer Parkstandreihe parken, diese früher verlassen, kann die Parkstandreihe auch vor der ausgewiesenen Abfahrtszeit verlassen werden. Allerdings sollten die Fahrzeugführer damit rechnen, die Parkstandreihe (erst)

zu der ausgewiesenen Uhrzeit verlassen zu können.

Die angebotenen Abfahrtszeiten der Parkstandreihen werden auf Grundlage der Nachfrage ermittelt. Ankommende Fahrer entnehmen den Abfahrtszeitanzeigen das aktuelle Angebot und suchen im Idealfall die Parkstandreihe in der die eigene geplante Abfahrtszeit angeboten wird. Alternativ kann der Nutzer sein Fahrzeug auch in einer leeren Parkstandreihe auf vorderer Position parken, wenn die dort angezeigte Abfahrtszeit später als die eigene geplante Abfahrtszeit ist. Ebenfalls kann das Fahrzeug auf der hinteren Position einer Parkstandreihe abgestellt werden, sofern dort eine frühere als die eigene geplante Abfahrtszeit angeboten wird.

Ob das Fahrzeug in der Parkstandreihe geparkt werden kann, entscheidet der Fahrer anhand der augenscheinlichen Restlänge. Seitens der Steuerung wird eine Parkstandreihe als vollständig belegt betrachtet, wenn kein 18,75 m langer Lastzug in einer Reihe parken kann. Kürzere Fahrzeuge können bei passender Abfahrtszeit die Restlänge jedoch komplett nutzen. Die Nutzer sollen so dicht wie möglich auf das vordere Fahrzeug aufrücken, damit die Länge jeder Parkstandreihe vollständig ausgenutzt werden kann.

Ist eine passende Parkstandreihe gefunden, kann das Fahrzeug abgestellt werden. Es ist nicht erforderlich, dass die Fahrzeuge aufrücken, wenn der Parkstand vor ihnen frei wird. Erst wenn der Abfahrtszeitpunkt erreicht ist, verlässt das Fahrzeug seine Parkposition in Fahrtrichtung.

Es ist nicht auszuschließen, dass ein Fahrer in einer Parkstandreihe parkt, die nicht die gewünschte Abfahrtszeit bei der Einfahrt anzeigte. In diesen Fällen behindert der Fahrer andere Fahrzeuge. Es kann dann erforderlich sein, dass dahinter parkende Fahrzeuge die Parkstandreihe über die benachbarten Parkstandreihen (mit ähnlichen Abfahrtszeiten) seitlich verlassen müssen. Störungen können durch das eigene Fehlverhalten oder das Fehlverhalten anderer Nutzer verursacht werden. Zudem können defekte Fahrzeuge andere an der Weiterfahrt hindern.

Beispiele für mögliches Fehlverhalten sind, dass das Fahrzeug ohne Beachten der Abfahrtszeiten in einer schon teilweise belegten Parkstandreihe geparkt wird. Wenn die Fahrzeuge in der Parkstandreihe eine spätere Abfahrtszeit haben, so wird

der Fahrer des falsch geparkten Fahrzeuges selbstverschuldet an der Abfahrt gehindert. Wenn die Fahrzeuge in der Parkstandreihe eine frühere Abfahrtszeit haben, so behindert der Fahrer des falsch abgestellten Fahrzeuges die Abfahrt anderer Fahrzeuge (außer auf der hinteren Position).

Das unmittelbare Zusammenwirken von Nutzer und unterstützendem Steuerungsverfahren verdeutlicht Bild 23.

## 4 Steuerungsalgorithmische Grundkonzeption

### 4.1 Komponenten des Kompaktparkens

Die Steuerung für Kompaktparken soll in existierende ablauforganisatorische oder technische Gegebenheiten eingebunden werden. Dabei sind neue bislang nicht existierende Schnittstellen zu schaffen, die jedoch nicht im Fokus der hier vorge-

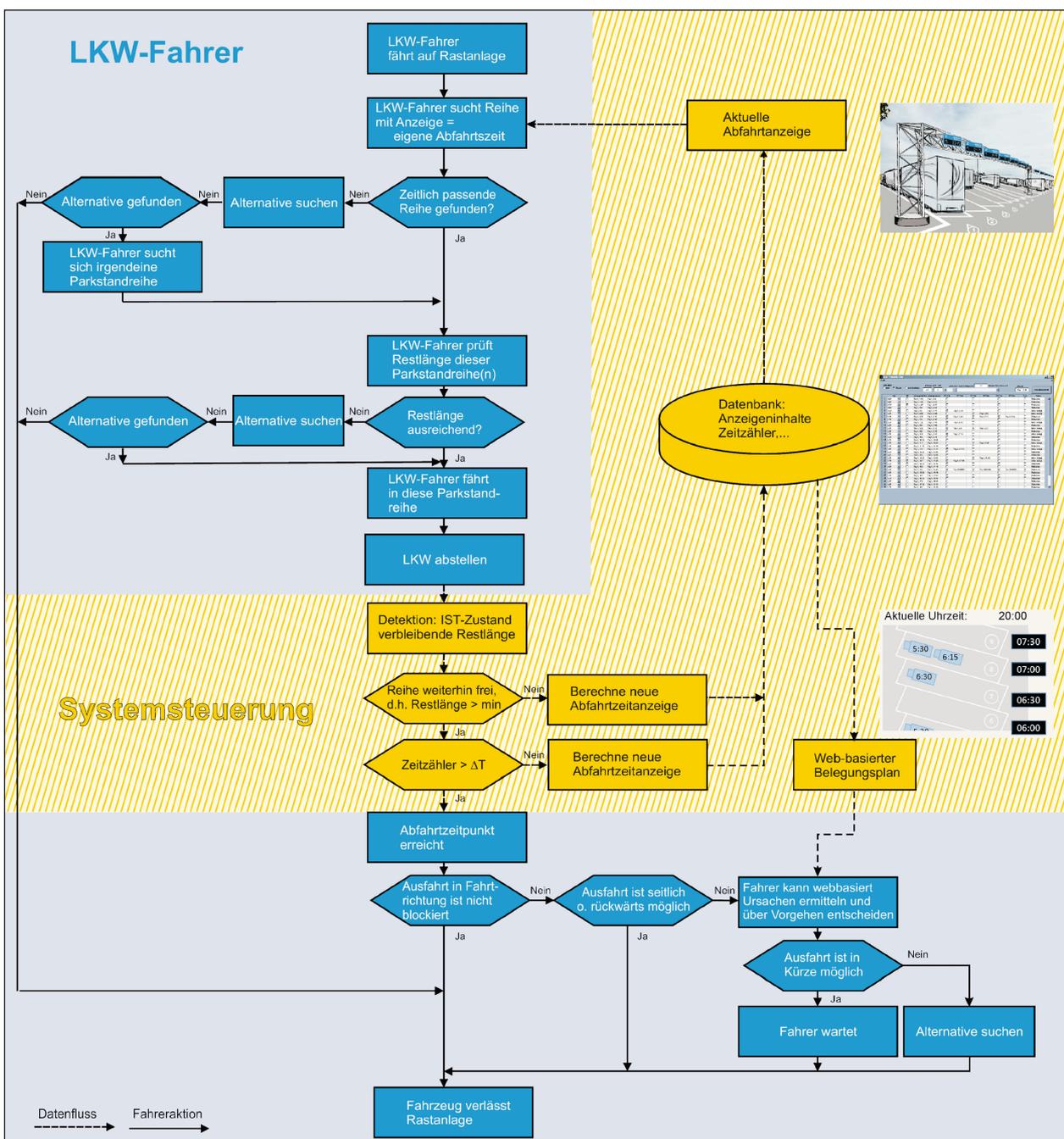
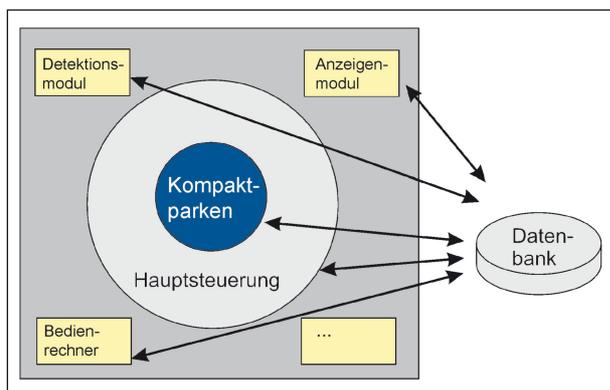


Bild 23: Interaktion zwischen Nutzer und Steuerung beim Kompaktparken (Quelle: BAST)

stellten Entwicklungen stehen. Die Beschreibung des Berechnungsalgorithmus für die Abfahrzeiten erfolgt daher nachfolgend ohne Bezug auf konkrete Einsatzbedingungen. Für die Entwicklung der Kompaktparkensteuerung wurden jedoch grundlegende Annahmen getroffen (Bild 24):

1. Der gesamte Datenaustausch und die Archivierung sollen über eine Datenbank (DB) geschehen, die als Datenverteiler und als Archivsystem genutzt werden soll.
2. Ein Bedienrechner dient der Visualisierung, der Änderung von Konfiguration und Parametrierung und stellt Auswertefunktionen zur Verfügung (z. B. Bereitstellung von Belegungsplänen, also die Dokumentation eines Parkvorgangs und die zu diesem Zeitpunkt angebotene Abfahrzeit in dieser Parkstandreihe).
3. Ein Detektionsmodul (vgl. Kapitel 3.3.2) ermittelt aus Daten der Sensoren für jede Parkstandreihe einen Belegungszustand und trägt diesen in die Datenbank ein. Zusätzlich wird bei Änderungen die verfügbare Restlänge jeder Parkstandreihe dokumentiert.
4. Es gibt eine Hauptsteuerung (vgl. Kapitel 4.2), welche die Übergänge der Betriebszustände in der Kompaktparkensteuerung steuert.
5. Die Kompaktparkensteuerung liest die Belegungszustände aus der Datenbank aus, ermittelt unter Berücksichtigung der aktuellen Uhrzeit die Abfahrzeiten für jede Parkstandreihe und schreibt diese in die Datenbank (vgl. Kapitel 4.3).
6. Ein (Abfahrzeit-)Anzeigenmodul aktualisiert die Abfahrzeitanzeigen kontinuierlich auf der Grundlage der in der Datenbank hinterlegten Abfahrzeiten (vgl. Kapitel 3.2.4).



**Bild 24:** Komponenten des Kompaktparkens (Quelle: BAST)

Es wird von einer zeitgesteuerten Kommunikation aller Komponenten über die Datenbank ausgegangen, d. h. jede Komponente liest und schreibt zeitgesteuert in der Datenbank. Ergeben sich Änderungen, reagieren die Komponenten entsprechend.

## 4.2 Betriebszustände

Die Hauptsteuerung soll die Kompaktparkensteuerung beim Übergang in die verschiedenen Betriebszustände koordinieren und auf Eingriffe der Operatoren reagieren (Bild 25). Der Start der Hauptsteuerung erfolgt im Betriebszustand „HALT“. Nach dem Start aller Module befindet sich die Hauptsteuerung im Betriebszustand „BETRIEB“, solange bis diese seitens eines Operators gestoppt wird und wieder in den Betriebszustand „HALT“ übergeht.

Kompaktparken läuft grundsätzlich automatisch. In begrenztem Umfang sind manuelle Eingriffe jederzeit möglich. Für die Hauptsteuerung relevante manuelle Eingriffe sind:

- Start/Stop der Steuerung (Wechsel von und nach „AUS“),
- Änderungen von Parametern und Konfiguration.

Solange die Hauptsteuerung im Betriebszustand „BETRIEB“ ist, befindet sich das Kompaktparkenmodul wiederum in verschiedenen Betriebszuständen:

- „Aus“ (Anzeigen dunkel),
- „Halt“ (Anzeigen dunkel mit einem leuchtenden LED-Punkt oder Strich),
- „Initialisierung“ (Anzeigen mit Sperrkreuz bzw. Abfahrzeiten),
- „Normalbetrieb“ (Anzeigen mit Abfahrzeiten).

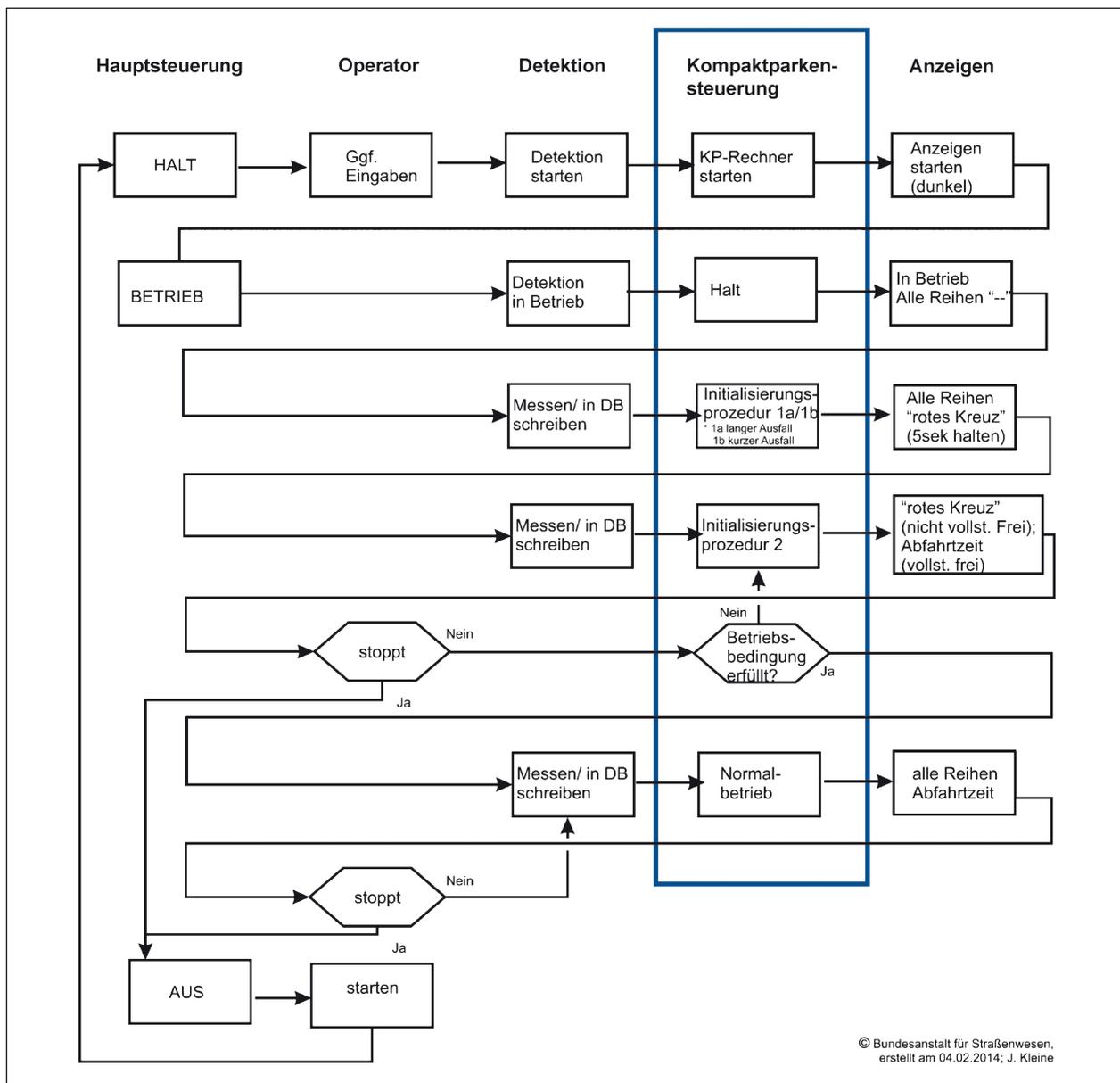
Im Betriebszustand „Aus“ ist das Kompaktparkenmodul außer Betrieb, die Abfahrzeitanzeigen sind dunkel und die Fahrzeuge parken nach konventioneller Parkstandordnung. Der Zustand „Aus“ kann nur nach manueller Freigabe durch den Operator innerhalb der Hauptsteuerung beendet werden („KP-Rechner starten“). Ein Übergang in den Betriebszustand „Halt“ ist dann nach dem Start des Kompaktparkenmoduls durch die Hauptsteuerung möglich. Der Betriebszustand „Halt“ ist dem Betriebszustand „Aus“ ähnlich: Es parken Lkw nach

konventioneller Parkstandordnung (oder gehen in diese über) jedoch mit aktiver Detektion und Abfahrtzeitanzeigen (Abfahrtzeitanzeigenbild „dunkel mit einem leuchtenden LED-Punkt/Strich“).

Für bestimmte Ereignisse kann die Anordnung „Halt“, d. h. außer Betrieb mit konventioneller Parkstandordnung, sinnvoll sein. Beispiele sind:

- Samstag oder Montag ist Feiertag,
- mindestens 2 Feiertage aufeinander folgend,
- Juli/August mit Samstag- und Sonntagfahrverbot,
- Wintereinbruch mit unbestimmter Aufenthaltszeit der Fahrzeuge.

Der Übergang von „Halt“ in den Betriebszustand „Initialisierung“ erfolgt, sobald Detektion und Anzeigen im Betriebszustand sind und ggf. weitere zu definierende Bedingungen erfüllt sind. Das Anzeigebild, welches im Betriebszustand „Initialisierung“ ermittelt wird, hängt davon ab, wann das Kompaktparkenmodul zuletzt im Zustand „Normalbetrieb“ war. Ist dieser Zeitraum kurz (d. h. kurzzeitiger Ausfall), werden alle zuletzt angezeigten Abfahrzeiten unmittelbar angeboten, wenn sich deren Restlängen nicht verändert haben bzw. bei Änderung der Restlänge werden diese Reihen gesperrt (sofern detektierbar). Bei längerem Ausfall werden alle Reihen gesperrt. Der Betriebszustand „Initialisierung“ wird beibehalten, bis allen erstmals



© Bundesanstalt für Straßenwesen, erstellt am 04.02.2014; J. Kleine

Bild 25: Zusammenspiel der Komponenten für Kompaktparken (Quelle: BAST)

vollständig frei gewordenen Parkstandreihen eine Abfahrtszeit zugeordnet wurde.

Erst wenn alle (nicht manuell gesperrten) Parkstandreihen eine Abfahrtszeit anzeigen, erfolgt der Übergang von „Initialisierung“ in den Betriebszustand „Normalbetrieb“. Für den Übergang von „Initialisierung“ in „Normalbetrieb“ können weitere Übergangsbedingungen definiert werden. Dies kann z. B. sein, dass nicht alle sondern eine parametrierbare Anzahl der im Rahmen der „Initialisierung“ gesperrten Reihen mit einer Abfahrtszeit versehen wurden.

Ein Sonderfall ist ein kurzer Ausfall der Datenbank oder Kommunikation: Da alle Module ihren aktuellen Zustand über eine parametrierbare Zeit beibehalten, kann in diesem Fall mit den fortlaufend angezeigten Abfahrtszeiten der Übergang unmittelbar (ohne Prüfung der Restlängenänderung) von „Initialisierung“ zu „Normalbetrieb“ erfolgen. Der direkte Übergang von „Halt“ zu „Normalbetrieb“ soll nicht ermöglicht werden.

Die Unterscheidung der Betriebszustände in „Initialisierung“ und „Normalbetrieb“ ergibt sich daraus, dass je nach Anzahl vollständig freier Reihen andere Parameter für die beiden Betriebszustände sinnvoll sein können. Das Prinzip der Errechnung der Abfahrtszeiten ist jedoch identisch. Bei der „Initialisierung“ wird allerdings eine fest konfigurierte Verteilung von Reihen für Kurz- und Langzeitparken zugrunde gelegt (z. B. Parkstandreihe 1-10 KZP und ab Parkstandreihe 11 LZP). Weiterhin können Parameter für die Initialisierung in Abhängigkeit der Anzahl vollständig freier Reihen definiert werden.

Ausgehend vom Betriebszustand „Initialisierung“ erfolgt der Übergang in den Betriebszustand „Halt“, wenn die definierten Bedingungen für den Übergang von „Initialisierung“ in „Normalbetrieb“ nicht erfüllt sind oder der Operator (innerhalb der Hauptsteuerung) entsprechend eingreift (stoppen). „Halt“-Bedingungen könnten z. B. sein

- wenn die Anzahl der zur Verfügung stehenden Detektoren unter einem parametrierbaren Wert liegt oder die Anzahl verfügbarer Abfahrtszeitanzeigen einen Parameter unterschreitet (Parameter `Min_Verfüg_Detektion`; `Min_Verfüg_Abfahrtszeitanzeigen`),
- wenn alle oder sehr viele Reihen (Parameter `Min_vollst_Frei`) im Rahmen der „Initialisierung“ gesperrt werden müssen,

- wenn der Zustand „Halt“, d. h. außer Betrieb mit konventioneller Parkstandordnung, aufrecht erhalten werden soll.

Bei Störungen (z. B. eine parametrierbare Anzahl Abfahrtszeitanzeigen oder Detektoren ist defekt) wird der Operator informiert und entscheidet, ob die Hauptsteuerung in den Zustand „HALT“ (von dort ggf. in „AUS“) übergehen soll. Dies kann auch automatisiert werden.

### 4.3 „Normalbetrieb“ Kompaktparken

Im Rahmen des Normalbetriebs ist für die Errechnung der Abfahrtszeiten eine „Normalprozedur“ für die Kompaktparkensteuerung hinterlegt (Bild 26). Alle nachfolgenden Ablaufdiagramme dienen der schematischen Veranschaulichung prinzipieller Prozesse der Kompaktparkensteuerung. Eine andere algorithmische Umsetzung der Steuerung ist möglich, wenn die aufgestellten Anforderungen erfüllt werden.

Eingangsgrößen für die Kompaktparkensteuerung sind:

- manuell gesperrte Parkstandreihen,
- Betriebszustand der Detektoren und Abfahrtszeitanzeigen (defekt),
- aktuelle Uhrzeit,
- Ereignisse (z. B. Sonn- und Feiertage), Ereigniskalender,
- aktuell angezeigte Abfahrtszeiten jeder Parkstandreihe,
- Belegungszustand jeder Parkstandreihe,
- Gruppenzugehörigkeit jeder Parkstandreihe,
- Parameter.

Aus diesen Eingangsgrößen leitet die Kompaktparkensteuerung ein Abfahrtszeitenangebot ab. Die Berechnung basiert immer auf dem aktuellen Zustand und den aktuellen Eingangsgrößen – nicht jedoch auf vergangenen Daten/Zuständen.

Ausgangsgrößen der Kompaktparkensteuerung sind:

- berechnete anzuzeigende Abfahrtszeiten jeder Parkstandreihe,
- Gruppenzugehörigkeit jeder Parkstandreihe.

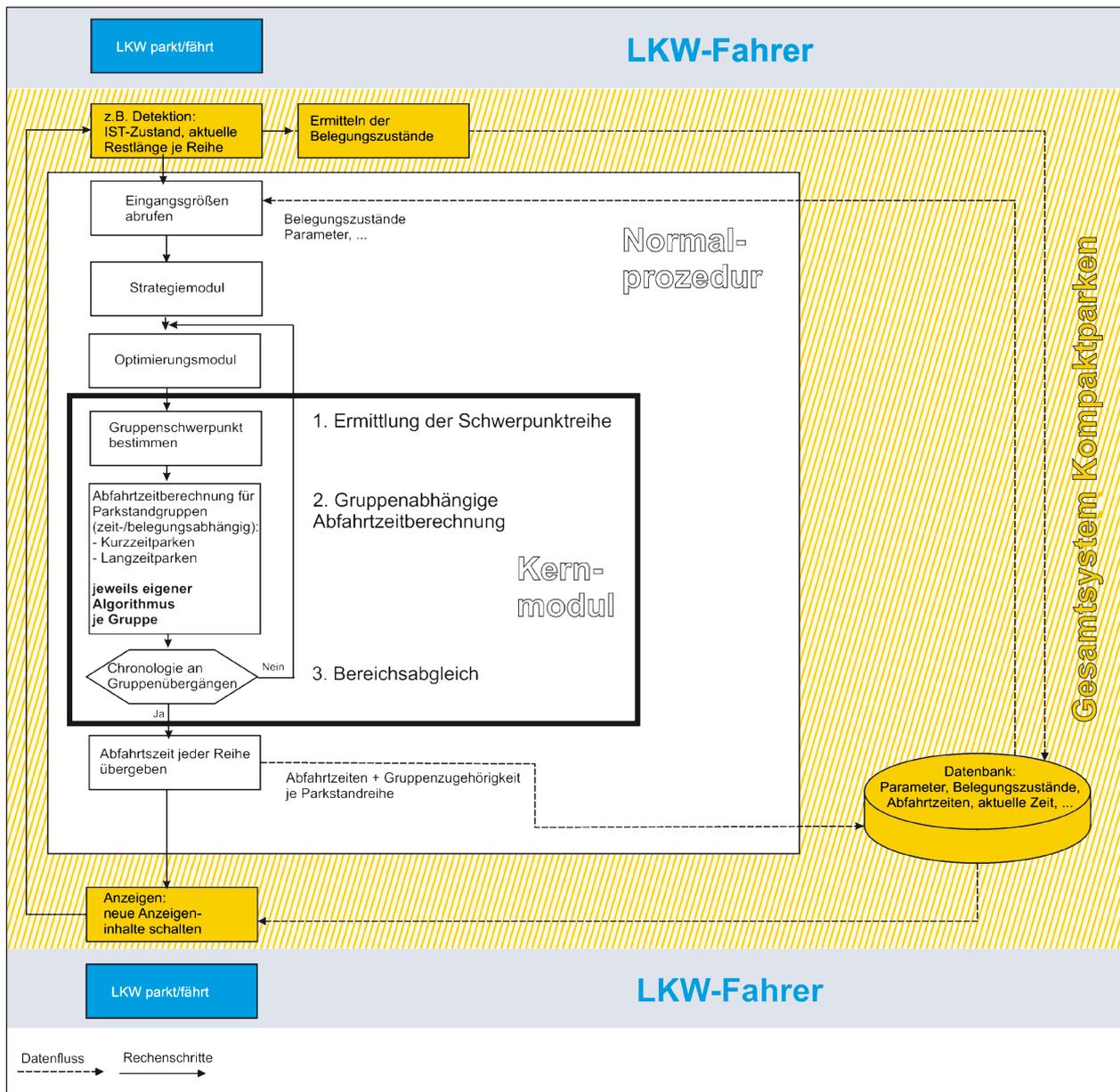


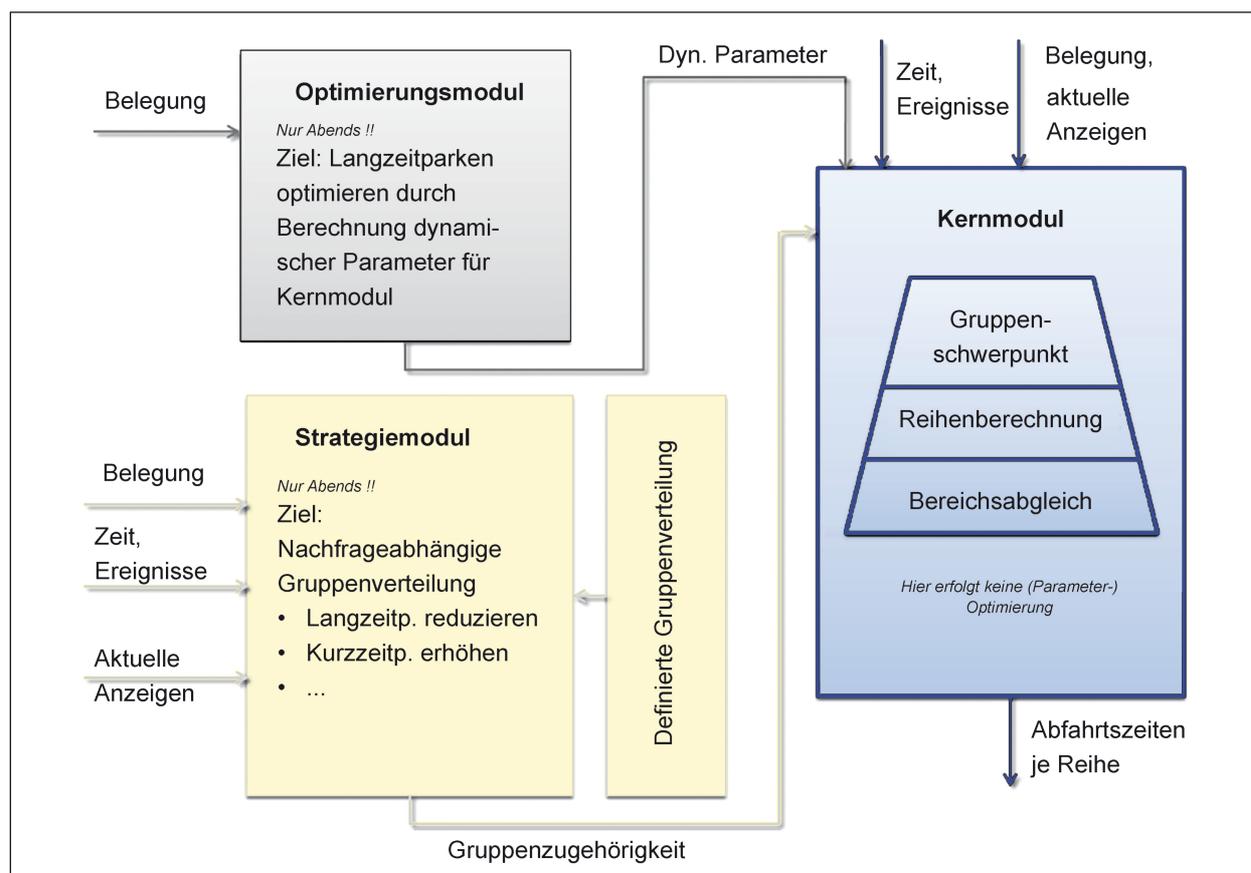
Bild 26: Normalprozedur des Kompaktparkens (Quelle: BAST)

Die Berechnung der Ausgangsgrößen erfolgt (parametrierbar) zeitgesteuert. Dabei ergeben sich augenscheinlich nur Änderungen in den Ausgangsgrößen in 3 Fällen:

- Fall 1  
Zeitkriterium (inkl. Ereignisse) erfüllt – die Abfahrtszeitanzeigen werden fortgeschrieben,
- Fall 2  
Belegungskriterium A: „eine Parkstandreihe wird ‘vollständig belegt’“,
- Fall 3  
Belegungskriterium B: „eine Parkstandreihe wird ‘vollständig frei’ oder ‘frei’“.

Die Normalprozedur soll in diskreten Zeitschritten (Parameter; z. B. alle 5 Sekunden) die Abfahrtszeiten berechnen. Mit fortschreitender Zeit (Fall 1) ergibt sich rechnerisch eine fortgeschriebene Abfahrtszeit. Da die Abfahrtszeit nicht in Minutenschritten, sondern übersichtlich in parametrierbaren Zeitschritten angezeigt werden soll, werden die rechnerischen Abfahrtszeiten gerundet (also gerundet auf 10, 15, 30 oder 60 Minuten). Je nach Rundungsstrategie (grundsätzlich aufrunden oder mathematisch auf-/abrunden) ergeben sich augenscheinliche Aktualisierungszeitpunkte.

Die Belegungskriterien A und B führen ebenfalls zur Aktualisierung der Abfahrtszeiten. Fall 2, eine Park-



**Bild 27:** Zusammenwirken der Module in der Normalprozedur (Quelle: BAST)

standreihe wird vollständig belegt, muss zu einer sofortigen Aktualisierung führen. Im Fall 3, eine Parkstandreihe wird „vollständig frei“ oder „frei“, erfolgt die Aktualisierung insofern verzögert, als dass die rechnerische Abfahrtszeit in dieser Parkstandreihe kleiner ist als die aktuell angezeigte, sodass eine Fortschreibung augenscheinlich erst mit der nächsten zeitlichen Aktualisierung möglich ist.

Die Normalprozedur des Kompaktparkens ist in drei Module gegliedert (siehe Bild 27).

Das Kernmodul umfasst alle Funktionen, die für die belegungs- und zeitabhängige Berechnung der Abfahrtszeiten erforderlich sind. Dabei sind gruppenabhängige Regeln hinterlegt, nach denen zunächst der Gruppenschwerpunkt ermittelt wird und anschließend die Abfahrtszeiten aller Parkstandreihen der Gruppen errechnet werden. Im Bereichsabgleich wird geprüft, ob die errechneten Abfahrtszeiten größer als die aktuell angezeigten Abfahrtszeiten sind und eine in Fahrtrichtung aufsteigende Chronologie der Abfahrtszeiten besteht.

Das Strategiemodul übernimmt die Aufgabe, alle im Laufe des vorherigen Abends vorgenommenen

Anpassungen (Erweiterung des Langzeitparkens), in eine definierte Ausgangslage zurückzuführen. Das Strategiemodul ist erforderlich, um nicht von einer hochgenauen „vollständig frei“-Detektion abhängig zu sein: Da angezeigte Abfahrtszeiten nur durch zeitlich spätere Abfahrtszeiten ersetzt werden dürfen, muss bereits in den Abendstunden eine morgendliche Verteilung des Kurzzeitparkens vorbereitet werden. Im Strategiemodul ist hinterlegt wie die Anzahl Parkstandreihen je Gruppe zu reduzieren oder zu erhöhen ist. Ebenfalls soll zu bestimmten Zeitpunkten vorausschauend festgelegt werden, wie sich die Gruppen auf die verfügbaren Reihen verteilen. Das Strategiemodul dient nicht dazu, einen definierten Zustand zu erzwingen, sondern die dazu notwendigen theoretischen Voraussetzungen zu schaffen. Das Kernmodul berücksichtigt die Belegung, sodass sich dennoch ein belegungsabhängiges Abfahrtszeitenanzeigenspektrum zu jedem Zeitpunkt ergibt.

Im Optimierungsmodul werden Steuerungsparameter dynamisch an die Nachfrage angepasst. Hier sind Regeln und Randbedingungen definiert, die zur Optimierung des Langzeitparkens am Abend wichtig

sind. Die dabei berechneten Größen sind in erster Linie belegungsabhängige dynamische Parameter, die im Kernmodul sofort Berücksichtigung finden.

#### 4.3.1 Strategiemodul

Die Steuerung berücksichtigt zwei Nachfragetypen, die sich aus der Auswertung bekannter Aufenthaltszeiten von Lkw ergeben haben. Aus diesen ergeben sich zunächst zwei Parkstandgruppen des Kompaktparkens:

- Kurzzeitparken 15 Minuten bis 3,5 Stunden (KZP),
- Langzeitparken zwischen ca. 9 und 11 Stunden (LZP) mit Minimum 3,5 Stunden.

Für Sonn- bzw. einzelne Feiertage (SFP) ist ggf. eine zusätzliche Parkstandgruppe zu ergänzen. Aufgrund fehlender Nachfragedaten zu Sonn- und Feiertagen wird hier zunächst eine vereinfachte Festzeitsteuerung vorgeschlagen, die ggf. anzupassen und bedarfsgerecht zu erweitern ist. Folgen mehrere Feiertage aufeinander, scheint die konventionelle Parkstandordnung aufgrund einer deutlich reduzierten Nachfrage sinnvoll.

Je nach Auslastung (abgeleitet aus der Anzahl vollständig belegter Reihen) ergibt sich eine bestimm-

te Verteilung der zwei Parkstandgruppen über alle Parkstandreihen. Das Verfahren soll tagsüber mehr Reihen für Kurzzeitparken freigeben als nachts. In den Abendstunden können zunehmend mehr Reihen des Kurzzeitparkens für das Langzeitparken genutzt werden.

Priorität beim Kompaktparken hat das Langzeitparken. Wenn es jedoch nicht nachgefragt wird, werden bei Bedarf automatisch mehr Parkstandreihen für das Kurzzeitparken angeboten. Eine zunehmende Belegung beim Langzeitparken reduziert die Anzahl der Parkstandreihen für das Kurzzeitparken. Es gibt darüber hinaus keine expliziten Prioritäten der Parkstandgruppen. Diese sind indirekt in den Regeln und Parametern zur zeit- und belegungsabhängigen Gruppenverteilung berücksichtigt (siehe Bild 28).

In Bild 28 wird eine Bedingung überwacht, welche eine dynamische Gruppenausbreitung ermöglicht bzw. verhindert (Dynamik ein/aus). Hintergrund ist, dass Anzeigen in Parkstandreihen, die zuvor Zeiten des LZP angeboten haben, keine Zeiten des KZP darstellen können, da diese rechnerisch kleiner sind und nicht angezeigt werden dürfen. Soll morgens jedoch mehr Kurzzeitparken angeboten werden als nachts, müssen diese Parkstandreihen bereits nachts der Gruppe KZP zugeordnet werden, obwohl die Auslastung im LZP sehr hoch ist.

Nummer	Anforderung
STRA 1.0	Parkstandgruppen sind so zu sortieren, dass die Abfahrzeiten in Fahrtrichtung aufsteigend sind. Kurzzeitparken wird immer in Fahrtrichtung zuerst angeboten und im weiteren Verlauf schließt sich Langzeitparken an. Sofern vorhanden sind weitere Parkstandgruppen logisch sortiert zu ergänzen.
STRA 2.0	Parkstandgruppen können sich belegungsabhängig ausbreiten und bis auf ein Minimum reduziert werden. Maßgeblich ist der Auslastungsgrad der Parkstandgruppen, welche sich auf der Basis vollständig belegter Parkstandreihen je Parkstandgruppe ergeben.
STRA 2.1	Es können Regeln vorgesehen werden, die eine belegungsabhängige Veränderung der Parkstandgruppengröße unterbindet. Es ist dann (für eine bestimmte belegungsabhängig zu ermittelnde Zeit) für jede Parkstandreihe eine vorgegebene Parkstandgruppe gültig. Es soll hierfür keine Uhrzeit hinterlegt werden, ab/bis wann eine vorgegebene Parkstandgruppe gültig ist: Der Moment, ab dem keine belegungsabhängige Zuordnung der Parkstandgruppe erfolgen soll, soll stattdessen mit dem Parameter Wunschwechselzeit beschrieben werden: Die Wunschwechselzeit beschreibt die aktuell angezeigte Abfahrzeit einer bestimmten Parkstandreihe (sog. Grenzreihe). Wird die definierte Wunschwechselzeit in der Grenzreihe (belegungsabhängig errechnet) angezeigt, gilt bis zum Erreichen der zweiten Wunschwechselzeit eine unveränderte Zugehörigkeit der Reihen zu den Parkstandgruppen.
STRA 2.2	Jede Parkstandreihe gehört zu jedem Zeitpunkt genau einer Parkstandgruppe an.
STRA 3.0	Falls das Minimum einer Parkstandgruppe Null ist, so muss eine Regel definiert werden, wann (bzw. bei welchen belegungsabhängigen Bedingungen) diese Gruppe wieder angeboten werden soll. LZP und KZP sollen jederzeit vorhanden sein (Minimum > 0).
STRA 4.0	Parameter: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestgröße je Gruppe ... Minimum</li> <li>• Wunschwechselzeit ... W1 (Beginn) und W2 (Ende) bezogen auf Grenzreihe(n).</li> <li>• Grenzreihe(n).</li> <li>• Auslastungsgrade</li> </ul>

Tab. 6: Anforderungen an das Strategiemodul der Kompaktparkensteuerung

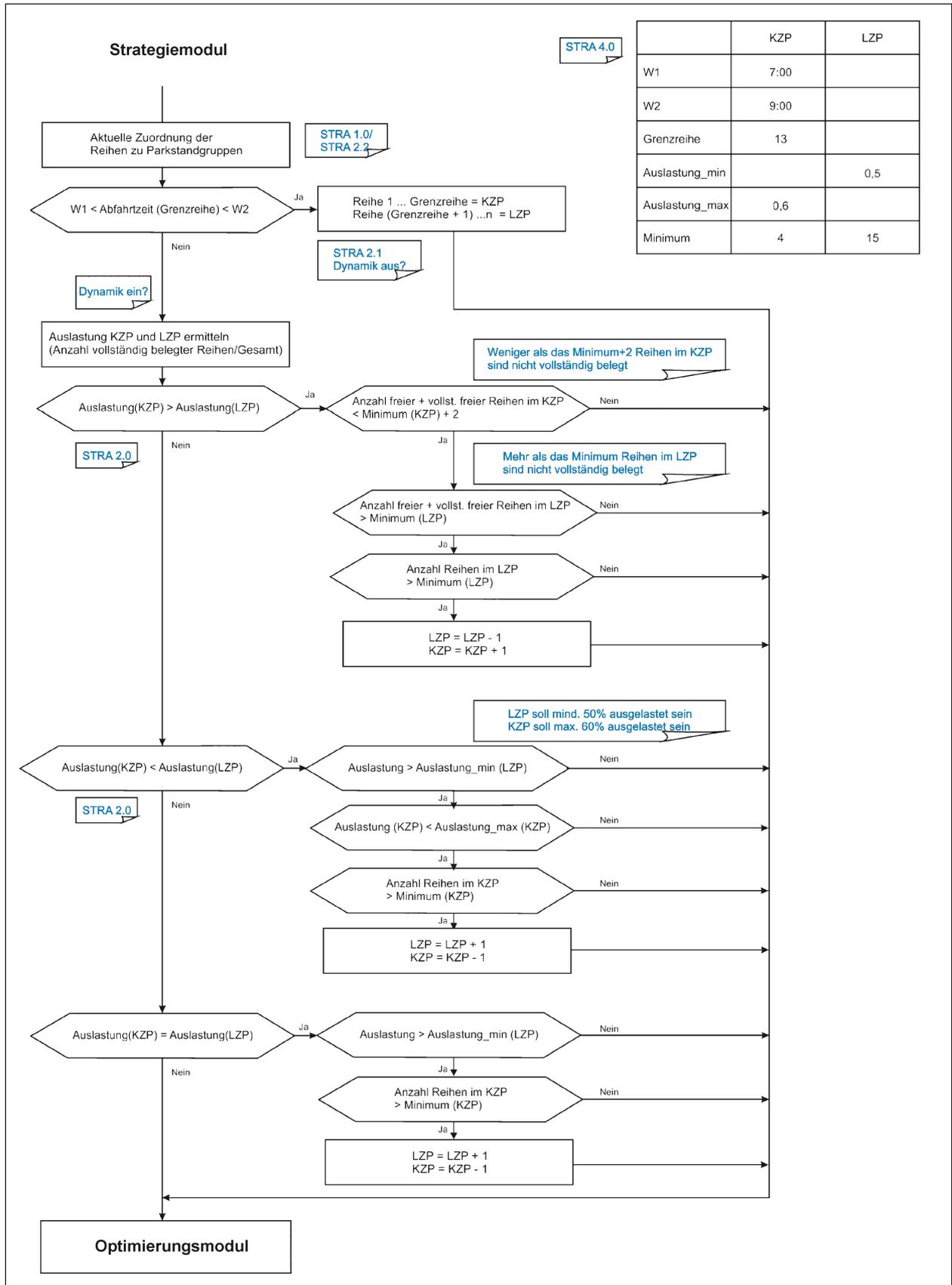
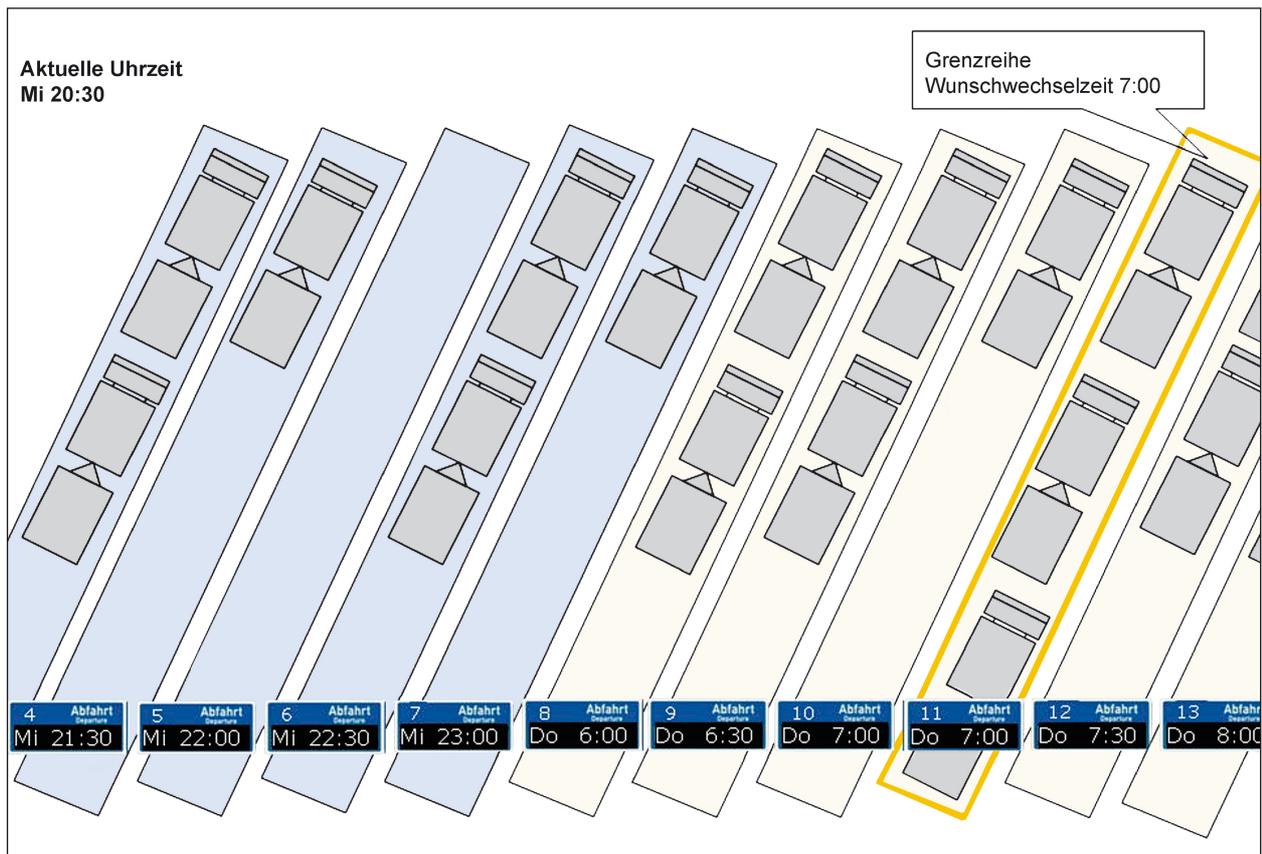


Bild 28: Ablaufdiagramm des Strategiemoduls für die Ermittlung der Gruppengrößen LZZ und KZP



**Bild 29:** Verteilung der Parkstandgruppen zum Zeitpunkt des Gruppenwechsels (Quelle: BAST)

Die Auswertung der Nachfragedaten hat jedoch keine Uhrzeit ergeben, zu der ein solcher Wechsel idealerweise stattfinden sollte. Daher soll der Wechsel insofern belegungsabhängig ermittelt werden, als dass die Abfahrtszeit einer bestimmten Parkstandreihe (sog. Grenzreihe) überwacht wird. Wird eine bestimmte, sich belegungsabhängig ergebende Abfahrtszeit in der Grenzreihe angeboten, werden alle Reihen bis dahin dem KZP zugeordnet und somit nicht mehr mit Zeiten des LZP fortgeschrieben.

Wie beispielhaft im Bild 29 dargestellt, kann also nach dem Wechsel der Reihen 8 bis 11 von Lang- zu Kurzzeitparken dort keine Abfahrtszeit vor 6:00 bzw. 7:00 Uhr angezeigt werden. Erst ab ca. 5:30 ergeben sich in diesem Beispiel rechnerische Abfahrtszeiten des Kurzzeitparkens, die in den Reihen 8 bis 11 angezeigt werden können (Bild 30). Ab dieser Zeit ist auch mit einer zunehmenden Nachfrage beim Kurzzeitparken zu rechnen.

Erfolgt der Wechsel zu früh, wird das Angebot für Langzeitparken möglicherweise nicht vollständig genutzt. Ein zu später Wechsel verhindert die Nut-

zung dieser Reihen für die Kurzzeitparknachfrage in den frühen Morgenstunden. Die feste Aufteilung der Gruppenzugehörigkeit, ohne dynamische Gruppenverteilung, soll bis zu einem bestimmten Zeitpunkt gelten. Dieser Zeitpunkt ergibt sich ebenfalls belegungsabhängig, indem in der Grenzreihe das Überschreiten einer zweiten definierten Wunschwechselzeit überwacht wird (Parameter z. B. 9:00 Uhr).

Zu allen anderen Zeiten berechnet sich die Verteilung der Gruppengröße dynamisch gemäß der Bedingungen in Bild 28. Der Algorithmus wechselt die Gruppenzugehörigkeit einer Parkstandreihe unabhängig von ihrer aktuellen Belegung. Beim Wechsel einer Parkstandreihe von Kurzzeitparken zu Langzeitparken können die vorderen Parkstände, die noch durch Kurzzeitparker belegt sind, unter Umständen durch Langzeitparker auf der hinteren Position blockiert werden. Je nach Zeitpunkt des Verlassens der Parkstände in vorderer Position (vor 00:00 Uhr), könnten freie Parkstände an vorderer Position zu Fehlverhalten führen (rückwärts einfahren). Lösungen für einen verbesserten Gruppenwechsel sind ggf. zu entwickeln.

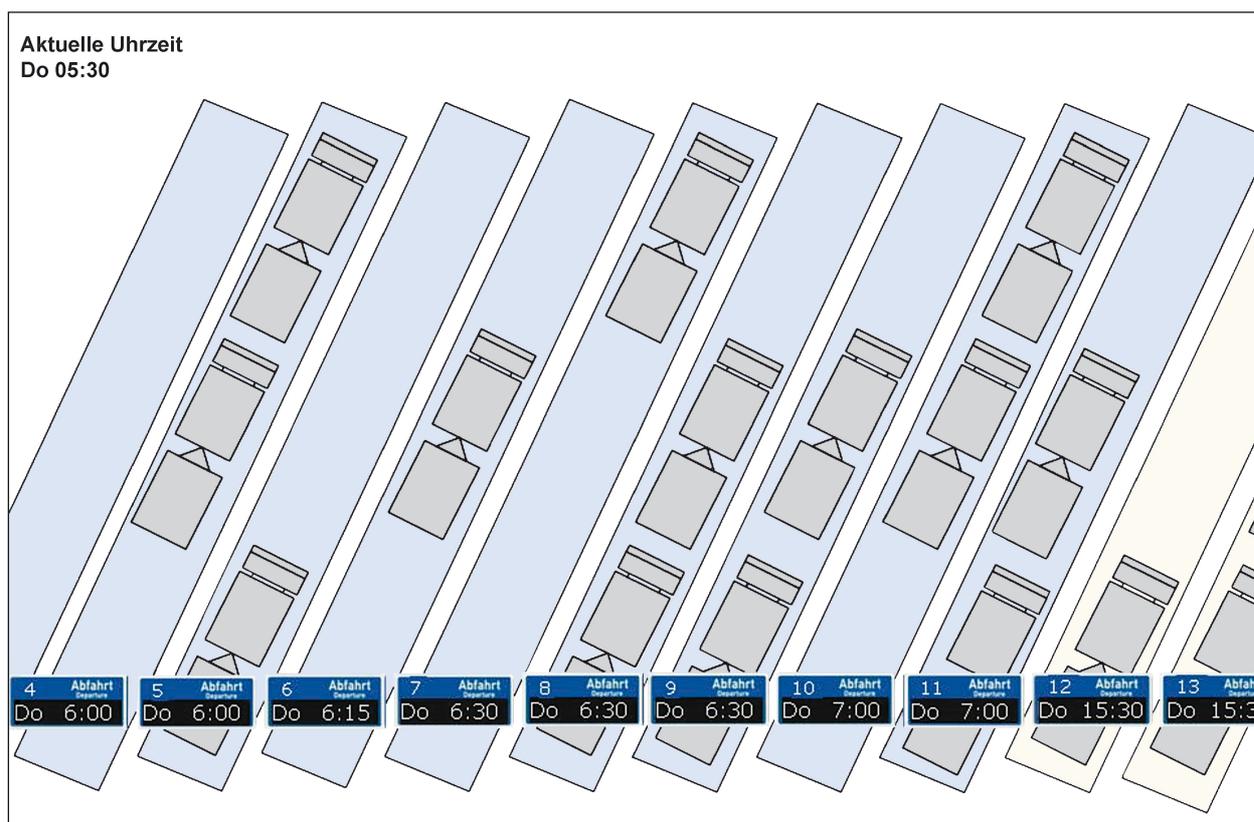


Bild 30: Verteilung der Parkstandgruppen nach Gruppenwechsel im weiteren Verlauf (Quelle: BAST)

### 4.3.2 Optimierungsmodul

Im Rahmen der Entwicklung des Steuerungsalgorithmus zeigte sich der Bedarf, Parameter belegungsabhängig anzupassen, um ein der Nachfrage angepasstes Angebot zu ermitteln ohne am eigentlichen Kernmodul Änderungen vorzunehmen. Die Optimierungsregeln zielen darauf ab, für das Langzeitparken in den Nachtstunden ein angemessenes Angebot bereitzustellen (Bild 31). Tabelle 7 fasst die Anforderungen an die belegungsabhängige Optimierung zur Parameterberechnung zusammen.

Neben der dynamischen Anpassung von Parametern ist zu prüfen, ob in Zeiten mit geringer Nachfrage das Spektrum angebotener Abfahrtszeiten dahingehend eingeschränkt werden soll, dass mehrere freie Parkstandreihen die gleiche Abfahrtszeit anbieten. Dies würde das klassische Parkverhalten der Nutzer unterstützen, in vorderer Position zu parken und jederzeit ungehindert abfahren zu können. Die Berechnung der Abfahrtszeiten würde im Prinzip unverändert bleiben, aber z. B. nur für jede (n-m)te-Reihe (m Parameter [2 ... 5], n letzte Parkstandreihe) eine Änderung der Abfahrtszeit ermitteln. Alle Parkstandreihen zwischen n, n-m, n-2 m etc. würden die Abfahrtszeit der benachbarten Reihe in Fahrtrich-

tung übernehmen (quasi als wären sie vollständig belegt). Der Algorithmus zur Ermittlung der Abfahrtszeiten im LZP ist standardmäßig mit  $m = 1$  konzipiert. Inwieweit m belegungs- und/oder zeitabhängig ermittelt werden soll ist noch festzulegen. Im Rahmen der Weiterentwicklungen ist zu prüfen ob eine gleichmäßigere Belegung der Parkstandreihe erreicht wird, wenn wahrscheinlich nachgefragte Abfahrtszeiten in mehreren benachbarten, nicht vollständig belegten Reihen angeboten werden.

Die angebotenen Abfahrtszeiten benachbarter Parkstandreihen werden mit einem zeitlichen Abstand von 30 Minuten angeboten. Stehen z. B. weniger als 6 Reihen zur Verfügung, können die Abfahrtszeiten in einem zeitlichen Abstand von Delta gleich 60 Minuten zwischen freien benachbarten Reihen angeboten werden, um weiterhin Aufenthaltszeiten zwischen 9 und 14 Stunden anbieten zu können.

Die Berechnung des Gruppenschwerpunktes (vgl. Kapitel 4.3.4) hängt vom Parameter k ab, welcher beschreibt, ob mehr Reihen mit Aufenthaltszeiten unter 11 Stunden oder über 11 Stunden angeboten werden sollen (Lage der Parkstandreihe mit einer Aufenthaltszeit von 11 Stunden innerhalb einer Parkstandgruppe).

Nummer	Anforderung
OPTI 1.0	Bezüglich der Parameter für die Schwerpunktberechnung (SCHP 4.1) gilt: wenn $\Sigma(\text{freie und teilweise belegte Reihen}) < 5$ (Parameter); dann $k = 1$ ; Anmerkung $k = 1$ bewirkt, dass die Aufenthaltszeit 9; 9,5; 10; 10,5; 11 Stunden verfügbar sind. (vgl. SCHP 4.1)
OPTI 2.0	Das Optimierungsmodul hat die Möglichkeit über die Erhöhung des Deltas zu bewirken, dass Randzeiten nicht entfallen (wenn bereits viele Reihen belegt sind, dann Delta erhöhen von 15 auf 30, von 30 auf 60 min) Wenn z. B. weniger als 3 Reihen im LZP verfügbar sind, ist zusätzlich das Delta zwischen den Reihen von 30 Min auf 1 h zu erhöhen (vgl. AKZP 5.0 und ALZP 5.0)
OPTI 3.0	Insbesondere beim LZP soll ein möglichst breites Spektrum der Abfahrtszeiten angeboten werden. In Zeiten geringer Nachfrage kann dies jedoch dazu führen, dass dies für die Nutzer unübersichtlich wird. Zudem wird dieses breite Spektrum auch nicht nachgefragt, sondern die Nutzer haben auch in Zeiten mit geringer Nachfrage beim LZP typische Aufenthaltszeiten von 9 bzw. 11 Stunden.  Unter der Randbedingung, dass die Auslastung sowohl beim Kurz- als auch Langzeitparken gering ist (oder definiert über bestimmte Tageszeiten) können gleiche typische Abfahrtszeiten in mehreren Parkstandreihen angeboten werden.  Hierfür kann über den Faktor $m$ bestimmt werden wie oft eine Abfahrtszeit auf benachbarten Parkstandreihen angeboten werden soll, auch wenn diese nicht vollständig belegt sind.  $m \dots$ Parameter zur Vervielfachung der Abfahrtszeiten in benachbarten Parkstandreihen mit [1, 2, 3, 4, 5]

Tab. 7: Anforderungen für die belegungsabhängige Optimierung der Parameter

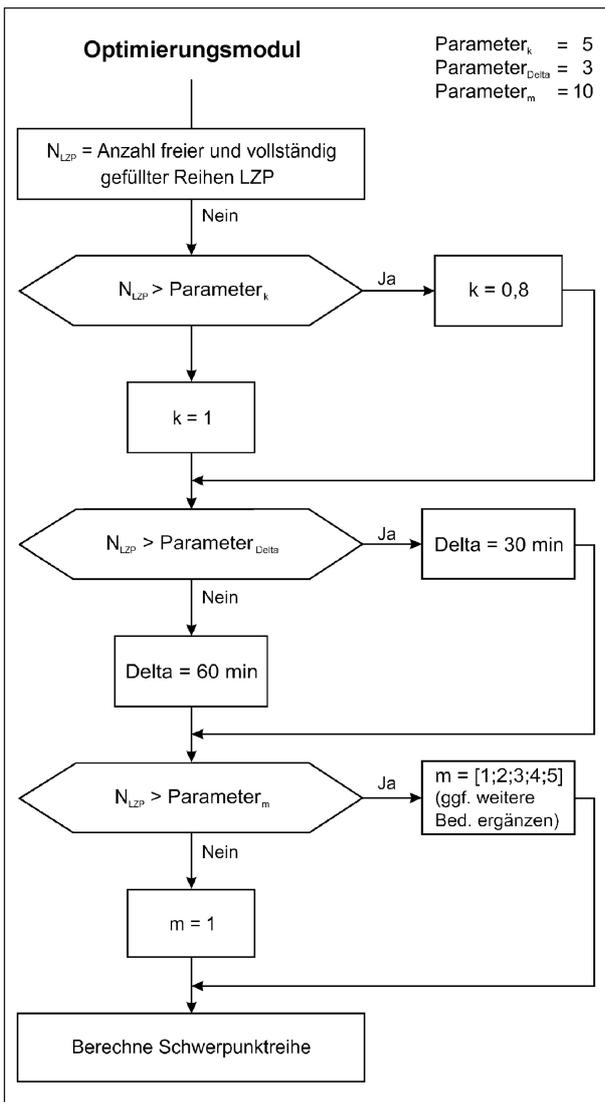


Bild 31: Ablaufdiagramm des Optimierungsmoduls

### 4.3.3 Kernmodul

Im Rahmen des Kernmoduls erfolgt für jede Parkstandreihe die gruppenabhängige Berechnung der Abfahrtszeit, welche jeweils über die zugehörige Abfahrtszeitanzeige darzustellen ist. Die Berechnung erfolgt immer auf Basis der aktuellen Belegungswerte und der aktuellen Zeit bzw. eines Ereignisses (Sonn- und Feiertage). Die aktuell angezeigten Abfahrtszeiten werden für den Vergleich herangezogen, ob die errechneten Abfahrtszeiten größer oder gleich der aktuell angezeigten Abfahrtszeiten sind.

Die Berechnung der Abfahrtszeiten erfolgt gruppenweise, d. h. es existieren unabhängige Algorithmen und Parameter für KZP und LZP. Es gibt dabei aber immer drei grundsätzliche Berechnungsschritte (vgl. Bild 26):

- Ermittlung der Schwerpunktreihe (Kapitel 4.3.4),
- gruppenabhängige Abfahrtszeitberechnung (Kapitel 4.3.5 und Kapitel 4.3.6)
- Bereichsabgleich (Kapitel 4.3.8).

Ausgangsgrößen, die von der Kompaktparkensteuerung in die Datenbank übergeben werden, sind die Abfahrtszeiten je verfügbarer Parkstandreihe, die zur Abfahrtszeitanzeige gebracht werden. Bei Änderungen der Gruppenzugehörigkeit von Parkstandreihen ist auch dies in der Datenbank zu hinterlegen.

#### 4.3.4 Dynamische Schwerpunktreihe

Die Schwerpunktreihe ist eine rechnerische Größe. An dieser Parkstandreihe orientiert sich die Verteilung aller Abfahrtszeiten einer Parkstandgruppe. In der Schwerpunktreihe soll die am meisten nachgefragte Abfahrtszeit angezeigt werden. Alle Reihen in Fahrtrichtung ausgehend von der Schwerpunktreihe haben eine um x-mal Delta erhöhte Abfahrtszeit. Reihen entgegen der Fahrtrichtung eine um x-mal Delta reduzierte Abfahrtszeit.

Der Schwerpunkt ist keine einmalig festgelegte Parkstandreihe, sondern soll sich dynamisch errechnen. Dies ermöglicht es, jede Parkstandreihe, abhängig von der tatsächlichen Nachfrage mit der am stärksten nachgefragten Abfahrtszeit zu belegen, sodass sich der gesamte Parkbereich vollständig füllen kann. Die dynamische Schwerpunktregel bewirkt, dass (nicht genutzte) Abfahrtszeiten durch die wahrscheinlichste Abfahrtszeit ersetzt werden. Tabelle 8 und Bild 32 fassen die Anforderungen an die Berechnung der dynamischen Schwerpunktreihe zusammen.

#### Langzeitparken

Erste Vorüberlegungen für den Fall von mindestens 20 Parkstandreihen im LZP haben gezeigt, dass die Lage der Schwerpunktreihe bezogen auf die Parkstandgruppe beim Langzeitparken bei ca. 80 % (parametrierbar) aller nicht vollständig belegten Reihen liegen sollte und dieser Parkstandreihe die aktuelle Uhrzeit plus 11 Stunden (parametrierbar) zugewiesen werden soll. Es ist so möglich, Abfahrtszeiten (Abhängig von der Anzahl nicht vollständig belegter Reihen im LZP) bis zu 14 Stunden Aufenthaltszeit

anzubieten. Gleichzeitig werden in den Reihen vor der Schwerpunktreihe kürzere Aufenthaltszeiten angeboten, die durch größere Abfahrtszeiten überschrieben werden können.

Verlagert sich der Schwerpunkt in Fahrtrichtung auf eine der letzten Parkstandreihen kann die rechnerische Aufenthaltszeit von 11 Stunden nicht in der Schwerpunktreihe angeboten werden (jedoch in einer der anderen Parkstandreihen). Es bewirkt jedoch, dass die Abfahrtszeiten der letzten Parkstandreihen nicht erhöht werden.

Der Schwerpunkt soll dynamisch errechnet werden und auf der Anzahl nicht „vollständig belegt“ Reihen einer Nachfragegruppe beruhen.

#### Kurzzeitparken

Die Berechnung läuft analog zum Langzeitparken ab.

Für das Kurzzeitparken gibt es jedoch eine Besonderheit zu beachten: Morgens, wenn sich das Kurzzeitparken wieder ausdehnt, kann der rechnerische Schwerpunkt auf eine Parkstandreihe fallen, die eine spätere Abfahrtszeit anzeigt als die Aufenthaltszeit von 60 Minuten (Parameter). Daher ist immer noch zu prüfen, ob in der errechneten Schwerpunktreihe eine aktuelle Abfahrtszeit angeboten werden kann, die mindestens 60 Minuten Aufenthaltszeit ermöglicht. Wenn nicht, ist die Schwerpunktreihe die erste nicht vollständig belegte Parkstandreihe (der KZP-Gruppe) mit einer anzeigbaren Aufenthaltszeit von 60 Minuten (wobei gilt, dass die „realisierbare Schwerpunktreihe“ kleiner ist als die „rechnerische Schwerpunktreihe“).

Nummer	Anforderung
SCHP 1.0	Die Schwerpunktreihe wird für jede Gruppe stets neu vor jeder Ermittlung der Abfahrtszeitanzeigehalte berechnet.
SCHP 2.0	Einer ermittelten Schwerpunktreihe wird die in der Gruppe am stärksten nachgefragte Aufenthaltsdauer zugewiesen. Es ist zu prüfen ob, die Schwerpunktreihe die Abfahrtszeit anzeigen kann.
SCHP 3.0	Die Schwerpunktreihe darf nur eine nicht vollständig belegte Parkstandreihe sein (außer alle Parkstandreihen einer Gruppe sind vollständig belegt).
SCHP 3.1	Die Schwerpunktreihe ermittelt sich aus der Summe aller freien und teilweise belegten Reihen, wenn die Summe größer Null ist.
SCHP 3.2	Bei der Initialisierung ist immer eine (Standard-)Schwerpunktreihe festgelegt (Konfiguration). Sind alle Parkstandreihen vollständig belegt, wird die Schwerpunktreihe gemäß Initialisierung übernommen, bis wieder mindestens eine Parkstandreihe (vollständig) frei ist.
SCHP 4.0	Die Parameter sind für jede Gruppe getrennt festzulegen. Jeder Parameter kann anhand bestimmter zeit- und belegungsabhängiger Regeln dynamisch errechnet werden (vgl. Optimierungsmodul).
SCHP 4.1	Empfehlung für die Parametrierung (für 35 Parkstandreihen): LZP: $k_{LZP} = 0,8$ KZP: $k_{KZP} = 0,7$

Tab. 8: Anforderung zur Berechnung der Schwerpunktreihe

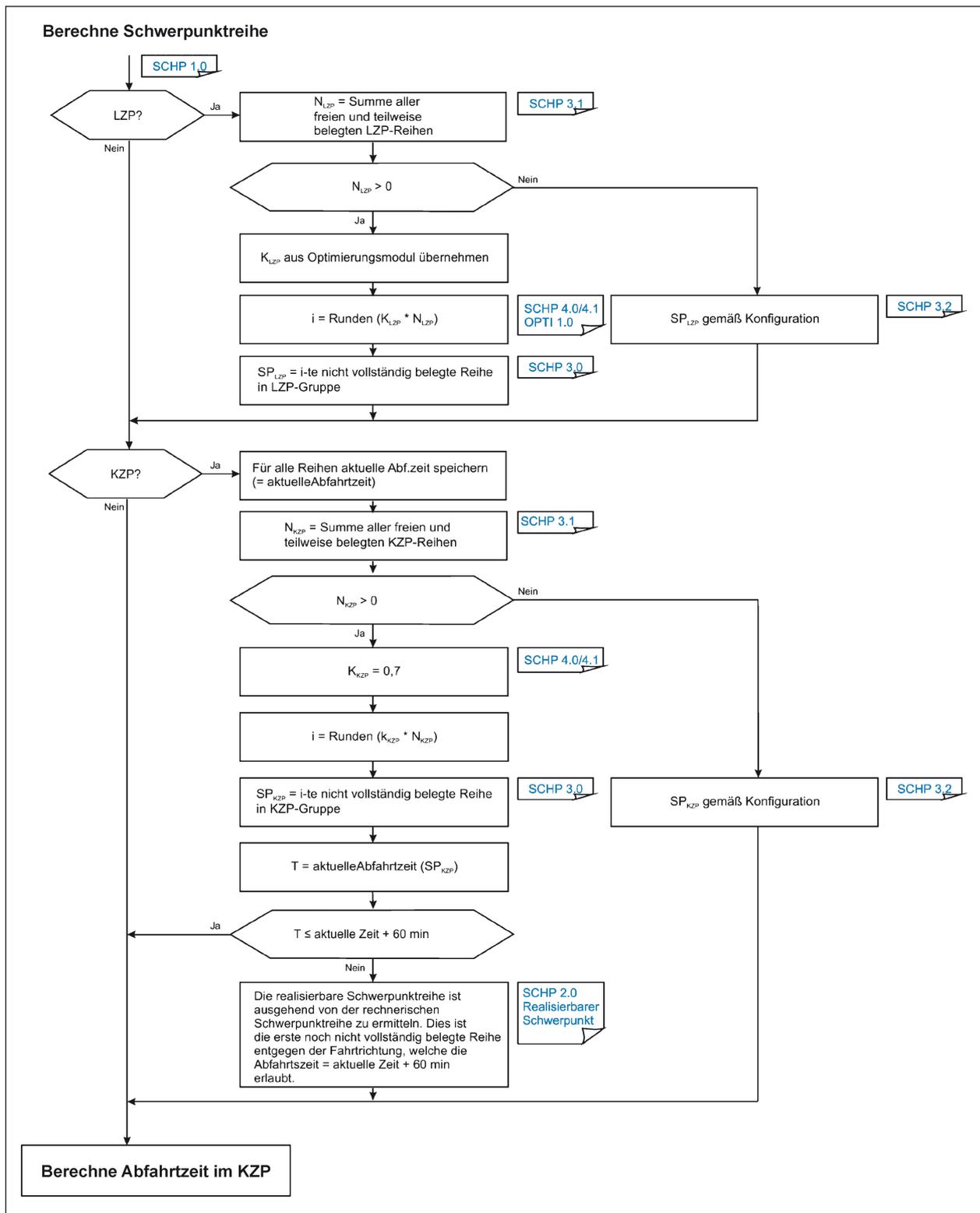


Bild 32: Ablaufdiagramm für die Ermittlung des dynamischen Schwerpunkts

#### 4.3.5 Berechnung der Abfahrtszeit- anzeigeninhalte beim Kurzzeitparken

Für jede Nachfragegruppe ist ein Algorithmus zur Errechnung der Abfahrtszeiten in Abhängigkeit der oben genannten Eingangsgrößen hinterlegt. Beim Kurzzeitparken werden Abfahrtszeiten für Aufenthaltszeiten bis 3,5 Stunden angeboten, wobei die Priorität auf 60 Minuten liegt. Alle Abfahrtszeiten nach der Schwerpunktreihe ergeben sich um 30 Minuten erhöht (weniger stark nachgefragt) bzw. vor der Schwerpunktreihe um 15 Minuten reduziert (stark nachgefragte Aufenthaltszeiten).

Die minimale Aufenthaltszeit soll über die gesamte Aktualisierungszeit verfügbar sein, d. h. zunächst wirkt die neue Zeit wie „aktuelle Zeit + 29 Minuten“, somit stehen durch die fortschreitende Uhrzeit bis kurz vor der nächsten Aktualisierung nur noch 15 Minuten zur Verfügung.

Tabelle 9 und Bild 33 fassen die Anforderungen zur Berechnung der Abfahrtszeiten beim Kurzzeitparken zusammen.

#### 4.3.6 Berechnung der Abfahrtszeit- anzeigeninhalte beim Langzeitparken

Beim Langzeitparken werden Abfahrtszeiten für Aufenthalte über 3,5 Stunden angeboten, wobei

die Priorität auf 11 Stunden liegt. Alle anderen Abfahrtszeiten ergeben sich ausgehend von der Schwerpunktreihe um 30 Minuten erhöht bzw. reduziert je nach Anzahl der verfügbaren Parkstandreihen.

Die Anforderungen zur Berechnung der Abfahrtszeiten sind in Tabelle 10 und Bild 34 zusammengefasst.

Für die Berechnung spielt die Abfahrtszeit der letzten Parkstandreihe eine entscheidende Rolle: Der Abgleich mit der aktuell in der letzten Reihe angebotenen Abfahrtszeit ist dann von Bedeutung, falls eine Parkstandreihe zwischen Schwerpunkt und letzter Parkstandreihe vollständig belegt wurde. Dann reduziert sich die Anzahl (N) freier Reihen zwischen Schwerpunkt und letzter Parkstandreihe und es ergibt sich rechnerisch eine frühere Abfahrtszeit für die letzte Parkstandreihe – die jedoch nicht angezeigt werden kann. Daher wird für die letzte Parkstandreihe geprüft, ob diese eine aktuell größere Abfahrtszeit anzeigt. Die Abfahrtszeit der letzten Parkstandreihe wird dann auf die größere Abfahrtszeit angehoben. Diese Prüfung soll jedoch nicht an Sonn- und Feiertagen erfolgen, da andernfalls mit dem erstmaligen Wechsel der Abfahrtszeit auf Sonn- bzw. Feiertag 22:00 in der letzten Parkstandreihe sich für alle anderen Reihen ebenfalls Sonn- bzw. Feiertagszeiten errechnen.

Nummer	Anforderung
AKZP 1.0	Abfahrtszeiten sind in Fahrtrichtung aufsteigend zu sortieren.
AKZP 2.0	Die Schwerpunktreihe bekommt beim Kurzzeitparken die Dauer 60 Minuten zugeteilt. Alle Parkstandreihen entgegen Fahrtrichtung ausgehend von Schwerpunktreihe bekommen eine um 15 Minuten reduzierte Abfahrtszeit. Alle Reihen in Fahrtrichtung ausgehend von Schwerpunktreihe bekommen eine um 30 Minuten erhöhte Dauer zugewiesen. Sind mehr Reihen verfügbar, können Zeiten gedoppelt werden (z. B. die kürzeste Aufenthaltszeit füllt die ersten Reihen). Sind sehr viele nicht vollständig belegte Reihen vorhanden, können die Aufenthaltszeiten gedoppelt werden.
AKZP 3.0	Wird eine Parkstandreihe vollständig belegt, wird diese Abfahrtszeit einer benachbarten noch freien Parkstandreihe entgegen der Fahrtrichtung zugewiesen.
AKZP 4.0	Innerhalb einer parametrierbaren Zeit (z. B. 5 Sek) werden die Abfahrtszeiten neu berechnet Für die Nutzer wahrnehmbare Veränderungen erfolgen (aufgrund des Rundens) nur alle 15 Minuten oder sobald eine Parkstandreihe erstmals vollständig belegt wurde.
AKZP 5.0	Empfehlung für die erstmalige Parameterwahl: Schwerpunktzeit = 1 Stunde Minimum = 7 Reihen Früheste Abfahrtszeit = 15 Minuten Späteste Abfahrtszeit = 3,5 Stunden Delta_vor_Schwerpunkt = 15 Minuten Delta_nach_Schwerpunkt = 30 Minuten Minimale Aufenthaltszeit = 15 Minuten Maximale rechnerische Aufenthaltszeit = 3,5 Stunden

Tab. 9: Anforderungen zur Berechnung der Abfahrtszeiten beim Kurzzeitparken

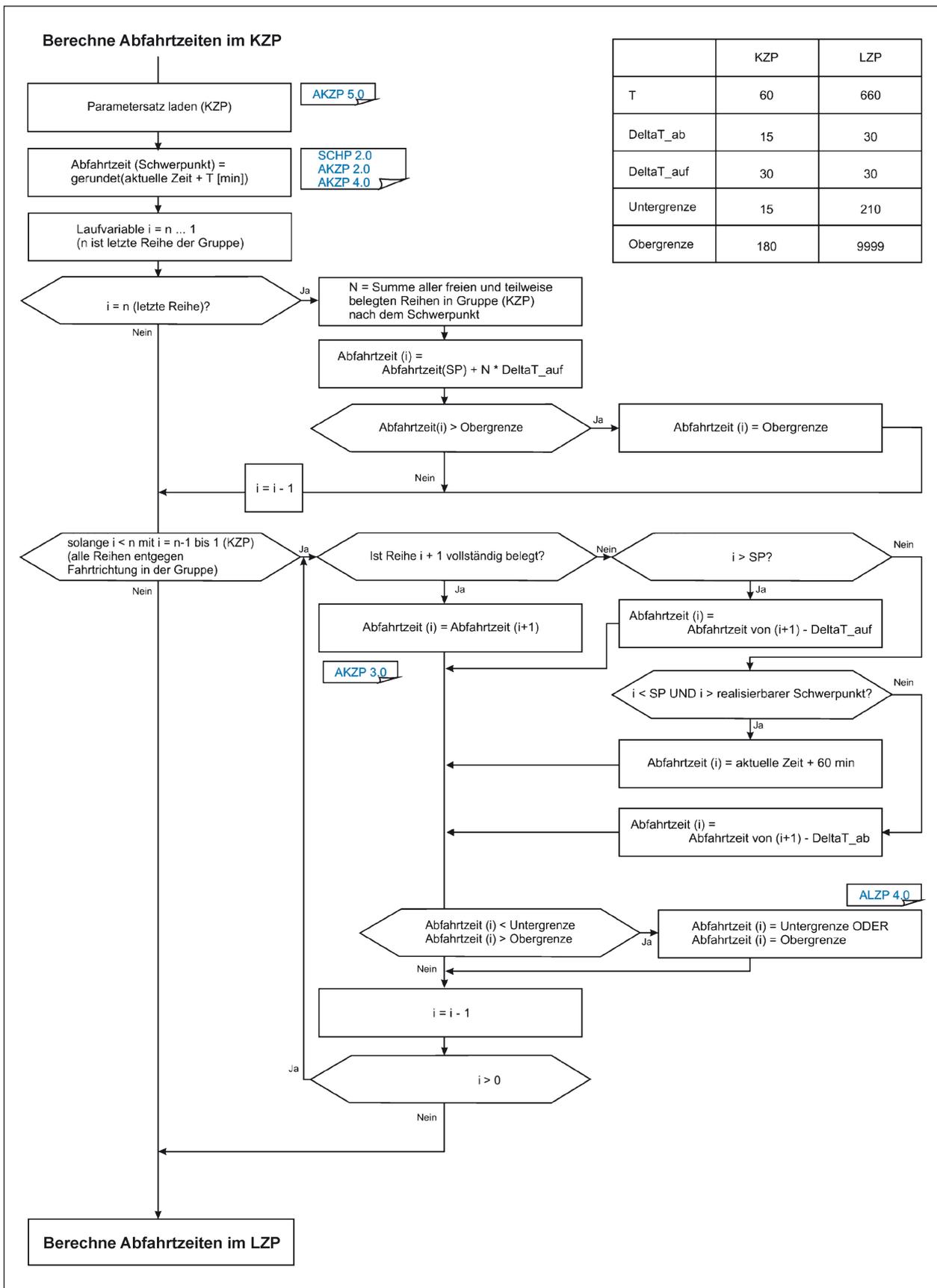


Bild 33: Ablaufdiagramm für die Ermittlung der Abfahrzeiten im Kurzzeitparken

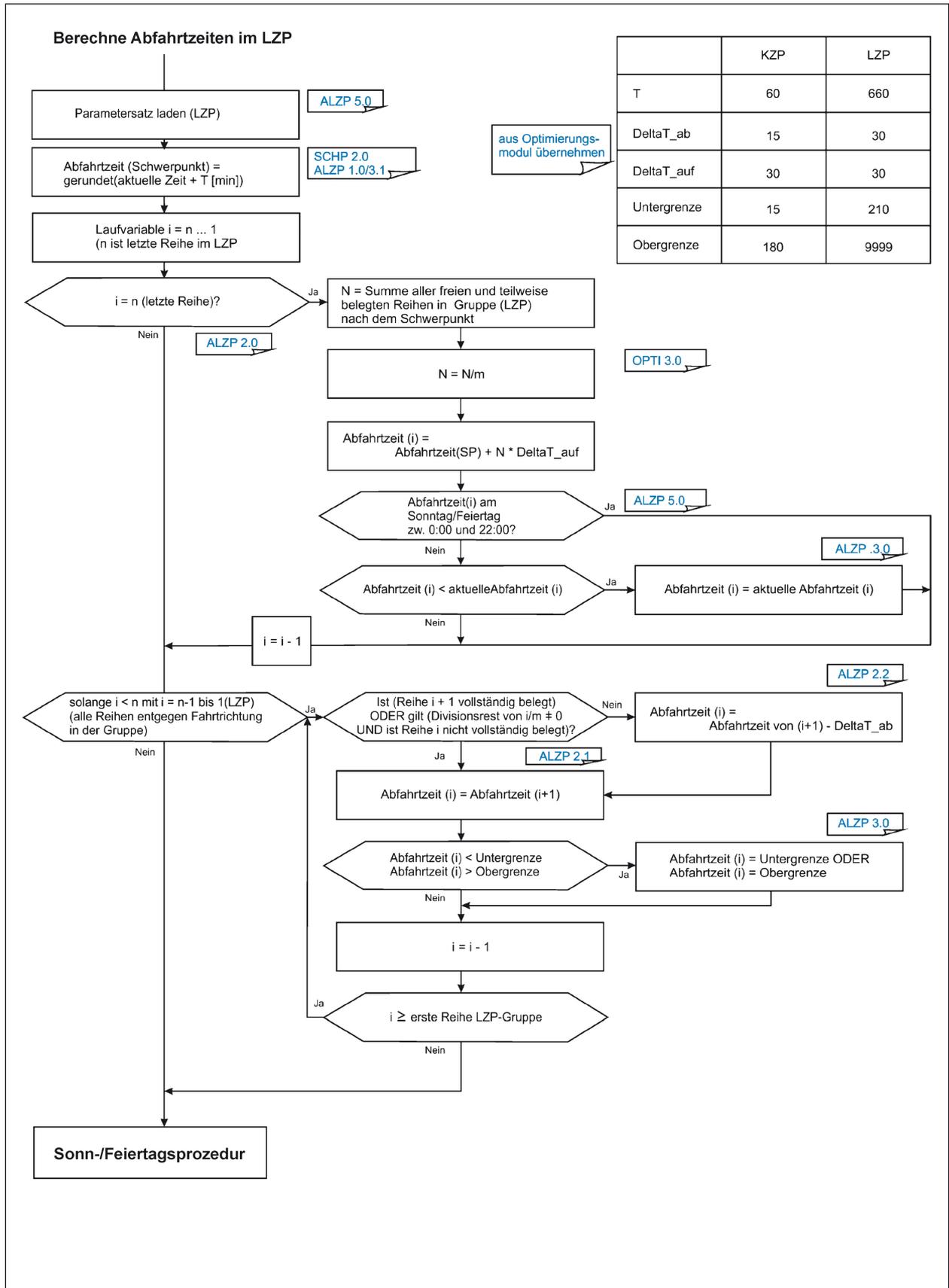


Bild 34: Ablaufdiagramm für die Ermittlung der Abfahrzeiten im Langzeitparken

Es wird ein Ereigniskalender benötigt (Sonntage und gesetzliche Feiertage). Der Ereigniskalender liefert für den Algorithmus die Eingangsgröße, inwiefern die im LZP errechneten Abfahrtszeiten überwacht werden müssen. Wird eine Abfahrtszeit errechnet, die in den Zeitraum des Fahrverbotes fällt, so wird diese nach Abschluss aller Berechnungen, jedoch bevor diese der Datenbank übergeben wird, auf das Ende des Fahrverbotes angehoben (Ab-

fahrtszeit „So, 22:00“ beziehungsweise für „Wochentag des Feiertages, 22:00“).

Die Zeit „So, 22:00“ beziehungsweise „Wochentag des Feiertages, 22:00“ wird ab sonntagmittags beziehungsweise Mittagszeit des Feiertages fortgeschrieben, indem die üblichen Regeln für das Langzeitparken angewendet werden, sodass nach und nach „So, 22:00“ mit späteren Abfahrtszeiten

Nummer	Anforderung
ALZP 1.0	Die Aktualisierung der Abfahrtszeitanzeigehalte erfolgt alle 15 Minuten (Parameter), wenn Delta zwischen den Reihen bei 30 Minuten (Parameter) liegt. Die Darstellung der Abfahrtszeit ist dann gerundet auf die Minuten „xx:00“, „xx:15“, „xx:30“, „xx:45“.
ALZP 2.0	Berechnungsprinzip: Mithilfe der Schwerpunktreihe wird die Abfahrtszeit für die letzte Parkstandreihe der Gruppe bestimmt und von dieser ausgehend mittels Delta die Abfahrtszeiten entgegen der Fahrtrichtung ermittelt (von der größten zur kleinsten Abfahrtszeit errechnet). Die rechnerische Abfahrtszeit der letzten Parkstandreihe wird mit der aktuell angezeigten Abfahrtszeit abgeglichen.
ALZP 2.1	Abfahrtszeiten werden gedoppelt, wenn das Optimierungsmodul dies mit dem Parameter $m > 1$ vorsieht oder benachbarte Parkstandreihen vollständig belegt werden.
ALZP 2.2	Ausgehend von der letzten Parkstandreihe der Gruppe LZP werden die Abfahrtszeiten um Delta reduziert, wenn die benachbarte Parkstandreihe nicht vollständig belegt ist und eine Dopplung nicht vorgesehen ist.
ALZP 3.0	Für jede Parkstandgruppe werden Ober- und Untergrenzen festgelegt. Wichtig ist, dass die Untergrenze (LZP) $\geq$ Obergrenze (KZP) ist.
ALZP 4.0	Empfehlung für die Initialisierung: Schwerpunktzeit = 11 Stunden Delta = 30 Minuten
ALZP 5.0	An Sonn-/Feiertagen (So/FT) können alle rechnerischen Abfahrtszeiten, die in ein Fahrverbot fallen, auf „So/FT, 22:00“ angehoben werden.

Tab. 10: Anforderungen an die Berechnung der Abfahrtszeiten im Langzeitparken

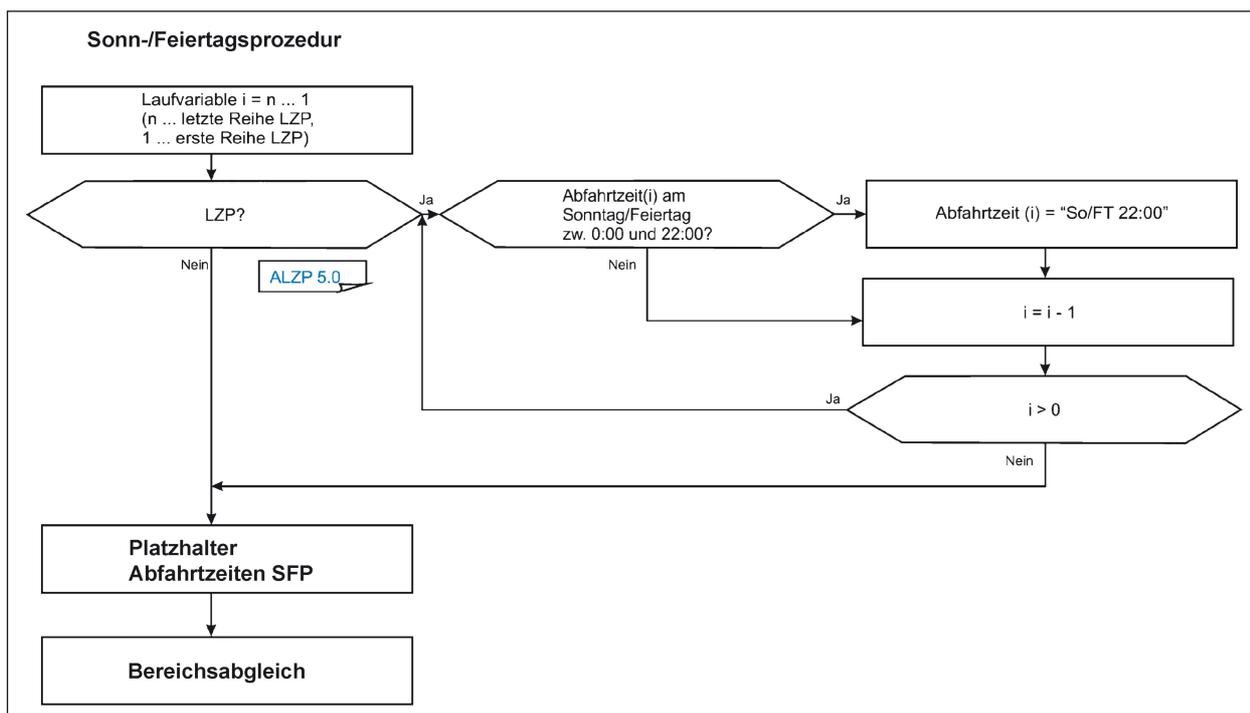


Bild 35: Ablaufdiagramm für die Ermittlung der Abfahrtszeiten im Langzeitparken an Sonn-/Feiertagen

überschrieben wird. Diese Regelung kann durch eine Gruppe SFP aufgehoben werden (siehe Kapitel 4.3.7).

Bild 35 fasst die (vorläufige) Vorgehensweise zur Bestimmung der Abfahrzeiten an Wochenenden und Feiertagen zusammen.

#### 4.3.7 Berechnung der Abfahrzeiten für Sonn- und Feiertagsparken (SFP)

Im Rahmen der Sonn- und Feiertagsprozedur wird bereits innerhalb der LZP-Gruppe geprüft, dass Abfahrzeiten nicht in einen Fahrverbotszeitraum fallen. Darüber hinaus lässt sich vermuten, dass eine reduzierte bzw. veränderte Parknachfrage besteht.

Es ist anhand geeigneter Nachfragedaten zu prüfen, ob die entwickelten Algorithmen des LZP Abfahrzeiten bieten, welche die Nachfrage an Sonn- und Feiertagen hinreichend abbilden. Sollten deutlich längere Aufenthaltszeiten (z. B. von Freitagabend bis Montagmorgen) nachgefragt werden, kann dies durch die Algorithmen des LZP nicht bedient werden. Es wird empfohlen, dies über eine neue Nachfragegruppe SFP abzubilden. SFP kann dann Aufenthaltszeiten deutlich über 14 Stunden anbieten. Denkbar ist hier eine Steuerung mit Vor-

gabe bestimmter Abfahrzeiten oder die belegungsabhängige Abfahrzeitberechnung wie LZP mit einer deutlich höheren ggf. dynamischen Aufenthaltszeit in der Schwerpunktreihe der Gruppe SFP.

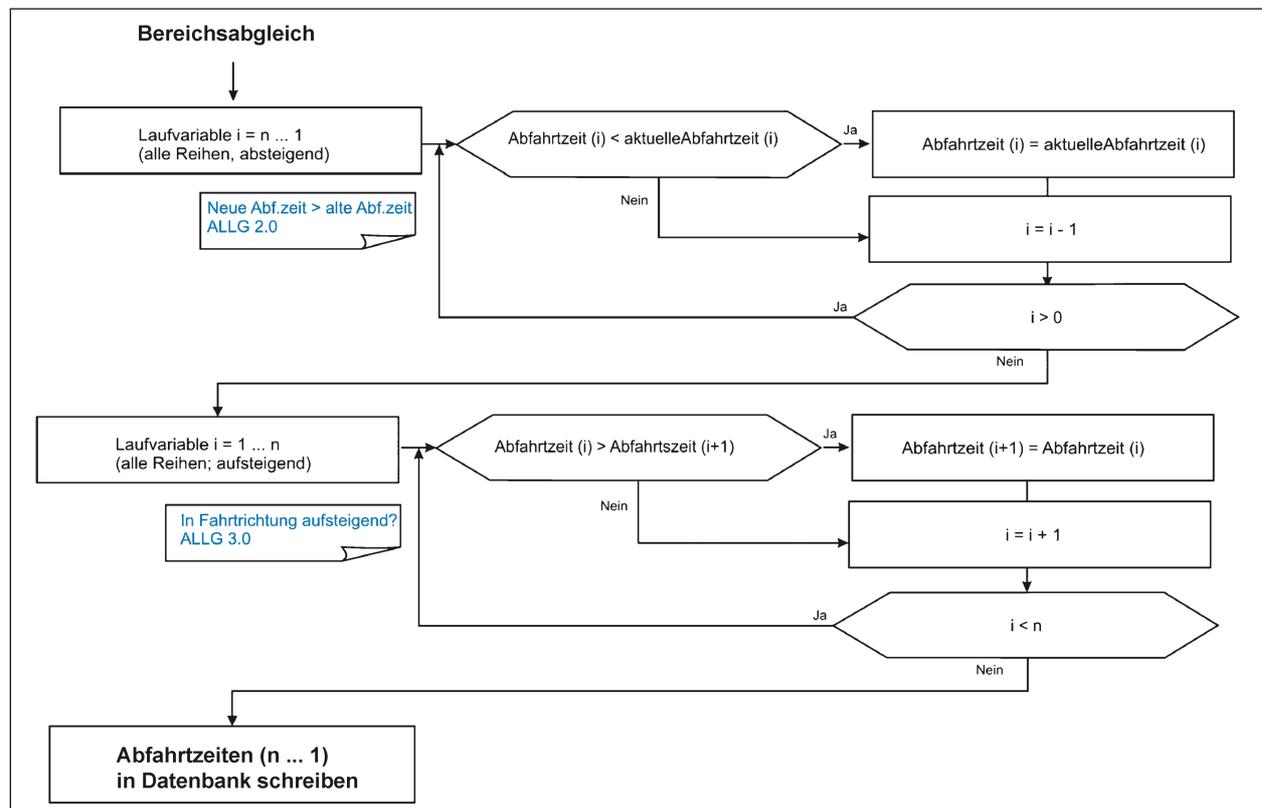
Für die Parkstandgruppe SFP sollte ein Beginnzeitpunkt festgelegt werden. Im Rahmen des Bereichsabgleiches kann die Parkstandgruppe SFP aufgelöst werden, indem bei gleichen Abfahrzeiten die jeweilige Parkstandreihe von der Gruppe SFP zur Gruppe LZP wechselt.

Es besteht Anpassungs- und Entwicklungsbedarf für die Abfahrzeitberechnung an Sonn- und Feiertagen.

#### 4.3.8 Bereichsabgleich

Für alle Reihen ist im Rahmen des Bereichsabgleiches zu prüfen, ob die errechneten Abfahrzeiten größer sind als die zuvor aktuell angezeigten und ob diese ausgehend von der ersten Parkstandreihe bis zur letzten Parkstandreihe in Fahrtrichtung chronologisch aufsteigen. Bild 36 fasst die Abläufe beim Bereichsabgleich zusammen.

Anpassungsbedarf ergibt sich, wenn weitere Parkstandgruppen ergänzt werden.



**Bild 36:** Ablaufdiagramm für den Bereichsabgleich

#### 4.3.9 Modul für strategische Abfahrtzeitanzeigen

Ergänzend zu Bild 27 ist ein „Modul für strategische Abfahrtzeitanzeigen“ vorzusehen. Hierzu bestehen bislang einige Vorüberlegungen.

Je mehr Parkstandreihen vollständig belegt sind, desto häufiger wiederholen sich Abfahrtzeiten. Sind alle Parkstandreihen einer Gruppe belegt, wird für diese Gruppe in allen Parkstandreihen die gleiche Abfahrtzeit (z. B. Aufenthaltszeit 11 Stunden) angezeigt. Da für die Nutzer ohnehin praktisch keine Parkstandreihe mehr zur Verfügung steht, ist dennoch unter wahrnehmungspsychologischen Gesichtspunkten zu entscheiden, welche Inhalte die Abfahrtzeitanzeigen umfassen sollen.

Neben der Möglichkeit, weiterhin Abfahrtzeiten anzuzeigen (ohne dass diese nutzbar sind, da alle Reihen vollständig belegt sind), können die Reihen dunkel geschaltet werden. Dieses Vorgehen hat aber den Nachteil, dass die tatsächlich verfügbaren Restlängen (< 20 m) nicht mehr nutzbar wären. Strategische Abfahrtzeiten in allen Reihen einer vollständig belegten Gruppe bieten den Vorteil, dass die Restlänge weiterhin nutzbar ist, und die Nutzer zu jeder Zeit Abfahrtzeiten vorfinden.

Die Ermittlung von strategischen Abfahrtzeiten stand bislang nicht im Fokus der Entwicklung des Kompaktparkens, da sie rein wahrnehmungspsychologische Anforderungen erfüllen müssen. Auch strategische Abfahrtzeiten sollen die wesentlichen Anforderungen des Kompaktparkens erfüllen (z. B. ALLG 2.0 und ALLG 3.0).

Vorgeschlagen wird, dass im Rahmen eines noch zu entwickelnden „Moduls für strategische Abfahrtzeitanzeigen“, die Kernzeiten des Langzeitparkens (9 bis 14 Stunden) gleichmäßig verteilt über alle vollständig belegten Parkstandreihen in der Gruppe LZP angeboten werden. Sind beispielsweise 30 (ggf. als belegungsabhängig berechenbarer Parameter zu definieren) unmittelbar benachbarte Parkstandreihen im LZP „vollständig belegt“, dann erhalten die ersten sechs Reihen des LZP eine Aufenthaltszeit von 9 Stunden, die benachbarten sechs Reihen die Aufenthaltszeit von 10 Stunden, usw. Sobald eine parametrierbare Anzahl Reihen wieder „frei“ oder „vollständig frei“ werden, erfolgt wieder die Berechnung gemäß Kernalgorithmus.

#### 4.4 Konfiguration und Parameter

Nachfolgend werden die wichtigsten Parameter der Steuerung zusammengefasst.

Der Lkw-Parkbereich besteht aus einer konfigurierbaren Anzahl Parkstandreihen. Jede Parkstandreihe verfügt über einen Detektor, welcher Belegungszustände ermittelt. Dynamische Abfahrtzeitanzeigen gehören ebenfalls zu jeder Parkstandreihe. Konfigurierbar sind die Anzahl Parkstandreihen und deren zugehörige Abfahrtzeitanzeigen.

Parkstandreihen können dynamisch zu logischen Parkstandgruppen zusammengefasst werden. Vorgesehen sind die Parkstandgruppe Kurzzeitparken für Aufenthaltszeiten bis 3,5 Stunden und die Parkstandgruppe Langzeitparken für Aufenthaltszeiten über 3,5 Stunden. Parkstandreihen einer Parkstandgruppe sollen unmittelbar zusammenhängend (d. h. benachbart) sein. Es ist eine Grundversorgung zu konfigurieren, wonach jede Parkstandreihe zunächst entweder der Gruppe Langzeitparken oder Kurzzeitparken zugehörig ist. Falls manuelle Sperrungen seitens des Operators vorgenommen werden, so sollte dieser eine neue Verteilung der Gruppen für die Initialisierung festlegen bzw. eine neue Grenzreihe bestimmen können. Automatische Sperrungen der Grenzreihe führen zur Anpassung des Parameters auf die benachbarte Parkstandreihe entgegen der Fahrtrichtung.

Aus der Restlängendetektion ergeben sich Belegungszustände (siehe Bild 22). Diese logischen Belegungszustände beschreiben, ob

- die Parkstandreihe vollständig frei ist (d. h. es befindet sich kein Fahrzeug in der Parkstandreihe),
- die Parkstandreihe frei ist (d. h. es kann mindestens ein weiterer Bemessungs-Lkw in die Parkstandreihe einfahren und parken),
- die Parkstandreihe vollständig belegt ist (d. h., es kann kein weiterer Bemessungs-Lkw in die Parkstandreihe einfahren und parken).

Parkstandreihen werden durch die Steuerung des Kompaktparkens neben dem Belegungszustand auch Betriebszustände zugewiesen. Demnach kann eine Parkstandreihe entweder verfügbar oder nicht verfügbar sein. Sinkt die Anzahl der verfügbaren Parkstandreihen unter einen parametrierbaren Wert, geht Kompaktparken in den Betriebszustand „Halt“. Eine Initialisierung erfolgt, wenn die Anzahl

der verfügbaren Parkstandreihen über einen parametrierbaren Wert angestiegen ist. Eine Parkstandreihe ist beispielsweise nicht verfügbar, falls die Abfahrtszeitanzeige defekt ist.

Im Rahmen der Konfiguration können folgende Parameter geändert werden:

- Anzahl aller Parkstandreihen (n),
- je Parkstandreihe die Lage in Bezug auf die Fahrtrichtung (1 ... n),
- zugeordnete physikalische Abfahrtszeitanzeige (1 ... n),
- zugeordneter physikalischer Detektor (1 ... n),
- Länge jeder Parkstandreihe [m],
- Aktualisierungsrate zur Berechnung der Abfahrtszeiten [Sek.],
- Gruppenzugehörigkeiten jeder Parkstandreihe bei Initialisierung (KZP/LZP).

Während des Betriebs können Parameter manuell angepasst werden bzw. errechnen sich diese zeit- und belegungsabhängig (\*):

- Aufenthaltszeit Schwerpunktreihe LZP,
- Aufenthaltszeit Schwerpunktreihe KZP (\*),
- minimale und maximale Abfahrtszeit KZP,
- minimale Abfahrtszeit LZP (entspricht der maximalen Abfahrtszeit im KZP),
- Intervall Abfahrtszeit ( $\Delta_t$ ) LZP (\*),
- Intervall Abfahrtszeit ( $\Delta_t$ ) KZP,
- Mindestanzahl KZP-Reihen (\*),
- Mindestanzahl LZP-Reihen,
- Grenzureihe (\*),
- Wunschwechselzeit (\*),
- $K_{LZP}$  als Faktor zur Berechnung der Lage der Schwerpunktreihe im LZP (\*),
- $K_{KZP}$  als Faktor zur Berechnung der Lage der Schwerpunktreihe im KZP (\*).

Im Rahmen der Initialisierung bedarf es darüber hinaus weiterer Parameter. Diese können von der Normalprozedur abweichen.

Alle numerischen Angaben zu Parametern in den Kapiteln 3 und 4 sind Beispiele und müssen weiter analysiert werden. Ggf. können weitere Parameter belegungsabhängig berechnet und in das Optimie-

rungsmodul integriert werden. Anzumerken ist jedoch, dass die Wahl der Parameter wesentlich durch die tatsächliche Nachfrage und Optimierungsziele (z. B. Priorität LZP) bestimmt wird und ggf. im laufenden Betrieb auf einer Rastanlage anzupassen sind.

## 4.5 Initialisierung

Zur Initialisierung bestehen nachfolgende Vorüberlegungen.

In Bild 25 wird die Initialisierung unterschieden in Initialisierung 1a/b und 2:

- Initialisierung 1a – kurzer Ausfall (Optimierung),
- Initialisierung 1b – langer Ausfall (Standardfall: alle Reihen rotes Kreuz),
- Initialisierung 2 – dient dem Aufheben der Sperren durch Anzeigen von Abfahrtszeiten bei erstmalig „vollständig frei“.

Initialisierung 1 beginnt damit, dass alle Reihen mit einem roten Kreuz gesperrt werden. Im Fall Initialisierung 1a kann die Anzahl der mit rotem Kreuz gesperrten Reihen reduziert werden, indem die Parksituation vor und nach einem (kurzen) Systemausfall verglichen wird (Optimierung zum schnelleren Initialisieren). In den Reihen, in denen keine Veränderung der Restlängen festgestellt wurde, wird die zum Zeitpunkt des Systemausfalls angezeigte Abfahrtszeit angezeigt. Bei der Initialisierung 1b bleiben alle Reihen mit rotem Kreuz gesperrt (Standardfall).

Anschließend wird in Initialisierung 2 für alle Reihen, die vollständig frei sind oder bereits eine Abfahrtszeit anzeigen (falls zuvor Initialisierung 1a), eine neue Abfahrtszeit basierend auf der aktuellen Zeit errechnet. Dazu geht die Steuerung von einer festen Konfigurationsverteilung der Gruppen aus (z. B. Reihen 1-10 KZP; 11-35 LZP). Die Abfahrtszeiten werden gemäß der Normalprozedur berechnet. Allerdings ergeben sich aufgrund der Reihensperren einige Besonderheiten:

### Initialisierung 1a

Neben dem Standardfall (Initialisierung 1b) soll bei geeigneter Detektion folgender Optimierungsansatz zum Einsatz kommen, um die Dauer der Initialisierung zu verkürzen. Unter bestimmten Randbedingungen sollen die Abfahrtszeiten zum Zeitpunkt vor dem Ausfall angezeigt werden. Es gilt:

- Die Ausfallzeit beträgt weniger als 15 Minuten (Parameter) und weniger als 10 Reihen (Parameter) weisen eine veränderte Restlänge auf.
- In den Reihen mit veränderter Restlänge ist anhand eines Belegungsplans zu prüfen, ob das letzte Fahrzeug in jeder Parkstandreihe eine Abfahrtzeit hat, die in den Ausfallzeitraum fällt. Wenn dies nicht der Fall ist, kann für diese Parkstandreihe die Abfahrtzeit vor dem Ausfall (unabhängig vom Belegungszustand) angenommen werden, andernfalls wird die Parkstandreihe automatisch gesperrt.
- Es erfolgt der Übergang zu Initialisierung 2, wenn genügend (Parameter) Reihen eine Abfahrtzeit gemäß den zuvor genannten Prüfungen zugewiesen werden konnte. Andernfalls erfolgt die Standardinitialisierung 1b.

Der Belegungsplan ergibt sich, wenn mittels Detektion erkannt wird, dass ein Fahrzeug eingefahren ist und parkt. Dann wird in dieser Parkstandreihe vermerkt, welche Abfahrtzeit dem Nutzer bei der Einfahrt in diese Parkstandreihe angeboten wurde.

Die Initialisierungsstrategie kann für bestimmte Situationen noch spezifischer ausgearbeitet werden, indem berücksichtigt wird, ob Abfahrtsanzeigen oder Detektion noch in Betrieb waren oder nicht. Konnten die Abfahrtsanzeigen die Abfahrtszeiten (über eine USV gestützt) während des Ausfalls weiter anzeigen, bedarf es keiner Reihenspernung.

### Initialisierung 1b

Die Standardinitialisierung beginnt damit, dass alle Reihen mit rotem Kreuz automatisch gesperrt werden. Anschließend erfolgt der Übergang zu Initialisierung 2.

### Initialisierung 2

Für die Initialisierung gilt eine feste Zugehörigkeit der Reihen zu Gruppen. Solange die Initialisierung aktiv ist, erfolgt keine dynamische Gruppenberechnung. Die Schwerpunktreihe je Gruppe wird analog der Normalprozedur anhand der Anzahl (vollständig) freier Reihen ermittelt. Gesperrte Parkstandreihen werden in keiner Form bei der Berechnung berücksichtigt. Für alle nicht gesperrten Reihen werden die Abfahrtszeiten analog der Normalprozedur und ihrer Gruppenzugehörigkeit ermittelt.

Wird eine Parkstandreihe vollständig frei, wird sie in die nächste Berechnung („automatisch entsperrt“) aufgenommen (z. B. alle 5 Sekunden (Parameter)). Sobald keine Parkstandreihe mehr bedingt durch die Initialisierung gesperrt ist, beginnt die Normalprozedur. Die Initialisierungsroutine wird solange beibehalten, bis alle automatisch gesperrten Reihen mit einer Abfahrtzeit versehen werden konnten. Die manuelle Sperrung von Reihen kann weder bei der Initialisierung noch bei der Normalprozedur automatisch aufgehoben werden.

Das Detektionsmodul liefert die logischen Belegungszustände. Der Initialzustand ist „KEINE DATEN“, bis ein erstes Messungsergebnis vorliegt. Die Variable, die den Belegungszustand einer Parkstandreihe beschreibt, ist somit immer mit einem Wert versorgt. Meldet ein Detektor bei der Initialisierung FEHLER oder ist (dauerhaft) DEFEKT, ist eine Meldung in der Verkehrsrechnerzentrale auszugeben, damit eine Wartung/Kontrolle veranlasst werden kann. Die Freigabe der Parkstandreihe erfolgt über die Eingabestelle durch Personal. Die Parkstandreihe wird im Rahmen der Initialisierung auf „manuell gesperrt“ gesetzt, sodass der Übergang in den Normalmodus nicht behindert wird. Die Parkstandreihe steht dann aber auch in der Normalprozedur nicht zur Verfügung (gesperrt), anders als wenn der Detektionsausfall während der Normalprozedur aufgetreten wäre (vgl. ALLG 11.0/ALLG11.1).

## 5 Diskussion der Randbedingungen für Kompaktparken

### 5.1 Test und Entwicklung des Algorithmus

Kapitel 3 fasst die wesentlichen Steuerungsanforderungen des Kompaktparkens zusammen. Zur Entwicklung und zum Test eines möglichen Algorithmus für die Normalprozedur wurde eine Nutzerschnittstelle mit der Software Matlab der Firma MathWorks programmiert (Graphic User Interface GUI), welche die errechneten Abfahrtszeiten und eine (theoretische) Belegung der Parkstandreihen abbildet. Die GUI kann genutzt werden, um einzelne Fahrzeuge per Mausklick auf einer virtuellen Rastanlage zu platzieren. Auf diese Weise konnten bestimmte Funktionalitäten und Varianten einer algorithmischen Umsetzung getestet werden. Die Ergebnisse sind in die Ablaufdiagramme und Anforderungen im Kapitel 4 eingeflossen.

LKW\_Parkplatz\_Sim

Grafik Import/Export

Simulationsschritt

Simulation:  Pause  läuft  zurücksetzen

1 Tag 1, 19.13

	Typ	SP	Anzeigezeit Neu	Anzeigezeit Alt	P1 Chk	P1 Zeit	P2 Chk	P2 Zeit	P3 Chk	P3 Zeit	Error	Status
1	KZP	<input type="checkbox"/>	Tag 1, 19.45	Tag 1, 19.45	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
2	KZP	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 1, 19.45	Tag 1, 19.45	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
3	KZP	<input type="checkbox"/>	Tag 1, 20.0	Tag 1, 20.0	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
4	KZP	<input type="checkbox"/>	Tag 1, 20.15	Tag 1, 20.15	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 1, 19.53						teilw. belegt
5	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 2.45	Tag 2, 2.45	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
6	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 3.15	Tag 2, 3.15	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
7	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 3.45	Tag 2, 3.45	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
8	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 4.15	Tag 2, 4.15	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
9	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 4.45	Tag 2, 4.45	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
10	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 5.15	Tag 2, 5.15	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
11	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 5.45	Tag 2, 5.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.41						teilw. belegt
12	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 6.15	Tag 2, 6.15	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.0	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.3	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.27		Reihe voll
13	LZP	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.45	Tag 2, 6.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 1, 19.23	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 1, 19.50				teilw. belegt
14	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 6.45	Tag 2, 6.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.32	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.9	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.10		Reihe voll
15	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 6.45	Tag 2, 6.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.15	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.12	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.57		Reihe voll
16	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 6.45	Tag 2, 6.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.21	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.38	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.37		Reihe voll
17	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.15	Tag 2, 7.15	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
18	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.15	Tag 2, 7.15	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 1, 19.21	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.14	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.38		Reihe voll
19	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.15	Tag 2, 7.15	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 1, 22.15	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 0.26	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 7.30		Reihe voll
20	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.15	Tag 2, 7.15	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.21	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.50	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 7.6		Reihe voll
21	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input type="checkbox"/>							Reihe leer
22	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 1, 22.1	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 2.27	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.13		Reihe voll
23	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.4	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.40	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.14		Reihe voll
24	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 1.23	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 1.59	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.9		Reihe voll
25	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 0.51	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.19	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.56		Reihe voll
26	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.52	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.31	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 7.31		Reihe voll
27	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.24	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.25	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.2		Reihe voll
28	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.58	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.31		Reihe voll
29	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.14	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.38	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.37		Reihe voll
30	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.11	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.13	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 7.1		Reihe voll
31	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.39	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.31	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.41		Reihe voll
32	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.10	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.7	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.11		Reihe voll
33	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.35	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.35	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.1		Reihe voll
34	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 3.47	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 4.5	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 5.47		Reihe voll
35	LZP	<input type="checkbox"/>	Tag 2, 7.45	Tag 2, 7.45	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.12	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.10	<input checked="" type="checkbox"/>	Tag 2, 6.1		Reihe voll

Quelle ändern

Quelldatei:  
C:\Users\kleine\Documents\WATLAB\Aachener Land

Zwischenschritte anzeigen

glueckliche LKW Fahrer: 168  
traurige LKW Fahrer: 1

# Reihen LZP / KZP  
21 14

Bild 37: Nutzeroberfläche zur Erprobung der Kompaktparkensteuerung (erstellt 2013 mit Matlab der Fa. Mathworks), (Quelle: BAST)

Neben der reinen Funktionalität sollte auch das Potenzial einer Kompaktparkensteuerung abgeschätzt werden. Die GUI wurde dahingehend ertüchtigt, dass im Rahmen einer vereinfachten Simulation Fahrzeuge in der GUI entsprechend ihrer Abfahrtszeiten (automatisch) in Parkstandreihen positioniert und entfernt werden. Damit ist es möglich einen Eindruck zu gewinnen, wie sich Abfahrtszeiten zeit- und belegungsabhängig ergeben würden. Angenommen wurde, dass sich Nutzer korrekt verhalten und die kleinste Abweichung zwischen geplanter (erhobener) Abfahrtszeit und angezeigter Abfahrtszeit anstreben (bis maximal 20 Minuten Differenz). Fahrzeuge, deren Abfahrtszeit durch die errechneten Abfahrtszeiten abgebildet werden können, werden mit Zeitstempel und Aufenthaltszeit in der GUI dokumentiert. Nicht positionierte Fahrzeuge wurden außerhalb der GUI tabellarisch dokumentiert.

Die Simulation wurde nicht zur systematischen Bewertung der Leistungsfähigkeit des Kompaktparkens herangezogen. Dennoch zeichnete sich im Rahmen der Entwicklung ein Eindruck zur Leistungsfähigkeit ab, der sich darin auszeichnet, dass

in den Nachtstunden (unter den theoretischen Randbedingungen der Simulation) die überwiegenden Anzahl der Parkstände belegt waren und dass die angebotenen Abfahrtszeiten sich mit der (theoretischen) Nachfrage deckten und nur ein geringer Anteil der Nachfrage nicht abgebildet wird.

Zur funktionalen Beurteilung des Algorithmus standen Erhebungsdaten der Rastanlage Jura (West) in Fahrtrichtung Regensburg von Januar 2008 zur Verfügung. Für Lkw und Lieferwagen wurde seinerzeit über drei Wochen hinweg der Zeitpunkt der Einfahrt in die Rastanlage und das Kennzeichen dokumentiert. Bei Wiedererkennung des Kennzeichens in der Ausfahrt wurde für das Fahrzeug der Ausfahrtszeitpunkt dokumentiert. Die verfügbaren Daten zur Rastanlage Jura (West) sind in Kapitel 3.2.2 beschrieben und in Auszügen dargestellt. Hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit konnten die Ausgangsdaten nicht verifiziert werden.

Da Datenausfälle bestanden, wurden die vorliegenden Daten so zusammengestellt, dass ein zusammenhängender theoretischer Wochenverlauf vorliegt:

- Montag, 28.01.2008 (ab 11:00 Uhr),
- Dienstag, 29.01.2008,
- Mittwoch, 30.01.2008,
- Donnerstag, 31.01.2008,
- Freitag, 18.01.2008,
- Samstag, 19.01.2008,
- Sonntag 20.01.2008
- Montag, 21.01.2008,
- Dienstag, 22.01.2008 (bis 10:00 Uhr).

Fehlten stundenweise Daten, so wurden diese vom gleichen Wochentag einer anderen Woche mit ähnlicher Parknachfrage übernommen. Der Wochenverlauf bildet somit nicht die tatsächliche Wochenganglinie ab, sondern fasst die Tage mit hoher Datenqualität zusammen.

Varianten des Algorithmus wurden dahingehend bewertet, wie vielen Fahrzeugen ein geeigneter Parkstand angeboten wurde. Es kann nicht geprüft werden, inwieweit die Vergleichsergebnisse bei einer deutlich abweichenden Nachfrage ausfallen würden. Weiterhin kann die Simulation weder das tatsächliche Verhalten noch das wahrscheinliche Verhalten der Verkehrsteilnehmer abbilden. Sie bietet damit lediglich einen Anhaltspunkt für die Leistungsfähigkeit bei idealem (immer den Abfahrtszeitanzeigen entsprechendem) Verhalten.

Bei einer zukünftigen (quantitativen) Bewertung des Kompaktparkens hat die Anpassung und Wahl der Parameter einen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Die Wahl der Parameter bewirkt im Wesentlichen eine Bevorzugung von Kurz- oder Langzeitparken. Ohne Daten über die voraussichtliche Nachfrage kann dieses Verhältnis nicht sinnvoll abgeschätzt werden. Wenn z. B. nachts kaum Kurzzeitparken erfolgt und gleichzeitig viele Reihen hierfür vorgesehen sind, stehen diese dem Langzeitparken nicht zur Verfügung. Es bedarf weiterer Untersuchungen, mit welchen Parametereinstellungen eine bestehende Nachfrage gut abgedeckt wird und in wie weit die Wahl der Parameter stärker nachfrageabhängig im Algorithmus (Optimierungsmodul) berechnet werden kann.

Eine qualitative und quantitative Einschätzung, welchen Nutzen der Einsatz von Kompaktparken aufweist, steht aus. Hierfür bedarf es Daten über eine (längere Zeit erhobene) repräsentative Nachfrage und Informationen zum Verhalten der Nutzer.

Der Einfluss von Fehlverhalten und die Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit sind ebenfalls noch zu bewerten. Dies ist aufgrund fehlender Daten bislang nicht möglich. Zukünftig könnten u. a. folgende Szenarien hierzu hinsichtlich Häufigkeit, Dauer und Auswirkung untersucht werden:

- rückwärtiges Einfahren in freie Parkstände in vorderen Positionen mit Behinderung Dritter,
- freie Parkstände in vorderen Positionen werden über benachbarte Parkstandreihen erreicht mit Behinderung Dritter,
- ankommende Nutzer, deren Abfahrtszeiten nicht angeboten werden, könnten in Parkstandreihen parken, die eine frühere/spätere Abfahrtszeit aufweisen. Dabei kann unter Umständen eine Behinderung Dritter eintreten,
- Nutzer missachten die Abfahrtszeiten und behindern andere Nutzer,
- Nutzer parken nur in vorderer und/oder hinterer Position, sodass Parkraum ungenutzt bleibt,
- ein (defektes) Fahrzeug verlässt den Parkstand nicht zur geplanten Abfahrtszeit.

Weiterhin ist zu ermitteln, ob Anpassungen im Algorithmus die Akzeptanz erhöhen können, z. B. durch reduzierte Wartezeiten. So bestimmt der Parameter Delta, also die Differenz benachbarter Abfahrtszeiten die maximale Zeit, die Fahrzeuge an der Abfahrt gehindert werden (ausgenommen Fehlverhalten). Interessant ist darüber hinaus die konzeptionelle Frage, wie viele Parkstandreihen für eine bestimmte vollständig abzubildende Parknachfrage in der Spitzenstunde erforderlich sind. Hierbei könnten drei Fälle betrachtet werden:

- Alle Lkw mit langer Aufenthaltszeit sollen einen geeigneten Parkstand finden. Wie vielen Parkstandreihen entspricht dies (bei vorgegebener Nachfrage). Mit wie vielen Parkständen würde dies bei konventioneller Parkstandordnung abgedeckt werden (vergleichbarer Zeitraum)?
- Alle Lkw mit kurzer Aufenthaltszeit sollen einen Parkstand finden. Wie viele Parkstandreihen müssen im Kurzzeitparken in der Spitzenstunde angeboten werden? Wie vielen Parkständen entspricht dies bei konventioneller Parkstandordnung in der Spitzenstunde?
- Wie viele Parkstandreihen würden benötigt, wenn die Nachfrage sowohl im Lang- als auch

Kurzzeitparken vollständig abgedeckt werden soll? Mit wie vielen Parkständen würde dies bei konventioneller Parkstandordnung erfüllt werden?

- Wie bestimmt sich das Verhältnis KZP zu LZP ausgedrückt in Parametern für bestimmte Nachfragemuster? Wovon sind die Parameter abhängig? Wann sind diese optimal? Wie können diese belegungsabhängig bestimmt und im Algorithmus integriert werden?

Diese eher theoretischen Fragestellungen können bei der Festlegung von Parametern von besonderem Interesse sein. Da jedoch durch die verfügbaren Flächen die Anzahl Parkstandreihen begrenzt ist, müssen schlussendlich geeignete Parametereinstellungen die Prioritäten für Kurz- und Langzeitparken abbilden. Optimierungsgrößen kann die Summe geparkter Fahrzeuge je Zeiteinheit sein (eine Verbesserung wird durch Priorisieren des Kurzzeitparkens erreicht) oder das Produkt aus Anzahl parkender Lkw und deren Aufenthaltszeit (eine Verbesserung wird durch Priorisieren des Langzeitparkens erreicht). Die Vermischung von Anzahl geparkter Lkw und Aufenthaltszeit der Lkw erschwert für das Kompaktparken die Definition einer „vollständigen Belegung des Rastanlage“.

## 5.2 Hinweise zur Realisierung Kompaktparken

### 5.2.1 Systemumgebung Verkehrsrechnerzentrale

Neben dem Zusammenspiel der Hauptsteuerung für Betriebszustände, Detektion, Kompaktparkensteuerung, Abfahrtszeitanzeigen und Datenbank bedarf es der Integration des Kompaktparkens in die bestehenden Strukturen der Verkehrsrechnerzentralen (bzw. Unterzentralen).

Über die Verkehrsrechnerzentrale besteht für die Operatoren die Möglichkeit, in die Steuerung einzugreifen (Reihen sperren, Parameter ändern) oder sich den aktuellen Belegungszustand sowie die Abfahrtszeitanzeigen anzeigen zu lassen (Belegungsplan). Darüber hinaus können Archiv und Protokollfunktionen in der VRZ übernommen werden. Fehlermeldungen, Betriebsmeldungen und sonstige Meldungen sowie Wartungsaufträge werden ebenfalls in der VRZ bearbeitet. Folgende Funktionalitäten sind zu integrieren:

- Bedienung (GUI) der Steuersoftware
- SE „Kompaktparken“,
- SE „Ereigniskalender“,
- SE „Konfiguration und Parametrierung“,
- SE „Datenbank – Bedienung“,
- SE „Protokollfunktion für Betriebsmeldungen“,
- SE „Protokollfunktion für Fehlermeldungen“,
- SE „Detektionsauswertung“,
- SE „Anzeigensteuerung“,
- RS485-Schnittstelle zum Anschluss der Detektion,
- RS485-Schnittstelle zum Anschluss der Anzeigeelemente,
- LAN-Schnittstelle (TCP/IP).

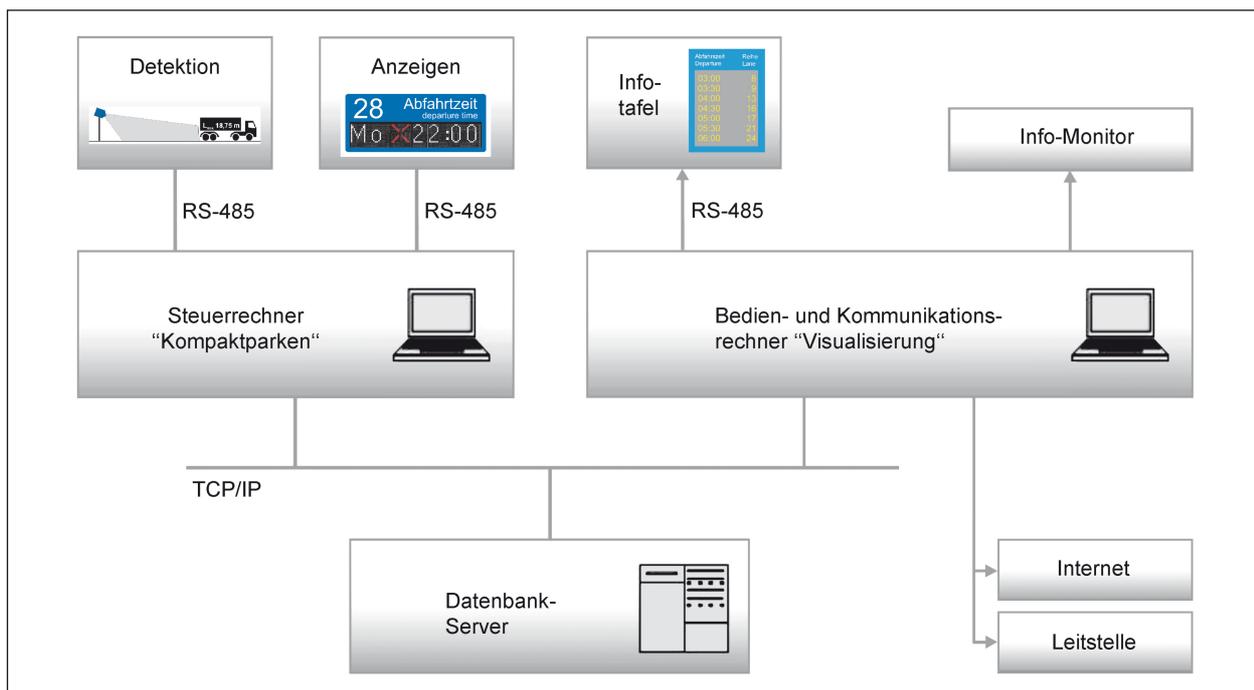
Der Datenaustausch zwischen den Komponenten des Kompaktparkens erfolgt über eine Datenbank, welche den Input für den Algorithmus zur Berechnung der Abfahrtszeiten bereitstellt und den Output übernimmt sowie andere Komponenten verfügbar macht. Alle anderen Komponenten können über die Datenbank Daten eintragen oder auslesen. Damit ist die Funktionalität des Berechnungsalgorithmus komplett unabhängig von der Art der Detektion, Abfahrtszeitanzeigen und Protokollierung.

Der Ereigniskalender dient als Input für die Berechnung der Abfahrtszeiten an Sonn- und Feiertagen. Der Systemkalender sollte zudem Einträge für ggf. erforderliche Zeitpunkte der Außer- und Inbetriebnahme enthalten.

Bild 38 zeigt den möglichen Aufbau eines „Client-Server-Systems“.

### 5.2.2 Bauliche Anforderungen

Für Kompaktparken muss die Markierung und unter Umständen die Ausrichtung der Parkstände angepasst werden. Die weiteren baulichen Maßnahmen (Errichtung von Schilderbrücken, Installation von Abfahrtszeitanzeigen und Detektionssystemen, Betonhaus, Steuerrechner, Energieanschluss sowie Anbindung an das übergeordnete Verkehrsrechnerzentralensystem) können in der Regel ohne wesentliche Beeinträchtigung der Parkfläche umgesetzt werden, sodass baubedingt nicht über einen längeren Zeitraum hinweg auf Parkstände verzichtet werden muss.



**Bild 38:** Aufbau eines „Client-Server-Systems“ (Quelle: BAST)

Ein Gitterstahlrohrträger, an dem die Abfahrtsanzeigen installiert werden sollen, steht nicht am Anfang (Einfahrt in die Parkstandreihe), sondern wenige Meter in die Parkstandreihe hineinversetzt. Dies dient in erster Linie der Lesbarkeit der Abfahrtsanzeigen. Zur intelligenten Steuerung der dynamischen Abfahrtsanzeigen ist der Einsatz von Detektionstechnik erforderlich. Dazu eignen sich Sensoren, die an Gitterstahlrohrträgern der dynamischen Abfahrtsanzeigen montiert werden. Bei der Bewertung der Restlänge ist der Standort des Gitterstahlrohrträgers entsprechend zu berücksichtigen. Der Einsatz eines Gitterstahlrohrträgers erlaubt eine große Spannweite, sodass weniger Fläche für Fundamente benötigt wird und somit für Parkstandreihen genutzt werden kann.

Grundsätzlich beruht Kompaktparken darauf, dass die Fahrzeuge die Parkstandreihen nur von hinten auffüllen und dabei soweit wie möglich nach vorne vorfahren sollen (Einbahnstraßenprinzip). Ein rückwärtiges Einfahren in eine Parkstandreihe (von der Durchfahrgasse kommend) sollte möglichst baulich oder durch eine entsprechende Verkehrsführung verhindert werden.

Es muss eine mittlere Fahrgassenausfahrt in der baulichen Gestaltung berücksichtigt werden, damit bei konventioneller Parkstandordnung die Ausfahrt über die mittleren Parkstände möglich ist. Dazu sind auch die Mittelinseln zu unterbrechen.

Eventuell können Schranken in der Mitte der letzten Parkstandreihe vorgesehen werden, damit die Ausfahrt beim Kompaktparken nicht über die Mittelgasse erfolgt. Wenn baulich keine Mittelgasse vorgesehen ist, werden bei konventioneller Parkstandordnung die (zwei) ersten und letzten Parkstandreihen als Ein-/Ausfahrt gekennzeichnet. Dynamische Informationsanzeigen auf der Rastanlage können bei Ausfall oder Abschaltung über die anzuwendende Parkstandordnung informieren. Ist Kompaktparken in Betrieb, können hierüber auch die (noch) verfügbaren Abfahrtszeiten gelistet werden.

### 5.2.3 Elektrotechnische Ausstattung

Die elektrotechnische Ausstattung hängt von der Konzeption des Gesamtsystems ab. Soll die Steuerung direkt auf der Rastanlage erfolgen, so ist dort ein Schalthaus mit Schaltschrank und Schreibtisch als Ablage für Notebook und Unterlagen (DIN A4) vorzusehen:

- 2 m x 2 m Grundfläche,
- Schaltschrank (T 0,8 m x B 0,8 m x H 2,1 m) mit Schwenkrahmen,
- Stahltür mit 3fach-Verriegelung und Panikverschluss,
- Schreibtisch.

Im Schaltschrank mit Schwenkrahmen befinden sich:

- Steuerrechner „Kompaktparken“,
- Bedien- und Kommunikationsrechner „Visualisierung“,
- Datenbank-Server incl. der Netzwerkkomponenten,
- USV (zum kontrollierten Herunterfahren des Systems bei Energieausfall),
- Kommunikationseinrichtungen,
- Funkuhr (DCF77),
- Monitor und Tastatur (mit Switch für Steuerrechner und Datenbank-Server).

Neben dem Betonhaus bedarf es

- Energieversorgung, Unterverteilung (3phasig), Potenzialausgleich,
- Erdungsanlage, Blitzschutz- und Überspannungselemente,
- Steckdosen für Notebook und Drucker,
- Schlüsselschalter zur Energieabschaltung außen am Betonhaus,
- Visualisierung mit „Info-Monitor“ außen am Betonhaus,
- evtl. Klimatisierung des Betonhauses (Heizung mit Frostwächter),
- Bedienung für Visualisierungsrechner auf Schreibtisch.

#### 5.2.4 Öffentlichkeitsarbeit

Die Nutzer des Kompaktparkens unterwerfen sich den Randbedingungen der besonderen Aufstellungsordnung. Fahrzeuge auf mittleren Parkständen können die Rastanlage nicht vorzeitig verlassen. Auch eine Verlängerung der geplanten Aufenthaltszeit ist nur begrenzt möglich, um Behinderung anderer Lkw zu vermeiden. Sehr lange oder wenig nachgefragte Aufenthaltszeiten stehen unter Umständen nicht zur Verfügung, sodass der Fahrer die Rastanlage wieder verlassen muss.

Da die Nutzer beim Kompaktparken keine Parkstandreihe zugewiesen bekommen, sollen sie bei

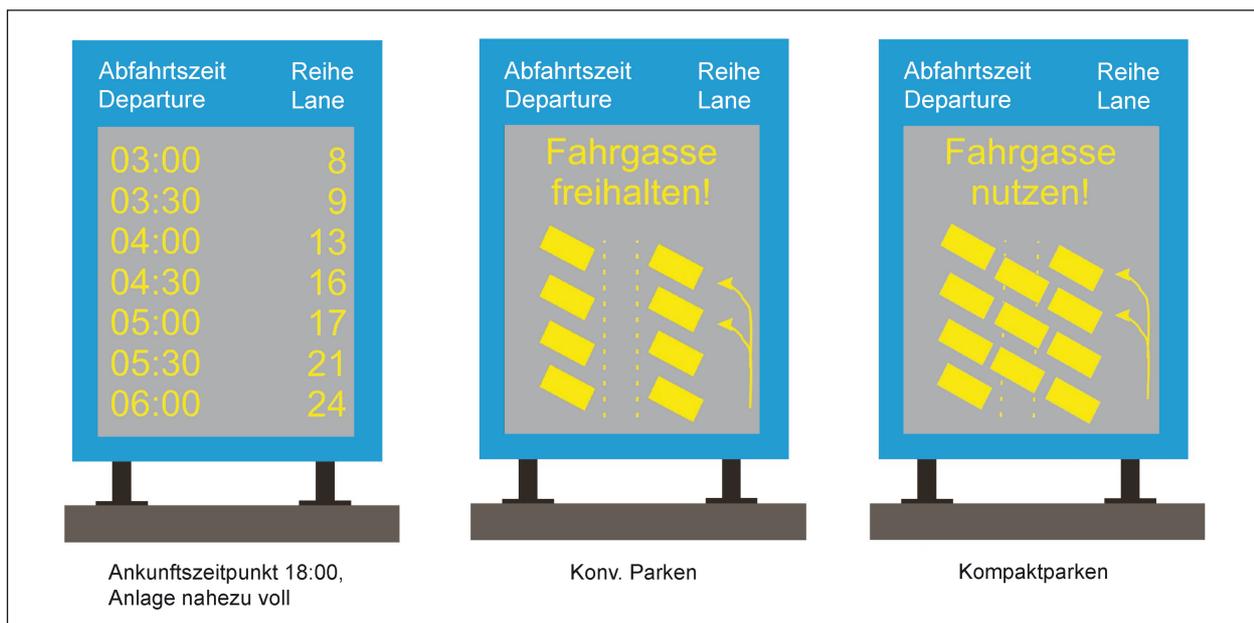
der Auswahl unterstützt werden. Zudem sollte den Nutzern die Funktionsweise des Systems vermittelt werden.

Unterstützend könnte vorgesehen werden, die aktuelle Belegung (Restlänge und gewählte Abfahrtszeiten der parkenden Fahrzeuge) als schematische Darstellung zu veröffentlichen. Hierfür eignen sich, neben einem Display auf der Rastanlage, eine internetbasierte Anwendung und Smartphone-Applikationen. Der schematischen Belegungsdarstellung liegt eine Dokumentation der angezeigten Abfahrtszeit, die dem Nutzer zum Zeitpunkt der Einfahrt in die Parkstandreihe angezeigt wurde, zugrunde. Anforderungen an die Generierung eines Belegungsplanes sind mit der zuständigen Verkehrsbehörde abzustimmen. Um die tatsächlichen Belegungen mit den zugehörigen Abfahrtszeiten korrekt darstellen zu können, sind Regeln zur Interpretation der Detektionsdaten (Restlängenmessung) erforderlich. Grenzwerte sollten dabei in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten (Länge und Winkel der Parkstandreihe etc.) eingestellt und ggf. im laufenden Betrieb angepasst werden.

Die Dokumentation der Belegung dient der Unterstützung der Nutzer. Die Rückmeldung in Form eines Belegungsplans unterstreicht den Charakter des Kompaktparkens als ein unterstützendes Instrument. Die Wahl einer Parkstandreihe bleibt einzig dem Nutzer, also den Lkw-Fahrern, überlassen.

Damit im Betriebszustand „HALT“ und „AUS“ die konventionelle Parkstandordnung erfolgt, wird empfohlen, dies den Verkehrsteilnehmern mittels Beschilderung zu verdeutlichen. Parken bereits Fahrzeuge im Parkbereich, die vor dem Wechsel von „Normalbetrieb“ in den Zustand „Halt“ geparkt haben, so behindern sich diese bei der Abfahrt nicht, da sie zeitlich sortiert parken. Ankommende Fahrzeuge werden mittels (dynamischer) Beschilderung darauf hingewiesen, die mittlere Fahrgasse (nicht mehr) zum Parken zu nutzen. Zur Information kann ein frei programmierbares Wechselverkehrszeichen im Einfahrtsbereich des Lkw-Parkbereichs vorgesehen werden (Gestaltungsbeispiele siehe Bild 39).

Bezüglich der Verständlichkeit der Anzeigeninhalte bedarf es Informationen für die Fahrer, dass diese die Abfahrtszeit einer Parkstandreihe angezeigt bekommen und in der Parkstandreihe parken sollen,



**Bild 39:** Hinweis auf Parkstandordnung oder verfügbare Abfahrtszeiten (Quelle: BAST)

die ihrer eigenen geplanten Abfahrtszeit entspricht. Dies kann mittels Internetpräsenz oder über sprachunabhängige Filmdarstellungen erfolgen (vgl. BAST, 2013).

Vor Inbetriebnahme einer Pilotanlage sollen die Lkw-Fahrer durch Veröffentlichungen in entsprechenden Medien über dieses neue Steuerungsverfahren rechtzeitig informiert werden. Grundsätzlich soll Kompaktparken keine personelle Betreuung auf der Rastanlage erfordern, dies kann jedoch zu Beginn einer praktischen Erprobung sinnvoll sein.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die hohe Parkraumnachfrage für Lkw entlang von BAB in den Nachtstunden kann neben baulichen Maßnahmen auch durch den Einsatz telematischer Verfahren adressiert werden. Parallel zum Pilotbetrieb des „Telematisch gesteuerten Lkw-Parken“ auf der Rastanlage Montabaur wurde von der BAST Kompaktparken entwickelt. Charakteristisch ist, dass allein der Nutzer durch sein Verhalten die Parkraumsteuerung beeinflusst. Statt der Zuweisung eines Parkstandes erfolgt die Bereitstellung eines nachfrageabhängigen Parkraumangebotes. Dabei errechnet ein Steuerungsverfahren nachfrageabhängig Abfahrtszeiten, die mittels dynamischer Abfahrtszeitanzeigen über alle Parkstandreihen angeboten werden. Im Ergebnis parken Lkw zeitlich

sortiert unmittelbar hintereinander und nutzen damit den verfügbaren Raum optimal aus.

Im Wesentlichen ermittelt der hier beschriebene Algorithmus auf der Basis von nur drei möglichen Belegungszuständen je Parkstandreihe für jede eine Abfahrtszeit. Die Steuerung ist dabei robust konzipiert, sodass Detektionsfehler die Funktionstüchtigkeit und Qualität der Steuerung nicht wesentlich beeinflussen. Erste simulationsbasierte Analysen zeigen dabei, dass das Abfahrtszeitangebot die (theoretische) Nachfrage gut abbilden kann. Es zeigt sich jedoch der Bedarf einer systematischen Analyse der Leistungsfähigkeit mithilfe von repräsentativen Langzeitdaten.

Das erste 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 A 3 in Fahrtrichtung Regensburg realisiert. Vor der Umgestaltung gab es auf der Rastanlage Jura-West 61 Lkw- und 5 Bus-Schrägparkstände, angebunden durch eine hintere und eine mittlere Fahrgasse, sowie eine Durchfahrt (vordere Fahrgasse). Durch Umgestaltung der Trennseln und Wegfall der mittleren Fahrgasse im Rahmen der vorbereitenden Tiefbauarbeiten für das Kompaktparken wurden insgesamt 35 Parkstandreihen Längen von rund 70 m eingerichtet. In jeder Parkstandreihe können mindestens drei Lkw hintereinander geparkt werden. Die Breite der Park-



**Bild 40:** Kompaktparken auf der Rastanlage Jura (West),  
(Foto: BASt)

standreihen blieb dabei identisch mit der Breite konventioneller Parkstände.

Die im Dokument beschriebenen Grundlagen des Kompaktparkens sind in die Vorbereitung dieser ersten praktischen Anwendung des Kompaktparkens auf dieser Rastanlage eingeflossen und wurden durch die BASt begleitet. Im Februar 2016 wurde die Rastanlage Jura (West) mit Kompaktparken für den Verkehr freigegeben (BMVI, 2016).

Eine wissenschaftliche Begleitung des laufenden Betriebs auf der Rastanlage ist vorgesehen. Im Besonderen sollen Erkenntnisse zu Nutzerakzeptanz und Leistungsfähigkeit des Systems ermittelt werden. Diese werden kontinuierlich ausgewertet, um in zukünftigen Weiterentwicklungen berücksichtigt zu werden. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit des Steuerungsverfahrens ist ein geeignetes Bewertungsverfahren zu entwickeln, welches zudem den Vergleich zu alternativen Lösungen erlaubt.

## 7 Literatur

Bergische Universität Wuppertal (2003): Sicherheits- und Betriebserfordernisse beim Bau von Rastanlagen der Bundesautobahnen (FE 02.0201/2000/MRB)

Bundesanstalt für Straßenwesen – BASt (2012): Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen; Ausgabe 2012, FGSV-Verlag; Bekanntmachung BMV ARS 2/2013 vom 03.01.2013

Bundesanstalt für Straßenwesen (2013): Kurzfilm „Kompakt ist besser! Wie funktioniert Kompaktparken“ erstellt von Julia Tews im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, [www.bast.de](http://www.bast.de)  
→ <https://www.youtube.com/watch?v=xoJeO5iVh6s>

Bundesministerium für Verkehr (1985): Verordnung zur Erleichterung des Ferienreiseverkehrs auf der Straße (Ferienreiseverordnung) vom 13.5. 1985 (BGBl. I S. 774), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juni 2013 (BGBl. I S. 1577) geändert

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008a): Mehr Lkw-Parkplätze auf Autobahnen – Parksituation für Lkw auf BAB in Deutschland in den Nachtstunden, [www.bmvbs.de](http://www.bmvbs.de)

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008b): Studie zu Lkw-Parkplätzen ausgewertet; Pressemitteilung vom 08. September 2008, Nr.: 248/2008

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008c): Masterplan Güterverkehr und Logistik, September 2008

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012): Lkw-Parken in einem modernen, bedarfsgerechten Rastanlagensystem; Broschüre; Herausgeber Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik – nachhaltig und effizient in die Zukunft; Stand: November 2015

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016): Kompaktparken – Rastanlage Jura-West; Zugriff am 19.02.2016; [www.kompaktparken.de](http://www.kompaktparken.de)

CEN-EN-ISO 14819-1 (2003): Traffic and Traveler Information (TTI) –TTI Messages via traffic message coding – Part 1: Coding protocol for Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC) – RDS-TMC using ALERT-C

DATEX (2013): DATEX II Profil für Intelligentes Lkw-Parken (ITP). Version 00-01-00, unveröffentlichter Entwurf, Stand: 20.06.2013

Europäische Union (1996): Richtlinie 96/53/EG des Rates vom 25. Juli 1996 zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr (ABl. L 235 vom 17. September 1996, S. 59)

- Europäische Union (2006): Verordnung (EG) Nr. 561/2006 des europäischen Parlaments und des Rates vom 15. März 2006 zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 3821/85 und (EG) Nr. 2135/98 des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates. Amtsblatt der Europäischen Kommission vom 11.04.2006
- Europäische Union (2013): Commission delegated regulation (EU) C(2013) 2549 final No .../... of 15.5.2013 supplementing ITS Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council with regard to the provision of information services for safe and secure parking places for trucks and commercial vehicles; Zugriff am 25.07.2013 verfügbar unter: [http://ec.europa.eu/transport/themes/its/news/doc/c%282013%292549\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/themes/its/news/doc/c%282013%292549_en.pdf)
- Europäische Patentschrift EP 1 408 455 B1 (2007): Anlage zur optimalen Ausnutzung des Parkraumes von Parkplätzen für Kraftfahrzeuge. Patentinhaber Dr. Manns, Klaus
- EVERS, C. (2009): Auswirkungen von arbeitsbezogenen Belastungen und Stress auf das Verkehrsverhalten von Lkw-Fahrern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 204
- EVERS, C. & AUERBACH, K. (2006): Übermüdung als Ursache schwerer Lkw-Unfälle. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 52, S. 67-70
- FOLLMANN, J.; MENGE, J. (2009): Verbesserung der Parkmöglichkeiten für Lkw an Autobahnen. Straßenverkehrstechnik, Heft 1/2009, S. 25-31, Kirschbaumverlag, Bonn
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2011): Empfehlungen für Rastanlagen an Straßen
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2012): Begriffsbestimmungen – Teil Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb; FGSV-Verlag; FGSV-Nr.: FGSV 220
- KATHMANN, T.; SCHROEDER, S.; BÄR, A. (2014): Lkw-Parken auf BAB – Auswertung der bundesweiten Erhebung der Nachfrage an BAB 2013 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Schlussbericht, Februar 2014
- KLEINE, J.; LEHMANN, R. (2009): Neuer telematischer Steuerungsansatz für das Parkraummanagement von Lkw auf Rastanlagen an Bundesautobahnen; Straßenverkehrstechnik, Heft 12/2009, S. 796-799, Kirschbaumverlag, Bonn
- KLEINE, J.; LEHMANN, R.; RITTERSHAUS, L.; LOHOFF, J. (2014): Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 241
- LEERKAMP, B.; KLEMMER, T. (2014): Schlussbericht „Ermittlung von Tages-, Wochen und Jahresganglinien sowie Aufenthaltsdauern an BAB-Rastanlagen“ des FE-Nr. 01.0172/2011/CRB
- LÜTTMERTING, A.; GATHER, M.; HEINITZ, F.; HESSE, N. (2008): Belegung der Autobahnparkplätze durch Lkw in Thüringen – Bestandsaufnahme und grundsätzliche Maßnahmenempfehlungen, Berichte des Instituts Verkehr und Raum, Band 3, 2008
- M+C Lkw-Parksysteme GmbH & CoKG (2013): Telematisch gesteuertes Lkw-Parken (Lkw-Kolonnen-Parken); Zugriff am 19.07.2013, <http://www.Lkw-Parken.de/>
- MobilitätsDatenMarktplatz – MDM (2011): Das Projekt: Eine Plattform für alle Marktteilnehmer. Zugriff am 19.07.2013 [www.mdm-portal.de](http://www.mdm-portal.de)
- MobilitätsDatenMarktplatz – MDM (2013): Mobilitäts Daten Marktplatz, Technische Schnittstellenbeschreibung, Version 2.3.1. Verfügbar unter: <http://hilfe.mdm-portal.de/startseite/dokumentation.html>
- TISA (2013): Intelligent Transport Systems (ITS) — Traffic and Travel Information (TTI) via Transport Protocol Experts Group, Generation 2 (TPEG2) – Part 14: ParkingInformation (TPEG2-PKI\_1.1/001), SP13009 TPEG2 PKI 20130315. TISA Spezifikation, Entwurf für ISO/TS 21219 Part 14, 15.03.2013

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2014

V 235: **Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahr-  
bahnmarkierungen bei Nässe**

Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012**

Fitschen, Nordmann € 28,50

Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 237: **Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nach-  
weis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung  
im Rahmen der KP II – Maßnahmen**

Bund-Länder Arbeitskreis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: **Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebs-  
dienst – Sommerdienst**

Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmar-  
kierungen**

Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: **Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und  
Einsatzgrenzen**

Baier, Leu, Klemms-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: **Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und  
Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme**

Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

V 242: **Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenin-  
dikatoren an Überquerungsstellen**

Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock, Herrnsdorf, Pfeil € 20,00

V 243: **Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen  
über den gesamten Lebenszyklus**

Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013**

Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: **Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunk-  
te mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs**

Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel

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

V 246: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in  
Einfahrten auf Autobahnen**

Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier

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

V 247: **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw**

Lippold, Schemmel

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

V 248: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlage-  
ermittlung**

Burg, Röhling

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

## 2015

V 249: **Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längs-  
gerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Land-  
straßen**

Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder

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

V 250: **Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen  
mit Lang-Lkw**

Lippold, Schemmel

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

V 251: **Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumge-  
staltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken**

Baier, Engelen, Klemms-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: **Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose  
für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen**

Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx,

Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den  
Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen**

Baier, Kemper

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

V 254: **Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-  
Lkw**

Wellner, Uhlig

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

V 255: **Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssi-  
cherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw**

Zimmermann, Riffel, Roos

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

V 256: **Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagen-  
teile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Vor-  
aussetzung eines umfassenden Asset Managements**

Zander, Birbaum, Schmidt

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

V 257: **Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtli-  
chen Hauptverkehrsstraßen**

Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier

Hantschel, Otto € 18,00

V 258: **Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten**

Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufele € 18,00

V 259: **Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellie-  
rung 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 260: **Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinter-  
dienst**

Hausmann

€ 15,50

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

---

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller  
lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe  
können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH  
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](http://www.schuenemann-verlag.de)