



Jan Riel

## Modellierung von Störungen des Verkehrsablaufs durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand



**Jan Riel**

## **Modellierung von Störungen im Verkehrsablauf durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand**

Vom Fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen der Universität Kaiserslautern zur Verleihung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation.

|                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. Berichterstatter:            | Prof. Dr.-Ing. Hartmut Topp    |
| 2. Berichterstatter:            | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gerlach  |
| Vorsitz der Prüfungskommission: | Prof. Dr.-Ing. Gerd Steinebach |
| Dekan:                          | Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Böhm   |
| Tag der mündlichen Prüfung:     | 29.November 2002               |

## Lebenslauf

|             |   |
|-------------|---|
| 1968        | Geboren in Stuttgart Bad Cannstatt  |
| 1989        | Abitur  |
| 1989 - 1990 | Zivildienst   |
| 1990 - 1996 | Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Kaiserslautern  |
| 1996 - 2002 | Mitarbeiter im Fachgebiet Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern. Tätigkeitsfelder: <ul style="list-style-type: none"><li>• Administration von EDV und Netzwerk</li><li>• Betreuung verschiedener Übungen, Studienarbeiten und Diplomarbeiten</li><li>• Forschungsprojekt „Sicherheit von Knotenpunkten mit Grünpfeil“ (1996 – 1997)</li><li>• Forschungsprojekt „Fortentwicklung eines Verfahrens zur Auswertung und Analyse automatisch erhobener Daten von von Verkehrsströmen an Straßenquerschnitten“ (1997 – 1998)</li><li>• Forschungsprojekt „Linksparken in städtischen Straßen“ (1999 – 2001)</li></ul> |
| seit 2002   | Mitarbeiter im Planungsbüro R+T und Partner in Darmstadt  |



## **Vorwort des Autors**

Anstelle einer ersten Einführung in die Thematik sei in diesem Vorwort vielmehr auf die zukünftige Verwendung des im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Simulationsprogramms EPAVA (**E**influss von **P**arkmanövern auf den **V**erkehrsablauf) eingegangen:

Das Programm wurde in der Programmiersprache Java erstellt, was in erster Linie aufgrund der angestrebten Unabhängigkeit von einem bestimmten Betriebssystem geschehen ist. Damit erschließt sich das Programm für einen größeren Kreis von Anwendern und Entwicklern. Als im Rahmen der vorliegenden Arbeit entstandenes Programm dient EPAVA eher zu Forschungszwecken denn zur kommerziellen Anwendung und soll daher auch nicht als proprietäre Software gehandelt werden. Der Quelltext des Programms wird derzeit unter der Internetadresse des Fachgebietes Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern (<http://transport.arubi.uni-kl.de/EPAVA>) sowie auf meiner privaten Internetpräsenz (<http://janriel.gmxhome.de/EPAVA>) zum Download angeboten. Diese Links können sich im Laufe der Zeit ändern, aber mittels geeigneter Suchmaschinen sollte das Auffinden des Programms stets möglich sein.

Programm bzw. Quelltext sind frei verfügbar und dürfen beliebig häufig weitergegeben und vervielfältigt werden. Sicherlich sind noch diverse „Bugs“ in EPAVA verborgen und das ein oder andere „Feature“ noch nicht implementiert. Daher ist die einzige Voraussetzung zum Umgang mit EPAVA, dass Verbesserungen oder funktionale Erweiterungen dem Autor zugeschickt werden, so dass auch weiterentwickelte Versionen frei zugänglich gemacht werden können. Die Kontaktadressen sind auf den o.g. Internetseiten angegeben.

Darmstadt, Dezember 2002

**Jan B. Riel**



# Inhalt

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Parkmanöver und Verkehrsablauf.....</b>  | <b>5</b>  |
| 1.1      | Derzeitige Situation und Ziel der Arbeit.....   | 5         |
| 1.2      | Bisheriger Kenntnisstand .....  | 8         |
| 1.2.1    | Richtlinien.....  | 8         |
| 1.3      | Weiterführende Literatur.....   | 11        |
| 1.4      | Zusammenfassung und Fazit.....  | 18        |
| <b>2</b> | <b>Empirie.....</b>   | <b>20</b> |
| 2.1      | Datengrundlage und Vorgehensweise.....  | 20        |
| 2.2      | Unfallstatistik.....  | 23        |
| 2.3      | Auswertung der Erhebungen.....  | 25        |
| 2.3.1    | Definition von Teilmanövern.....  | 25        |
| 2.3.2    | Aspekt Verkehrssicherheit.....  | 28        |
| 2.3.3    | Verkehrssicherheit als Komponente im Modell .....                                     | 30        |
| 2.3.4    | Aspekt Verkehrsablauf.....  | 31        |
| 2.3.5    | Verkehrsablauf als Komponente im Modell .....   | 35        |
| 2.4      | Akzeptanz von Parkständen auf der linken Seite.....                                   | 36        |
| 2.4.1    | Verkehrsbelastung und Parkraumauslastung.....   | 36        |
| 2.4.2    | Berücksichtigung der Einflussfaktoren im Modell .....                                 | 38        |
| <b>3</b> | <b>Simulation des Verkehrsablaufs.....</b>  | <b>40</b> |
| 3.1      | Funktionale Grundlagen von Simulationsmodellen.....                                   | 40        |
| 3.2      | Zelluläre Automaten.....  | 45        |
| 3.3      | Fahrzeugfolge und Fahrstreifenwechsel.....  | 46        |
| 3.4      | Parken in bestehenden Simulationsmodellen.....  | 50        |
| 3.5      | Modellierung des Ein- und Ausparkens mit einem kommerziellen Simulationsprogramm..... | 54        |
| <b>4</b> | <b>Entwicklung des Modells EPAVA.....</b>   | <b>58</b> |
| 4.1      | Komponenten des Modells.....  | 58        |
| 4.1.1    | Objekt „Fahrzeug“.....  | 58        |
| 4.1.2    | Objekt „Straße“.....  | 60        |
| 4.1.3    | Objekt „Parkstand“.....   | 61        |
| 4.1.4    | Generator.....  | 61        |
| 4.2      | Zusammenspiel der Komponenten.....  | 62        |
| 4.2.1    | Grundsätzliche Entscheidungen.....  | 62        |
| 4.2.2    | Fahrzeugfolge.....  | 63        |
| 4.2.3    | Überholmanöver.....   | 63        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.3      | Modellierung des Zeitbedarfs von Parkmanövern.....                 | 65         |
| 4.4      | Erscheinungsbild und Bedienung.....                                | 69         |
| 4.5      | Anwendungsbereich von EPAVA.....                                   | 73         |
| 4.6      | Kalibrierung.....  | 75         |
| 4.6.1    | Vergleichswerte und Stellschrauben.....                            | 75         |
| 4.6.2    | Kalibrierung 1: Parkstandsuchende und Parkraumauslastung.....      | 80         |
| 4.6.3    | Kalibrierung 2: Akzeptanz / Bevorzugung von Parkständen links..... | 82         |
| 4.6.4    | Kalibrierung 3: Zeitbedarf von Parkmanövern.....                   | 84         |
| 4.7      | Fazit der Modellentwicklung.....                                   | 89         |
| <b>5</b> | <b>Anwendung von EPAVA.....</b>                                    | <b>91</b>  |
| 5.1      | Simulation zweier Straßen bei variierenden Randbedingungen.....    | 90         |
| 5.2      | Simulationsergebnisse .....  | 92         |
| 5.3      | Fazit der Anwendung von EPAVA.....                                 | 96         |
| <b>6</b> | <b>Fazit.....</b>  | <b>97</b>  |
| <b>7</b> | <b>Literatur.....</b>  | <b>101</b> |
| <b>8</b> | <b>Anhang.....</b>   | <b>105</b> |

## Kurzfassung

Parkmanöver sind ein häufig auftretender Bestandteil des urbanen Verkehrsgeschehens. Über den Einfluss von Parkmanövern auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit lagen bisher nur teilweise Kenntnisse von eher qualitativem Charakter vor. Ziel dieser Arbeit war es, in einem ersten (empirischen) Schritt die vorliegenden Kenntnisse zu ergänzen und zu quantifizieren und in einem zweiten Schritt ein Simulationsmodell zu entwickeln, mit dessen Hilfe sich Aussagen zu weitergehenden Fragestellungen unter variierenden Randbedingungen machen lassen.

Im ersten Schritt wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Linksparken in städtischen Straßen“ ca. 3.400 Parkmanöver in Längsrichtung dokumentiert und bzgl. ihres Einflusses auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit analysiert. Dabei wurden insbesondere auch (illegale) Parkmanöver entgegen der Fahrtrichtung (Linksparken) betrachtet und mit dem heute vorgeschriebenen Rechtsparken verglichen. Die wichtigsten Ergebnisse des empirischen Teils waren:

- Die Analyse der Unfallstatistiken ergab, dass Parkmanöver generell einen eher geringen Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben, zumal beim Ein- und Ausparken meistens Bagatellschäden verursacht werden. Dies wurde mittels einer Befragung von 118 Polizeidienststellen weitgehend bestätigt, wobei dennoch beim Ausparken von links die eingeschränkte Sicht des Fahrers auf die Fahrbahn als Gefährdungspotenzial angesehen wurde.
- Bei den Erhebungen wurden acht Parkmanöver (0,2%) erfasst, durch die Konflikte verursacht wurden, Unfälle ereigneten sich nicht. Ein gehäuftes Auftreten von Konflikten bei bestimmten Parkmanövern oder bestimmten Abschnitten davon war (auch aufgrund der geringen Anzahl der Konflikte) nicht feststellbar.
- In Straßen sehr schwach befahrenen Straßen wurde teilweise fast die Hälfte aller Parkmanöver entgegen der Fahrtrichtung durchgeführt. Dieser Anteil nimmt mit zunehmendem Verkehrsaufkommen ab, da Parkstände auf der linken Seite nicht mehr ohne Behinderung des Gegenverkehrs belegt und verlassen werden können.
- Beim Ausparken von links befindet sich der Fahrer auf der der Fahrbahn abgewandten Seite. Insbesondere durch größere Fahrzeuge wie z.B. Lieferwagen kann dann die Sicht auf den fließenden Verkehr so weit eingeschränkt sein, dass das Fahrzeug relativ weit in die Fahrbahn einfahren muss, bevor der Fahrer das Verkehrsgeschehen überschauen kann. Dies wird vor allem auf Straßen mit Geschwindigkeiten von über 30 km/h als unvertretbares Sicherheitsrisiko angesehen. In solchen Straßen sollte daher auch im Falle einer Novellierung der StVO von einer Legalisierung des Linksparkens abgesehen werden.

- Rechts rückwärts durchgeführte Parkmanöver verursachen am häufigsten Wartezeiten im fließenden Verkehr, wobei auch die Länge der verursachten Wartezeiten bei diesem Manöver am größten ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nachfolgende Fahrzeuge häufig relativ dicht auf ein einparkendes Fahrzeug auffahren und so (a) dieses am Einparken hindern und (b) das einparkende Fahrzeug selbst nicht überholen können, ohne vorher zurückzustoßen. Im Vergleich zu den Wartezeiten, wie sie durch Lichtsignalanlagen verursacht werden, sind die durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten jedoch sehr gering.

Im zweiten Schritt der Arbeit wurden die Ergebnisse der Empirie in das mikroskopische Simulationsmodell EPAVA (**E**influss von **P**arkmanövern auf den **V**erkehrs**A**blauf) implementiert. Da für das Auftreten von Unfällen oder Konflikten in der Empirie aufgrund deren Seltenheit keine Regeln abgeleitet werden konnten, werden diese nicht simuliert. Simuliert wird der Einfluss von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf, wobei die Randbedingungen des simulierten Streckenabschnittes vom Benutzer interaktiv definiert werden können. Parameter zur Beurteilung des Verkehrsablaufs sind neben den Wartezeiten im fließenden Verkehr die Parkraumauslastung und die Entstehung von Parksuchverkehr. Damit stehen Informationen zu Parametern zur Verfügung, die empirisch nicht erhoben werden können.

In der Anwendung von EPAVA wurden zwei unterschiedlich stark belastete Streckenabschnitte mit jeweils drei unterschiedlichen Werten für die Akzeptanz von Parkständen auf der linken Seite simuliert. Dabei führt das Simulationsprogramm zu folgenden Ergebnissen:

- Mit zunehmender Akzeptanz des Linksparkens werden freie Parkstände schneller wieder belegt, da diese von Fahrzeugen aus beiden Fahrtrichtungen angefahren werden. Dadurch kann insbesondere in Gebieten mit hohem Parkdruck eine bessere Auslastung des Parkraums erreicht werden.
- Mit der höheren Auslastung des Parkraums geht eine Reduzierung des Parksuchverkehrs einher. Diese ist jedoch nur sehr gering.

## Abstract

Park maneuvers are a frequently occurring constituent of urban traffic. Over the influence of park maneuvers on traffic flow and road safety so far only partial knowledge from a rather qualitative character was present. Target of this work was to complete and quantify the available knowledge in a first (empirical) step and in a second step to develop a simulation model, with whose assistance predicates can be made on further questions under varying boundary conditions.

In the first step in the context of the research project „Linksparken in städtischen Straßen“ about 3,400 parking maneuvers in longitudinal direction were documented and analyzed concerning their influence on traffic flow and road safety. (Illegal) parking maneuvers against the driving direction (Linksparken) were also regarded and compared with parking as prescribed today. The most important results of the empirical section were:

- The result of the analysis of accident statistics was that park maneuvers have generally a rather small influence on road safety. A questioning of 118 police stations came to the same result. However it is regarded as dangerous, that (when leaving a parking lot from the left side) the drivers view on the roadway may be severely limited by other parking cars.
- During the empirical inquiries eight park maneuvers (0,2%) were registered, by which conflicts were caused, accidents did not occur. An accumulated occurring of conflicts with certain park maneuvers or certain parts of these was (also due to the small number of conflicts) not ascertainable.
- In roads with very small traffic volume partly almost half of the parking maneuvers were performed against the driving direction. This proportion decreases with increasing traffic volume, since entering or leaving the parking lot will no longer be possible without holding up the oncoming traffic.
- Leaving a parking lot from left side the driver is on the side turned away from the roadway. Particularly by larger vehicles like delivery vans the view on the oncoming traffic can be so far that the vehicle has to be moved relatively far into the roadway, before the driver can over-look the traffic happening. On roads with speeds of over 30 km/h this is regarded as a not acceptable safety risk. In such roads therefore in the case of an amending of the StVO Linksparken should not be legalized.
- Park maneuvers executed backwards on the right side most frequently cause waiting periods in flowing traffic, whereby also the length of the caused waiting periods is largest with this maneuver. This is to be attributed to the fact that following vehicles frequently relatively closely follow the car getting into the parking lot. Doing so

(1) the parking car can not back and (2) the following vehicle cannot overhaul the parking vehicle, without backing itself before. Compared with the waiting periods, as they are caused by traffic lights, the waiting periods caused by parking maneuvers are however very small.

In the second step of the work the results of the experience were implemented into a microscopic simulation model (EPAVA). Since for occurring accidents or conflicts in the experience due to their rarity no rules could be derived, these are not simulated. Simulated is the influence of parking maneuvers on the traffic flow, whereby the boundary conditions of the simulated road section can be defined interactively by the user. Parameters for the evaluation of the traffic flow are the waiting periods in flowing traffic, the utilization of the parking space and the number of vehicles searching for a parking space. Thus information is available to parameters, which cannot be raised empirically.

In the use of EPAVA two differently strongly loaded road sections with each three different values for the acceptance of parking lots on the left side were simulated. The simulator routine leads to the following results:

- With an increasing acceptance of Linksparken free parking lots are occupied after a shorter time, since vehicles from both driving directions can do that. Thus a better utilization of the parking space can be achieved.
- With the higher extent of utilization of the park space a reduction of park search traffic accompanies. This is however only very small.

# 1 Parkmanöver und Verkehrsablauf

## 1.1 Derzeitige Situation und Ziel der Arbeit

Das städtische Verkehrsgeschehen ist von einer Vielzahl von Einflüssen geprägt, die aus unterschiedlichen, teilweise konkurrierenden Nutzungen wie z.B. Aufenthalt, Erschließung oder Verbindungsfunktion resultieren. In fast allen Straßen sind Parkmanöver im öffentlichen Straßenraum ein elementarer und unvermeidbarer Bestandteil des Verkehrsgeschehens, durch die Ausweich- oder Anhaltemanöver, Konflikte oder Unfälle verursacht werden können.

Parkstände werden im öffentlichen Straßenraum üblicherweise in den Aufstellungsarten Senkrechtparken, Schrägparken oder Längsparken angeordnet, wobei bei der Organisation von Parkständen und der Auswahl für eine der genannten Aufstellungsarten die quantitative Verfügbarkeit von Parkraum neben gestalterischen Aspekten das in der Praxis wohl wichtigste Kriterium darstellt. Quantitativ gesehen stellt das Senkrechtparken die beste Lösung dar, da auf diese Weise die meisten Parkstände zur Verfügung gestellt werden können (vgl. Tabelle 1-1). In der Praxis werden jedoch die meisten Parkstände in Längsrichtung angelegt, da die baulich begrenzte Breite des Straßenraums in den Städten meistens keine andere Aufstellungsart zulässt.

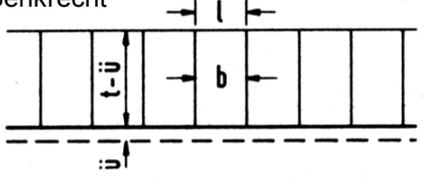
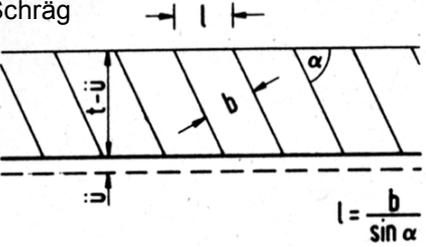
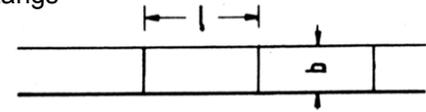
| Aufstellung  | Verfügbarkeit von Parkständen   |
|--|---|
| Senkrecht<br> | $l = b = 2,50 \text{ m}$<br>$t - \ddot{u} = 4,30 \text{ m} (= 5,00 \text{ m} - 0,70 \text{ m})$<br>Parkstände / m = 0,4   |
| Schräg<br>    | $\alpha = 50 \sim 90^\circ$<br>$l = 2,53 \text{ m} \sim 3,54 \text{ m}$ (abhängig vom Winkel)<br>$t - \ddot{u} = 4,50 \text{ m} \sim 4,15 \text{ m}$<br>$b = 2,5 \text{ m}$<br>Parkstände / m = 0,39 ~ 0,28 |
| Längs<br>     | $l = 5,75 \text{ m}$<br>$b = 2,00 \text{ m}$<br>Parkstände / m = 0,17   |

Tabelle 1-1: Aufstellungsarten von Parkständen gemäß EAR 91<sup>1</sup>, Maße für bequemes Ein- und Ausparken.

1 FGSV: Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs, Köln, 1991

Je nach Präferenz des Fahrers und Ausrichtung der Parkstände werden Parkmanöver auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlichen Auswirkungen auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit durchgeführt. So kommt es zum Beispiel beim rückwärts Einparken häufig zu Behinderungen im fließenden Verkehr, weil nachfolgende Fahrzeuge relativ dicht hinter einem einparkenden Fahrzeug herfahren und dadurch (a) dieses am Zurückstoßen und Einparken hindern und (b) selbst nicht an dem einparkenden Fahrzeug vorbeifahren können, ohne vorher zurückzustößen (vgl. folgende Abbildung 1-1).



Abbildung 1-1: Rückstau hinter einem rückwärts einparkenden Fahrzeug.

Die quantitative Verfügbarkeit von Parkständen ist Gegenstand eines breiten Spektrums von Arbeiten zum Thema Parken, in denen zahlreiche organisatorische oder bauliche Lösungsvorschläge zur effizienteren Nutzung des begrenzten Parkraums erarbeitet werden. Eine weitaus geringere Zahl der Arbeiten beschäftigt sich mit dem Einfluss von Parkmanövern auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit. Dies sind z.B. die Richtlinien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) aber auch Arbeiten anderer Autoren (vgl. Kapitel 1.2). Die dort gegebenen Hinweise haben meistens qualitativen Charakter und sind nur begrenzt als Instrument zur Abschätzung der Auswirkung von Parkmanövern auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf einsetzbar.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Ablauf von Parkmanövern zu analysieren und deren Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf zu beschreiben. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund:

1. Welchen Einfluss haben Parkmanöver auf die Verkehrssicherheit und wann treten Gefährdungspotenziale auf?
2. Welchen Einfluss haben Parkmanöver auf den Verkehrsablauf?
  - Wann entstehen Verzögerungen oder Wartezeiten im fließenden Verkehr?
  - Wird durch Parken entgegen der Fahrtrichtung der Parkraum besser ausgelastet?
  - Hat dies ggf. Auswirkungen auf den Parksuchverkehr?
3. Lassen sich bzgl. dieser Fragestellungen Unterschiede zwischen verschiedenen Parkmanövern (Ein- oder Ausparken, vorwärts oder rückwärts, in oder entgegen der Fahrtrichtung) erkennen?

In einem ersten (empirischen) Schritt wurden ca. 1.700 Einparkmanöver und ebenso viele Ausparkmanöver in 17 Straßen dokumentiert und analysiert<sup>2</sup> (Kapitel 2). Die Untersuchungsbeispiele wurden dabei so gewählt, dass ein breites Spektrum unterschiedlicher Randbedingungen bzgl. Verkehrsbelastung, Parkdruck und Fahrbahnbreite abgedeckt wurde. Anhand dieser Erhebungen konnten zunächst Aussagen über den derzeitigen Einfluss von Parkmanövern auf die Verkehrssicherheit sowie einige Aussagen über den Verkehrsablauf abgeleitet werden: So wurden erhobene Konflikte und Interaktionen mit Fahrzeugen des fließenden Verkehrs beurteilt und Aussagen zu den durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten sowie über die Auslastung des Parkraums gemacht.

Zum Parksuchverkehr sowie darüber, wie sich Werte ändern können, wenn bestimmte Parameter (wie z.B. die Verkehrsbelastung oder der Anteil an Parkmanövern entgegen der Fahrtrichtung) unter ansonsten gleichbleibenden Randbedingungen variiert werden, können damit jedoch keine Aussagen gemacht werden.

Im zweiten Schritt der Arbeit wurden zur Beantwortung dieser noch offenen Fragestellungen die relevanten Ergebnisse aus der Empirie in einem Simulationsmodell zusammengefasst (Kapitel 4). Dabei wird auch berücksichtigt, dass Parkmanöver als Linksparken durchgeführt werden können. Mit dem Simulationsprogramm wurde abschließend die Entstehung von Wartezeiten, die Parkraumauslastung und die Entstehung von Parksuchverkehr unter verschiedenen Randbedingungen simuliert.

---

<sup>2</sup> Der Empirische Teil wurde weitgehend im Rahmen des Forschungsprojektes „Linksparken in städtischen Straßen“, Projektnummer FE 77.432/1999 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen durchgeführt.

Gegenstand der empirischen Erhebungen und der Simulation ist das Parken in Längsrichtung. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Parkstände in Längsaufstellung den weitaus größten Anteil des öffentlichen Parkraums abdecken. Dem entsprechend war das der Empirie zugrunde liegende Forschungsprojekt „Linksparken in städtischen Straßen“ ausschließlich auf Längsparken fokussiert, so dass die für die Kalibrierung des Modells zur Verfügung stehende Datengrundlage nicht für Schräg- oder Senkrechtparken herangezogen werden konnte. Das Modell ist jedoch grundsätzlich (nach einigen Modifikationen) auch in der Lage, Parkmanöver in Schräg- oder Senkrechtaufstellung zu simulieren (siehe Kapitel 4.5).

## **1.2 Bisheriger Kenntnisstand**

Mit dem Thema Parken haben sich in der Vergangenheit bereits zahlreiche Autoren befasst, wobei die meisten Arbeiten die vor allem in den Innenstädten problematische Diskrepanz zwischen einer hohen Parkraumnachfrage und einem dieser gegenüberstehenden verhältnismäßig geringen Parkraumangebot thematisieren. Dem entsprechend wurden zahlreiche Arbeiten mit Lösungsvorschlägen zum Thema Parkraummanagement<sup>3</sup> oder zur Analyse und Reduzierung des Parksuchverkehrs<sup>4</sup> veröffentlicht.

Mit der detaillierten Betrachtung von Parkmanövern an sich und deren Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf haben sich dagegen bisher weit weniger Autoren befasst. Ein Überblick über die bestehenden Arbeiten zu diesem Themenbereich wird im Folgenden gegeben.

### **1.2.1 Richtlinien**

In den Richtlinien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) werden generelle Empfehlungen für die Anlage und Ausbildung von Parkständen in Abhängigkeit verschiedener anderer Parameter gemacht. Dabei steht der qualitative Charakter der Hinweise im Vordergrund. Die unterschiedlichen Aufstellungsarten werden zwar gezielt bzgl. der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufes beurteilt, quantitative Angaben beispielsweise zur Verträglichkeit von Parkmanövern bei unterschiedlichen Verkehrsstärken fehlen jedoch.

---

3 Vgl. z.B. Huber-Erler, 1998

4 Vgl. z.B. Birkner, 1995

### Empfehlungen für Anlagen im ruhenden Verkehr (EAR)<sup>5</sup>

Die EAR stellen das umfangreichste Werk der FGSV zur Organisation und Gestaltung von Parkieranlagen im privaten und öffentlichen Raum dar. Für die Anlage von Parkraum im öffentlichen Straßenraum werden die üblichen Aufstellungsarten Längs-, Schräg- und Senkrechtparken dargestellt und Hinweise zu deren Vor- und Nachteilen gegeben:

| Aufstellungsart      | Vorteile   | Nachteile   |
|----------------------|--|---|
| Längsparken          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Sicht auf fließenden Verkehr</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Behinderung nachfolgender Kfz</li> <li>• Gefährdung nachfolgender Radfahrer</li> <li>• Ein- /Ausstieg auf Flächen anderer Verkehrsteilnehmer</li> </ul>  |
| Schrägparken         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherer Ein- /Ausstieg</li> <li>• Störungsfreies Einparken</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur aus einer Richtung anfahrbar</li> </ul>  |
| Senkrechtaufstellung | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherer Ein- /Ausstieg</li> <li>• Einparken aus beiden Richtungen möglich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Ausparken kommt es zu Konflikten mit dem Radverkehr</li> <li>• Parkmanöver erfordert die Mitbenutzung der Gegenfahrspur</li> <li>• Bei beidseitiger Anordnung von Senkrechtaufstellung können bei gleichzeitigen, gegenüberliegenden Ausparkmanövern gegenseitige Konflikte entstehen</li> <li>• Die Behinderung des fließenden Verkehrs gilt nur bei geringer Verkehrsstärke als vertretbar</li> </ul> |

Tabelle 1-2: Gegenüberstellung von Senkrecht-, Schräg- und Längsparken nach EAR 91

### Empfehlungen zur Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV)<sup>6</sup>

In den EAHV werden die Vor- und Nachteile der vier Aufstellungsarten Längs-, Schräg-, Senkrecht- und Blockparken ausführlich dargestellt. Viele der Hinweise beziehen sich auf gestalterische Aspekte oder betreffen die Ansprüche umgebender Nutzungen z.B. an Parkraumbedarf, Verkehrssicherheit oder Verkehrsablauf. Dabei werden die im folgenden aufgeführten Hinweise gegeben<sup>7</sup>, wobei keine der Aufstellungsarten generell als mit Hauptverkehrsstraßen unverträglich angesehen wird.

5 FGSV: Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR 91), S. 23, Köln, 1991

6 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV 93), Köln, 1993

7 Es ist anzumerken, dass in der EAHV detailliertere und zahlreichere Angaben gemacht werden als in der EAR. Bzgl. des Parkens im Straßenraum geht die EAHV damit über die EAR hinaus.

| Aufstellungsart      | Vorteile   | Nachteile  |
|----------------------|--|--|
| Längsparken          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache, den fließenden Verkehr wenig störende Ausparkmanöver</li> <li>• Einzig mögliche Aufstellungsform zum Parken auf der Fahrbahn</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Behinderung / Gefährdung von Verkehrsteilnehmern auf angrenzenden Verkehrsflächen (Radfahrer auf Radwegen oder Fahrzeuge auf der Fahrbahn)</li> <li>• Bei stärkerer Verkehrsbelastung kommt es zur Behinderung nachfolgender Verkehrsteilnehmer beim Rückwärtseinparken.</li> </ul>   |
| Schrägparken         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherer Ein- /Ausstieg ohne Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Bei Anlage eines Zwischenstreifens kommt es nur selten zu Störungen beim Ausparken</li> <li>• Störungsfreies Einparken</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur aus einer Richtung anfahrbar</li> <li>• Ohne Zwischenstreifen oder bei steilem Aufstellwinkel ist die Mitbenutzung der Gegenfahrbahn notwendig</li> </ul>   |
| Senkrechtaufstellung | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherer Ein- und Ausstieg ohne Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer</li> <li>• Einparken aus beiden Richtungen möglich</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parkmanöver erfordert die Mitbenutzung der Gegenfahrspur</li> <li>• Bei beidseitiger Anordnung von Senkrechtaufstellung können bei gleichzeitigen, gegenüberliegenden Ausparkmanövern gegenseitige Konflikte entstehen</li> <li>• Häufige Parkmanöver bei großer Verkehrsstärke können zu Sicherheitsproblemen führen</li> <li>• Beim Ausparken kommt es zu Konflikten mit dem Radverkehr.</li> </ul> |

Tabelle 1-3: Gegenüberstellung des Senkrecht-, Schräg- und Längsparkens in der EAHV

### Empfehlungen zur Anlage von Erschließungsstraßen (EAE)<sup>8</sup>

In den EAE werden neben der generellen Verfügbarkeit von Parkflächen und gestalterischen Aspekten auch nachfolgend dargestellte Kriterien aufgeführt, die den Einfluss von Parkmanövern auf Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss betreffen. Hierzu gehören:

- Verträglichkeit der Mitbenutzung des Gegenfahrstreifens bei Parkmanövern in Abhängigkeit mit dem Verkehrsaufkommen.
- Vertretbarkeit von Rangiervorgängen unter den gegebenen Umständen.
- Anordnung eines Zwischenstreifens zur Erleichterung des Sichtkontakts beim Überqueren und beim Ein- und Ausparken

<sup>8</sup> Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE 85/95), S. 43, Köln, 1996

In den EAE werden jedoch keine Hinweise gegeben, die z.B. bei der Entscheidung für eine bestimmte Aufstellungsart hilfreich wären.

### 1.3 Weiterführende Literatur

#### Wiedemann

WIEDEMANN (1989)<sup>9</sup> stellte bei der Untersuchung der Verkehrssicherheit von Hauptverkehrsstraßen fest, dass schmale Parkstände in Längsausrichtung zusammen mit hohem Verkehrsaufkommen die Verkehrssicherheit beeinträchtigen. Da ein Rückwärtsinparken aufgrund der hohen Verkehrsbelastung oftmals nicht möglich ist, werden Fahrzeuge vorwärts und schräg eingeparkt, so dass entweder das Fahrzeugheck in die Fahrbahn oder die Fahrzeugfront in den Geh- oder Radweg hineinragen. Dadurch kommt es zu Behinderungen und Gefährdungen anderer Verkehrsteilnehmer. Weiterhin haben sich Parkstände in Schrägaufstellung entlang von Hauptverkehrsstraßen als unfallträchtig erwiesen, da beim Rückwärtsausparken die Sicht auf den bevorrechtigten Verkehr versperrt ist<sup>10</sup>.

#### Zeitvogel

In einer Untersuchung der Verkehrsqualität in Stadtstraßen stellte ZEITVOGEL (1989)<sup>11</sup> bei Messungen auf vier städtischen Messstrecken mit unterschiedlichen Parkregelungen:

- Zeitlich beschränktes Parken auf der rechten Seite
- Längsparken
- Generelles Halteverbot
- Parkverbot auf dem rechten Fahrstreifen

fest, dass auf den Strecken, auf denen das Parken ganz oder teilweise verboten ist, ein homogenerer Verkehrsfluss herrscht, als auf Strecken, auf denen Parkmanöver auftreten.

---

9 Wiedemann, Wilfried: Verkehrssicherheit von innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen, Dortmund, 1989, S. 141

10 Ebenda, S. 159

11 Zeitvogel, Wilhelm: Untersuchung über die Bewertung der Verkehrsqualität im Individualverkehr auf Stadtstraßen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 286, Bonn, 1980

### Angenendt

Bei Untersuchungen zur Bemessung von Stadtstraßen führte ANGENENDT (1983)<sup>12</sup> Testfahrten auf unterschiedlichen Stadtstraßen durch, anhand derer die Auswirkungen verschiedener Störeinflüsse auf die Reisegeschwindigkeit und damit auf den Verkehrsablauf nachvollzogen wurden. Dabei unterschied ANGENENDT zwischen Störungen an Knotenpunkten und Störungen auf der Strecke.

An den Knotenpunkten wurden durchschnittliche Zeitverluste zwischen 12 und 54 Sekunden gemessen, wogegen die von Ein- oder Ausparkmanövern verursachten Zeitverluste zwischen 2,4 und 5,8 Sekunden lagen. Die durch Parkmanöver verursachten Verlustzeiten lagen damit zwar auf deutlich geringerem Niveau als die Verlustzeiten an Knotenpunkten, allerdings wurden 42% der Störungen auf der Strecke durch Parkmanöver verursacht, womit diese im Vergleich zu anderen Störungen (wie z.B. Ladevorgänge, Fußgängerquerungen oder Busverkehr) einen gewichtigen Teil ausmachen. Eine differenzierte Betrachtung der unterschiedlichen Aufstellungsarten erfolgte bei ANGENENDT nicht.

### Albers/Schnüll

ALBERS/SCHNÜLL (1989)<sup>13</sup> untersuchten gezielt den Einfluss der drei Aufstellungsarten

- Senkrechtparken
- Schrägparken
- Längsparken

auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf. Dabei wurden an 12 Untersuchungsbeispielen insgesamt 1041 Einparkmanöver und 1059 Ausparkmanöver erfasst.

Ausparkmanöver rufen nach dieser Untersuchung generell weniger Behinderungen im Verkehrsablauf hervor als Einparkmanöver. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei Ausparkmanövern eine ausreichende Lücke im Verkehr abgewartet werden kann, wogegen bei Einparkmanövern, insbesondere bei hoher Parkraumauslastung, ein freier Parkstand sofort, also ohne Berücksichtigung des nachfolgenden Verkehrs, belegt wird. Insbesondere beim Längsparken treten dadurch deutliche Behinderungen auf, wenn ein Fahrzeug vor einem freien Parkstand anhält, um dann rückwärts einzuparken.

<sup>12</sup> Angenendt, Wilhelm: Bemessung von Stadtstraßen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Verkehrsqualitäten bei Beachtung der Auswirkungen auf die Wohnumfeldqualität, Abschlussbericht zu FA 2.061 S78F des BMV, Bonn, 1983

<sup>13</sup> Schnüll, Robert; Albers, Anette: Unterbringung des ruhenden Verkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen, in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 566, Bonn Bad Godesberg, 1989

Ein genereller Zusammenhang besteht auch zwischen der Parkraumauslastung und den entstehenden Behinderungen: Bei hoher Parkraumauslastung bleiben Fahrzeuge vor einem frei werdenden Parkstand stehen, um diesen sofort wieder zu besetzen und verursachen damit unter Umständen einen Rückstau auf der Fahrbahn.

ALBERS/SCHNÜLL definieren verschiedene Kriterien zur Beurteilung der Parkmanöver:

- Annäherungsgeschwindigkeit:

Zunächst wurde die Annäherungsgeschwindigkeit der Parkplatzsuchenden an die Parkstände unterteilt in

- wie Kollektiv
- langsamer als Kollektiv
- sehr langsam, evtl. mit Blinker gesetzt
- Stau vor Knotenpunkt (Sonderfall)

Die Annäherungsgeschwindigkeit stellt eine Ursache für Behinderungen dar, da mit kleiner werdender Annäherungsgeschwindigkeit nachfolgende Fahrzeuge ihre Fahrt um so mehr verzögern müssen.

Bei Längsparkständen sind freie Plätze am besten zu erkennen, daher wurden bei dieser Aufstellungsart auch die höchsten Annäherungsgeschwindigkeiten festgestellt.

- Benutzung der Gegenfahrbahn:

Als weitere Ursache für Behinderungen wurde die Benutzung der Gegenfahrbahn bei Parkmanövern erfasst. Der Fahrgeometrie entsprechend wird beim Senkrechtparken die Gegenfahrbahn in 30% bis 40% der Fälle benutzt, beim Schräg- und Längsparken dagegen fast gar nicht.

- Beeinflussung des fließenden Verkehrs:

Die Beeinflussung des fließenden Verkehrs stellt die maßgebliche Größe zur Beurteilung von Parkmanövern dar. Es werden unterschieden:

- Keine Störung
- Verzögerung
- Fahrstreifenwechsel
- Halt<sup>14</sup>

Generell werden durch *Einparkmanöver* deutlich mehr Beeinflussungen im fließenden Verkehr verursacht als durch *Ausparkmanöver*. Bezogen auf die Aufstellungsarten erwiesen sich Einparkmanöver beim Längsparken als am wenigsten störend. Im Schnitt verlaufen über 60% der Einparkmanöver ganz ohne Beeinflussung des fließenden Verkehrs, wobei sich die Störungen je nach Situation überwiegend als Fahrstreifen-

<sup>14</sup> Eine Differenzierung nach der Intensität einer Reaktion wird nicht vorgenommen. Aussagen zur Verkehrssicherheit werden an anderer Stelle anhand der Unfallanalyse durchgeführt.

fenwechsel oder als Verzögerung auswirken. Die meisten Störungen werden tendenziell<sup>15</sup> durch das Senkrechtparken verursacht (bei ca. 60% der Manöver), wobei die Mehrzahl der Störungen in Form von Verzögerungen auftreten. Durch Schrägparken treten etwas weniger Beeinflussungen auf (in etwa 50% der Manöver). Auch hier stellen die Verzögerungen den größten Anteil der Beeinflussungen dar, wobei der Anteil an verursachten Halten höher ist als beim Senkrechtparken.

Mit deutlich über 95% verlaufen beim Längsparken fast alle *Ausparkmanöver* ohne Beeinflussung des fließenden Verkehrs. Beim Senkrechtparken werden in ca. 20% der Manöver Störungen verursacht, überwiegend in Form von Verzögerungen im fließenden Verkehr. ALBERS/SCHNÜLL stellen beim Schrägparken mit 25-35% den höchsten Anteil an Beeinflussungen fest, was sich in etwa 75% der Fälle als Fahrstreifenwechsel und in 25% als Verzögerung oder als Halt auswirkt. Diese Einschätzung deckt sich mit der Untersuchung von WIEDEMANN (1989), wonach sich Parkmanöver aus schräg angeordneten Parkständen am ehesten als unfallträchtig erwiesen haben.

Neben der Analyse der Parkmanöver an sich wurden auch Abhängigkeiten zwischen den Störungen durch Parkmanöver und folgenden verkehrlichen Kenngrößen betrachtet:

- DTV nach Richtungen getrennt
- Kfz/h in der Spitzenstunde je Richtung
- $V_{85}$  der unbehindert fahrenden Pkw
- Zu- und Abflussziffer der Parkstände
- Auslastung der Parkstände

ALBERS/SCHNÜLL stellen bei zunehmender Verkehrsstärke eine minimale Abnahme beim Anteil der störungsfrei verlaufenden Parkmanöver (Ein- und Ausparken) fest.

Zwischen den Fahrzeuggeschwindigkeiten im Hauptstrom und den Einparkmanövern ließ sich unabhängig von der Aufstellungsart keine Abhängigkeit nachweisen. Bei Ausparkmanövern wurde zwar eine rechnerische Korrelation mit dem Geschwindigkeitsniveau gefunden, diese wurde jedoch aufgrund der hohen Streuung der Parameter der Störeinflüsse als nur bedingt aussagekräftig eingestuft.

Ein mäßig starker Zusammenhang besteht zwischen dem Auslastungsgrad, der Parkdauer und den störungsfreien Einparkmanövern, wonach die störungsfreien Parkmanöver mit zunehmendem Auslastungsgrad und zunehmender Parkdauer abnehmen.

---

<sup>15</sup> Es wurden drei Beispiele mit Senkrechtaufstellung untersucht, davon sind zwei sehr ähnlich, im dritten Beispiel treten auffällig wenig Störungen auf.

Bei den Ausparkmanövern sind sowohl die Korrelation als auch die Stärke des Einflusses geringer ausgeprägt.

ALBERS/SCHNÜLL kommen damit zum Schluss, dass in Hauptverkehrsstraßen grundsätzlich alle Aufstellungsarten geeignet sind. Der störende Einfluss von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf ist (unabhängig von der Aufstellungsart) wesentlich geringer als der Einfluss von Lichtsignalanlagen. Beim Vergleich der Aufstellungsarten untereinander stellen die Autoren fest, dass die Beeinflussung des fließenden Verkehrs durch Parkmanöver nicht das vorrangige Kriterium zur Auswahl einer bestimmten Aufstellungsart an Hauptverkehrsstraßen sein kann. Es wird vielmehr eine Abwägung zwischen den Konfliktpotentialen der verschiedenen Aufstellungsarten und den örtlichen Ansprüchen des ruhenden Verkehrs vorgeschlagen.

Laboratoire d' Accidentologie, de Biomécanique et d' Études du Comportement Humain (LAB)<sup>16</sup>

In einem Fahrsimulator wurden 122 Testpersonen mit unterschiedlichen Situationen im Straßenverkehr konfrontiert, 29 davon mit einem ausparkenden Fahrzeug. Diese fuhr mit einer Geschwindigkeit zwischen 54 und 83 km/h, als in einer Entfernung von 39 m ein ausparkendes Fahrzeug auf die Fahrbahn fuhr. Bei 13 Personen kam es in dieser Situation zu einem Unfall, die anderen 16 Personen konnten durch ein Ausweichmanöver eine Kollision vermeiden.

In diesem Test wurden ausschließlich Ausparkmanöver von ordnungsgemäß geparkten Fahrzeugen vom rechten Fahrbahnrand aus simuliert. In diesem Fall bewegt sich das ausparkende Fahrzeug von den Testfahrern weg, so dass der noch zur Verfügung stehende Brems- / Reaktionsweg länger wird. Im Falle eines Ausparkmanövers eines entgegen der Fahrtrichtung geparkten Fahrzeugs dagegen wäre der Abstand zwischen Testfahrer und simuliertem Ausparker immer kürzer geworden, was das Risiko einer Kollision zwangsläufig noch weiter erhöht hätte<sup>17</sup>. Dies deckt sich auch mit einem der zentralen Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Linksparken in städtischen Straßen“, wonach Linksparken in Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von über 30 km/h aus Sicherheitsgründen als nicht vertretbar gilt.

<sup>16</sup> Laboratoire d' Accidentologie, de Biomécanique et d' Études du Comportement Humain: "Etude du comportement des conducteurs dans des situations d' accidents fronto-arrière sur simulateur de conduite", Nanterre, 1999

<sup>17</sup> Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich in den simulierten Situationen ohnehin schon um sehr kritische Situationen handelte, die in 45% der Fälle zu einer Kollision führten und in der Realität so sehr selten vorkommen (vgl. auch Kapitel 3, Empirische Grundlagen)

Institut Nationale de Recherche sur les Transportes et Leur Sécurité INRETS<sup>18</sup>

Das INRETS-Institut untersuchte im Département Bouches de Rhône 418 polizeilich dokumentierte Unfälle aus dem Jahr 1995, in denen Verkehrsteilnehmer verletzt oder getötet wurden. Die Unfälle wurden in verschiedene Situationen unterteilt, von denen einige mit parkenden Fahrzeugen im Zusammenhang standen. Diese Situationen waren:

- *Kfz – Fußgänger (Fahrbahn überquerend):*

In dieser Situation tritt ein Fußgänger auf die Fahrbahn, wird aber durch geparkte Fahrzeuge verdeckt, so dass er von den Fahrzeugführern nicht rechtzeitig erkannt werden kann. Dieser Unfalltyp steht normalerweise in keinem Zusammenhang mit einem Ein- oder Ausparkmanöver. Ein Zusammenhang entsteht erst dann, wenn auf einer mehrstreifigen Straße ein Fahrzeug auf dem rechten Streifen anhält, um selbst einzuparken oder den Fußgänger passieren zu lassen. In dieser Situation wird der Fußgänger von nachfolgenden Fahrzeugen auf dem linken Fahrstreifen nicht wahrgenommen und es kommt zur Kollision zwischen dem Fußgänger und dem vorbeifahrenden Fahrzeug auf dem linken Fahrstreifen. Dieser spezielle Fall trat vier mal auf.

- *Fußgänger – ein-/ausparkendes Fahrzeug*

Der Fahrer eines in der Parklücke rangierenden Fahrzeugs übersieht einen vor oder hinter dem Fahrzeug stehenden Fußgänger. In zwei Fällen steht der Fußgänger hinter dem Fahrzeug und wird vom Fahrer beim Rangieren übersehen. In einem Fall befindet sich der Fußgänger vor dem Fahrzeug, der Fahrer konzentriert sich aber beim Ausparken auf den nachfolgenden Verkehr und übersieht den Fußgänger.

- *Ausparker – fließender Verkehr*

Dieser Fall entspricht der Situation, die in der LAB-Studie (vgl. Seite 15) simuliert wurde: Ein Fahrzeug verlässt die Parklücke, ohne auf den nachfolgenden Verkehr zu achten und es kommt zur Kollision. Dieser Fall wurde fünf mal erfasst. In zweien der Fälle wurde der "tote Winkel" als möglicher unfallverursachender Grund angegeben. Dies ist bzgl. des Linksparkens durchaus von Bedeutung, da die Sichtverhältnisse dort noch weiter eingeschränkt sind, als dies beim Rechtsparken der Fall ist.

---

<sup>18</sup> Institut Nationale de Recherche sur les Transportes et Leur Sécurité (INRETS), "Scénarios types d'accidents de la circulation dans le départements des bouches du Rhône", Salon de Provence, 1996

- *Öffnende Fahrzeugtür – Zweirad*

In zwei Fällen wurden Zweiradfahrer von einer unachtsam geöffneten Fahrzeugtür erfasst und konnten nicht mehr ausweichen.

Dieser Fall ist insofern für das Linksparken interessant, als der Fahrer auf der Gehwegseite aussteigt und der (eventuell unerfahrene) Beifahrer auf der Fahrbahnseite die Tür öffnet, so dass hiervon eine erhöhte Gefahr ausgehen kann.

- *Unfall durch Wendemanöver*

Sechs Unfälle ereigneten sich aufgrund von auf der Fahrbahn ausgeführten Wendemanövern. In der Hälfte der Fälle waren Zweiräder betroffen, die von den wendenden Fahrzeugen übersehen wurden.

Unfälle aufgrund von Wendemanövern sind bei der Beurteilung des Linksparkens durchaus von Bedeutung, da ein freier Parkstand auf der linken Fahrbahnseite nur dann regelkonform belegt werden kann, wenn zuvor ein Wendemanöver gefahren wird.

### YOUSIF<sup>19</sup>

YOUSIF (1999) untersuchte Parkmanöver in innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen. Dabei berücksichtigt er drei verschiedene Aufstellungsarten der Fahrzeuge:

- (Legales) Längsparken in Einbahnstraßen, auch mehrstreifig
- (Legales) Senkrechtparken in Straßen mit Zweirichtungsverkehr
- Illegales Längsparken in Einbahnstraßen. Unter "illegal" versteht YOUSIF das Parken auf einer nicht als Parkstand ausgewiesenen Fläche. Die Fahrtrichtung des Fahrzeugs spielt dabei keine Rolle, was auch auf die Beobachtung in einer Einbahnstraße zurückzuführen sein kann.

YOUSIF dokumentierte insgesamt 535 Ein- und Ausparkmanöver durch Videoaufnahmen und ermittelte den Zeitbedarf vom Verlassen der Fahrbahnmitte bis zum Stillstand des Fahrzeugs in der Parklücke (bzw. umgekehrt bei Ausparkmanövern).

Dabei stellte er folgenden Zeitbedarf für die unterschiedlichen Manöver fest:

---

19 Yousif, 1999, S. 424-427

| Manöver   | Zeitbedarf [sec] |
|---|------------------|
| Längs einparken, vorwärts, vor oder hinter einem anderen Fahrzeug | 3,5 – 4,5        |
| Längs einparken vorwärts, zwischen zwei geparkte Fahrzeuge        | 7,7              |
| Längs einparken, zwischen geparkte Fahrzeuge, mit Zurückstoßen    | 21,2             |
| Längs ausparken   | 3,9 – 6,3        |
| Senkrecht einparken   | 4,9              |
| Senkrecht ausparken auf angrenzenden Fahrstreifen                 | 9,6              |
| Senkrecht ausparken auf gegenüberliegenden Fahrstreifen           | 11,8             |

Tabelle 1-4: Zeitbedarf für verschiedene Parkmanöver nach YOUSIF

Eine quantitative Einschätzung, unter welchen Randbedingungen (Verkehrsstärke, Zeitlückenverteilung im Hauptstrom, Häufigkeit und Dauer von Parkmanövern) Einflüsse auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf zu erwarten sind, gibt YOUSIF nicht.

## 1.4 Zusammenfassung und Fazit

Bestehende Untersuchungen zu Parkmanövern berücksichtigen das Auftreten von Wartezeiten und Konflikten überwiegend qualitativ und leiten daraus Abwägungskriterien zur Entscheidung für eine bestimmte Aufstellungsart<sup>20</sup> ab, die sich in ähnlicher Form in den Empfehlungen der FGSV wiederfinden.

Konkrete Angaben z.B. über Verkehrsstärken oder Straßenbreiten, bei denen eine bestimmte Aufstellungsart als nicht empfehlenswert gilt, wurden bisher nicht gemacht, ALBERS/SCHNÜLL kommen vielmehr zum Schluss, dass keine Aufstellungsart in Hauptverkehrsstraßen grundsätzlich als unverträglich angesehen werden kann, stellen aber fest, dass durch Schräg- und Senkrechtparken deutlich mehr Halte im fließenden Verkehr verursacht werden, als dies beim Längsparken der Fall ist.

Eine Berücksichtigung von Parkmanövern entgegen der Fahrtrichtung findet in keiner Arbeit statt. YOUSIF (1999) untersuchte in Großbritannien zwar auch illegale Parkmanöver, wobei illegal nicht auf das Parken entgegen der Fahrtrichtung<sup>21</sup> bezogen ist, sondern auf das Parken auf Flächen, die nicht als Parkfläche gekennzeichnet sind. Yousif gibt jedoch nach Parkmanövern differenzierte Werte für den Zeitbedarf von Ein- und Ausparkmanövern an.

<sup>20</sup> Albers, Anette; Schnüll, Robert (1985)

<sup>21</sup> In Großbritannien ist das Parken entgegen der Fahrtrichtung tagsüber ohnehin zulässig, nachts sind Fahrzeuge dagegen entsprechend der Fahrtrichtung abzustellen.

Ziel dieser Arbeit sind quantitative Aussagen über die Auswirkungen von Parkmanövern in und entgegen der Fahrtrichtung auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit.

Dazu werden zunächst Ein und Ausparkmanöver in und entgegen der Fahrtrichtung dokumentiert, analysiert und bzgl. ihres Einflusses auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit beurteilt. Die Beurteilung des Verkehrsablaufs wird vorwiegend anhand von Wartezeiten im fließenden Verkehr vorgenommen, die Beurteilung der Verkehrssicherheit erfolgt anhand von Konflikten und Unfällen.

Darauf aufbauend erfolgt die modellhafte Abbildung der verschiedenen Parkmanöver in Längsrichtung (rechte und linke Straßenseite, Ein- und Ausparken, vorwärts und rückwärts) in einem Simulationsprogramm und die Eichung des Programms an den Ergebnissen aus der Empirie.

Das Modell soll dazu eingesetzt werden, über messbare Parameter hinaus (z.B. Wartezeiten im fließenden Verkehr), auch Aussagen über den Einfluss von Parkmanövern auf die Parkraumauslastung und auf den Parksuchverkehr machen zu können.

## 2 Empirie

### 2.1 Datengrundlage und Vorgehensweise

Insgesamt wurden ca. 1.700 Einparkmanöver und ebenso viele Ausparkmanöver mit Videoaufnahmen dokumentiert und bzgl. ihrer Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf analysiert<sup>22</sup>.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Linksparken in städtischen Straßen<sup>23</sup>“ wurde der Einfluss von Parkmanövern entgegen der Fahrtrichtung (Linksparken) auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit beschrieben und dem derzeit vorgeschriebenen Rechtsparken gegenübergestellt. Es wurden Empfehlungen abgeleitet, ob und in welchem Umfang eine Legalisierung des Linksparkens in Deutschland als empfehlenswert angesehen werden könnte. Darüber hinaus wurden die erhobenen Parkmanöver im Rahmen dieser Arbeit dahingehend analysiert, dass das Verhalten von Verkehrsteilnehmern in einem Simulationsmodell mit ausreichender statistischer Genauigkeit abgebildet werden konnte.

Zur Beurteilung von Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit werden die folgenden Begrifflichkeiten verwendet:

- Verlustzeiten / Wartezeiten (Komfortkriterium)

Verlustzeiten (gegenüber der ungestörten Fahrt) entstehen dann, wenn Verkehrsteilnehmer z.B. aufgrund einer Lichtsignalanlage oder anderer Verkehrsvorgänge wie Parkmanöver ihre Fahrt verzögern oder unterbrechen müssen. Verlustzeiten sind empirisch schwer zu bestimmen, da Verkehrsteilnehmer häufig ihre Geschwindigkeit verringern, auch wenn dazu keine erkennbare Veranlassung besteht<sup>24</sup>, so dass die Zeitdifferenz zur ungestörten Fahrt nicht als Verlustzeit bezeichnet werden kann. Zu Wartezeiten dagegen zählt nur die Zeit, in der sich betroffene Fahrzeuge im Stillstand befinden. Dieser Zeitraum ist in der Empirie eindeutig messbar und kann in der Regel auch einem bestimmten Verursacher zugeordnet werden. Damit stellen Wartezeiten in dieser Arbeit das maßgebliche Kriterium zur Beurteilung des Verkehrsablaufs im Sinne des Fahrkomforts dar. Zu den Wartezeiten werden hier nur die Wartezeiten von Verkehrsteilnehmern im fließenden Verkehr gezählt. Die Zeit, in der z.B. ein ausparkendes Fahrzeug auf eine ausreichend große Lücke im fließenden Verkehr wartet, wird nicht berücksichtigt.

<sup>22</sup> Die dokumentierten Untersuchungsbeispiele sind mit ihren Eckwerten im Anhang aufgeführt.

<sup>23</sup> Riel, 2001

<sup>24</sup> Schreckenberg verwendet in seinen Simulationen einen eigens dafür geschaffenen „Trödelparameter“, anhand dessen einzelne Fahrzeuge aus „unerfindlichen“ Gründen ihre Fahrt verlangsamten und damit einen „Stau aus dem Nichts“ erzeugen können (Schreckenberg, 1996)

- Interaktionen (Komfortkriterium und teilweise Sicherheitskriterium)  
Eine Interaktion ist eine Abstimmung der eigenen Verhaltensweise auf andere Verkehrsvorgänge, z.B. in Form von Abbremsen oder Ausweichen. Interaktionen können als Kriterium zur Beurteilung des Verkehrsflusses verwendet werden (Komfortkriterium), sie können aber auch die Vorstufe eines Konfliktes darstellen (Sicherheitskriterium).
- Konflikte (Sicherheitskriterium)  
Als Konflikt wird eine Situation dann bezeichnet, wenn zwischen zwei oder mehreren Verkehrsteilnehmern Kollisionskurs besteht, so dass die Reaktion mindestens eines Verkehrsteilnehmers notwendig ist, um die bevorstehende Kollision zu vermeiden. Das Auftreten von Konflikten ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Verkehrssicherheit.
- Unfälle:  
Unfälle sind *das* klassische Kriterium bei Untersuchungen zur Verkehrssicherheit. Statistisch gesehen sind Unfälle seltene Ereignisse, so dass die verfügbare Datenbasis häufig zu gering ist, um statistisch gesicherte Aussagen ableiten zu können. Aus diesem Grund basieren Aussagen zur Verkehrssicherheit eines Untersuchungsraumes häufig auf der Beobachtung und Analyse von Konflikten<sup>25</sup>.

Konflikte gelten als Zwischenstufe zwischen der normalen Fahrt und einem Unfall, wobei die Konflikthäufigkeit mit zunehmender Schwere abnimmt und eine Konfliktsituation um so eher ein Unfall hätte sein können, je heftiger die Reaktion zur Vermeidung des Unfalls sein musste.

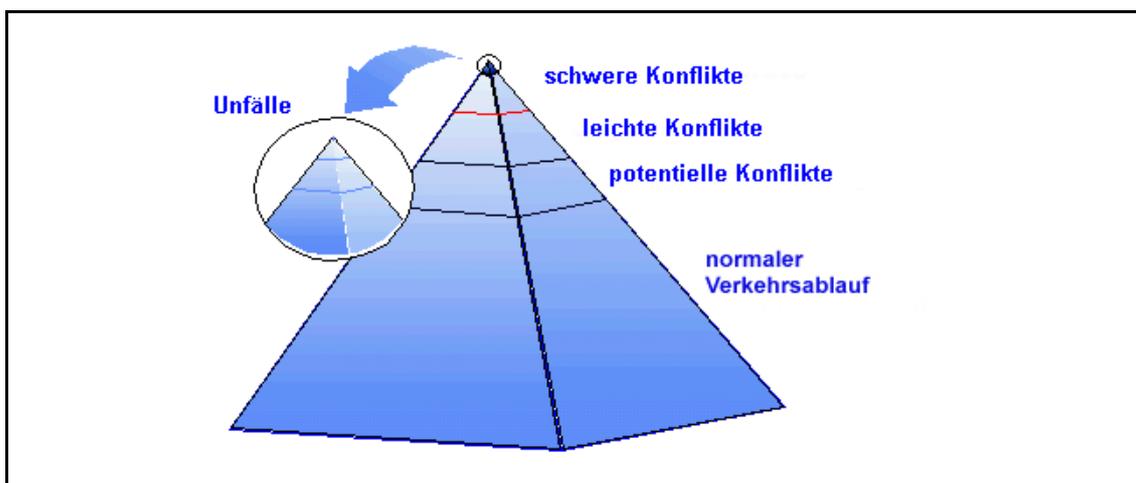


Abbildung 2-1: Zusammenhang zwischen Konflikthäufigkeit und Konfliktschwere

<sup>25</sup> Vgl. Hupfer, 1997

Dieser Zusammenhang zwischen Häufigkeit und Schwere von Konflikten wird in der Verkehrskonflikttechnik auch mit dem Begriff Kontinuumstheorie beschrieben und in unterschiedlichen Formen dargestellt. Eine anschauliche Darstellung von HYDEN ist in obiger Abbildung 2-1 zu sehen.

Die Beurteilung von Konflikten sowie die Differenzierung zwischen Konflikten und Interaktionen kann problematisch sein, da dies häufig aufgrund der subjektiven Einschätzung von Beobachtern geschieht und somit verschiedene Konfliktanalysen nicht immer miteinander vergleichbar sind. Eine quantitative Beschreibung von Konflikten und damit eine objektive Vergleichbarkeit kann jedoch anhand verschiedener Ansätze vorgenommen werden. HUPFER (1997) verwendet als Beurteilungskriterium unter anderem die Bremsverzögerung, die zur Vermeidung einer Kollision zwischen zwei Verkehrsteilnehmern mindestens notwendig ist (Deceleration to Safety Time), wobei ein Konflikt als um so kritischer angesehen wird, je stärker die notwendige Bremsverzögerung sein muss. Folgende Tabelle zeigt die Einstufung von Konflikten nach HUPFER.

| <b>Verzögerung zur Vermeidung einer Kollision (DST)</b> | <b>Charakterisierung der Situation</b>  |
|---|---|
| $DST \leq 0 \text{ m/s}^2$                              | Der Sicherheitsabstand ist so groß, dass keine Abstimmung erforderlich ist.   |
| $DST < 1 \text{ m/s}^2$                                 | Abstimmung erforderlich (Interaktion):<br>Die erforderliche Reaktion ist so gering, dass lediglich eine Abstimmung der Verhaltensweisen erforderlich ist. ( $1 \text{ m/s}^2$ entspricht der Komfortgrenze in öffentlichen Verkehrsmitteln. |
| $DST < 2 \text{ m/s}^2$                                 | Reaktion erforderlich (Konfliktstufe 1):<br>Die Situation erfordert eine merkliche Verzögerung eines Verkehrsteilnehmers. Diese Situation ist leicht kontrollierbar und gibt genügend Zeit zur Beachtung anderer Verkehrsvorgänge.          |
| $DST < 4 \text{ m/s}^2$                                 | Deutliche Reaktion erforderlich (Konfliktstufe 2):<br>Deutliche Verzögerung eines Verkehrsteilnehmers erforderlich. Die Situation ist kontrollierbar, lässt aber die Berücksichtigung anderer Verkehrsvorgänge kaum zu.                     |
| $DST < 6 \text{ m/s}^2$                                 | Sehr deutliche Reaktion erforderlich (Konfliktstufe 3):<br>Eine sehr deutliche Reaktion ist erforderlich, die die Berücksichtigung anderer Verkehrsvorgänge nicht mehr zulässt.   |
| $DST \geq 6 \text{ m/s}^2$                              | Notbremsung (Konfliktstufe 4):<br>Keine Kontrolle mehr möglich, beinahe Unfall.   |
|   | Kollision   |

Tabelle 2-1: Differenzierung von Konflikten und Interaktionen nach HUPFER

Entsprechend Tabelle 2-1 wurde in dieser Arbeit die Grenze zwischen Interaktionen und Konflikten bei  $2 \text{ m/s}^2$  gesetzt.

## 2.2 Unfallstatistik

### Unfalltyp und Unfallkategorie

Die wichtigsten Kriterien zur Beschreibung von Unfällen sind der Unfalltyp, der Rückschlüsse auf die Konstellation des Unfalls zulässt und die Unfallkategorie, welche ein Maß für die Schwere des Unfalls ist.

| <b>Klassifizierung von Unfällen nach Unfallkategorie</b> |  |
|--|--|
| <b>Kategorie</b>   | <b>Beschreibung</b>  |
| 1  | Unfall mit Getöteten   |
| 2  | Unfall mit Schwerverletzten  |
| 3  | Unfall mit Leichtverletzten  |
| 4  | Sachschaden und Straftatbestand/Ordnungswidrigkeitsanzeige sowie einem nicht mehr fahrbereiten Kfz |
| 5  | Sachschaden (Kfz ist fahrbereit), Straftat/Ordnungswidrigkeitsanzeige, ohne Alkoholeinfluss        |
| 6  | Sachschaden, Alkoholeinfluss   |

Tabelle 2-2: Unfallkategorie

| <b>Klassifizierung von Unfällen nach Unfalltypen</b> |                                 |
|--|---------------------------------|
| <b>Unfalltyp</b>                                     | <b>Beschreibung</b>             |
| 1  | Fahrerunfall                    |
| 2  | Abbiege-Unfall                  |
| 3  | Einbiege- oder Kreuzen – Unfall |
| 4  | Überschreiten – Unfall          |
| 5  | Unfall durch ruhenden Verkehr   |
| 6  | Unfall im Längsverkehr          |
| 7  | Sonstiger Unfall                |

Tabelle 2-3: Unfalltypen

Die Unfalltypen werden weiterhin in jeweils bis zu neun Untertypen differenziert (eine grafische Darstellung der im Zusammenhang mit Parkmanövern möglichen Unfalltypen ist im Anhang abgebildet).

### Unfallrecherche

Eine Recherche aller bundesweit polizeilich erfassten Unfalldaten kann mit Hilfe der statistischen Landesämter bzw. des statistischen Bundesamtes vorgenommen werden. Dabei kann die Anzahl der Unfälle abgefragt werden, die einem bestimmten Kriterium entsprechen. Eine detailliertere oder kombinierte Recherche nach mehreren Kriterien (wie z.B. zusätzlich der Unfallkategorie) ist jedoch nicht möglich.

Bei der Unfallrecherche ist zu beachten, dass von der Polizei nur so genannte "schwerwiegende" Unfälle an die statischen Ämter weitergegeben werden. Das sind Unfälle, in denen mindestens ein Fahrzeug nicht mehr fahrbereit ist oder in denen eine Straftat (z.B. Trunkenheit am Steuer) vorliegt. Unfälle, die sich beim Ein- oder Ausparken ereignen, haben in den meisten Fällen jedoch eher geringen Sachschaden zur Folge und werden daher, sofern die Polizei überhaupt hinzugezogen wird, in den Statistiken häufig nicht aufgeführt. Dies verdeutlicht folgendes Zahlenbeispiel für das Jahr 1999:

Bundesweit wurden der Polizei 1999 insgesamt 2,4 Mio. Unfälle gemeldet. In Verkehrsunfallanzeigen erfasst und auch in die Statistik eingegangen sind davon jedoch nur die 506.000 Unfälle, in denen schwerwiegender Sachschaden oder Personenschaden vorlag. Von diesen Unfällen fanden 13.000 (2,5%) im Zusammenhang mit dem ruhenden Verkehr statt.

Am Fallbeispiel Kaiserslautern wurde eine detaillierte Recherche der Verkehrsunfallanzeigen bei den lokalen Polizeidienststellen durchgeführt. Die Unfälle, die im Zusammenhang mit dem ruhenden Verkehr erfasst wurden, waren jedoch nur teilweise Unfälle zwischen einem Ein- oder Ausparker und dem fließenden Verkehr. So haben z.B. solche Unfälle, bei denen ein rangierendes Fahrzeug beim Zurückstoßen das hinter sich geparkte Fahrzeug rammt (Unfalltyp 70), normalerweise keinen Einfluss auf den fließenden Verkehr und werden daher im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter berücksichtigt. Damit verbleiben noch 58 durch Parkmanöver verursachte Unfälle (vgl. folgende Tabelle), Unfälle durch Parken entgegen der Fahrtrichtung waren nicht nachweisbar.

| <b>Fallbeispiel Kaiserslautern</b>   | <b>Anzahl Unfälle</b> |
|--|-----------------------|
| Unfälle insgesamt  | 4.084 (100%)          |
| Davon mit ruhendem Verkehr   | 501 (12%)             |
| Davon zwischen Ein- oder Ausparker und fließendem Verkehr (Unfalltypen 54, 55, 56 57 und 58) | 58 (1,4%)             |

*Tabelle 2-4: Unfälle am Fallbeispiel Kaiserslautern*

Die National Highway Traffic Safety Administration (USA) stellte fest<sup>26</sup>, dass Unfälle beim Parken vorwiegend „nur“ Sachschaden verursachen. Es wurden 50.000 Unfälle der Art „Leaving Parking Space“ und 23.000 Unfälle der Art „Entering Parking Space“ erfasst. In ca. 90% der Fälle entstand lediglich Sachschaden, in ca. 10% wurden Personen verletzt. Unfälle mit tödlichem Ausgang (50 Fälle) treten im Promille-Bereich auf.

Fazit:

Parkmanöver spielen im Unfallgeschehen eine eher untergeordnete Rolle<sup>27</sup>. Durch Parkmanöver verursachte Unfälle treten nur selten auf und können aufgrund der verfügbaren statistischen Datengrundlage kaum auf bestimmte Situationen im Verkehrsgeschehen zurückgeführt werden. In das entwickelte Modell konnte daher auch keine Gesetzmäßigkeit für die Entstehung bzw. Simulation von Unfällen implementiert werden.

Die Einschätzung der von Parkmanövern ausgehenden Gefährdungspotenziale wird anhand der Konfliktanalyse der erhobenen Verkehrsabläufe durchgeführt (Kapitel 2.3).

## **2.3 Auswertung der Erhebungen**

### **2.3.1 Definition von Teilmanövern**

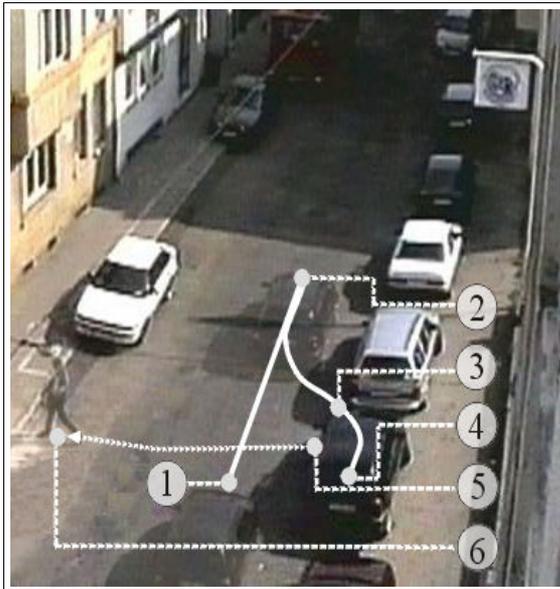
Für die Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Parkmanöver auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf werden die Parkmanöver zunächst in Teilmanöver unterteilt. Damit kann analysiert werden, in welcher Phase eines Ein- oder Ausparkmanövers bestimmte Auswirkungen ggf. gehäuft vorkommen bzw. welche Phasen als unkritisch angesehen werden können. Folgende Abbildungen 2-2 bis 2-5 zeigen die Unterteilung der verschiedenen Parkmanöver in Teilmanöver.

---

26 National Highway Traffic Safety Administration, 1998

27 Der Anteil der Unfälle im ruhenden Verkehr ist z.B. im Fallbeispiel Kaiserslautern mit 12% durchaus ernst zu nehmen, die Mehrzahl der Unfälle sind jedoch „Rempelen“ beim Ein- oder Ausparken, nur 0,014% der Unfälle ereignen sich mit dem fließenden Verkehr.

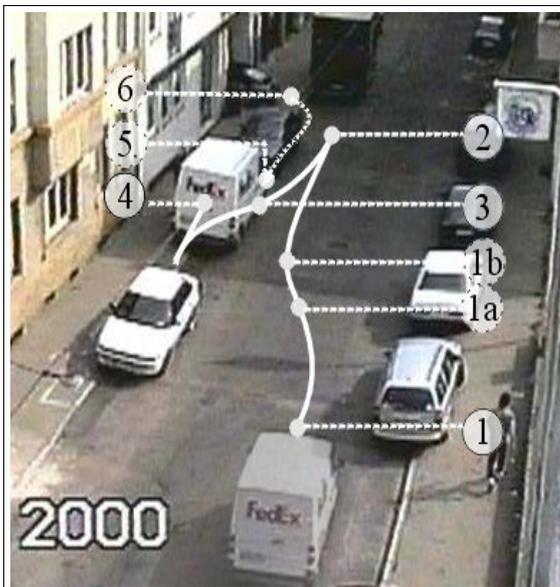
### Einparken auf der rechten Straßenseite



1. Erste merkbare Reaktion (Bremsen, Blinken, Lenken)
2. Ggf. Stop vor dem Rückwärtseinparken
3. Verlassen der Fahrbahn (Beginn des Rangiervorgangs in der Parklücke)
4. Letzte Bewegung des Fahrzeugs
5. Öffnen der Tür zum Aussteigen (I.d.R. ist dieser Zeitpunkt abhängig von der Anzahl der Fahrzeuge, die der Insasse vor dem Öffnen der Tür passieren lassen muss. Es können aber auch vom Verkehrsgeschehen unabhängige Tätigkeiten wie das Lesen des Stadtplanes oder das Suchen der Briefftasche Einfluss auf diesen Zeitpunkt haben).
6. Fahrer oder Beifahrer verlassen Fahrbahn

Abbildung 2-2: Teilmanöver beim Rechtseinparken (beim Vorwärtseinparken entfällt das 2. Teilmanöver)

### Einparken auf der linken Straßenseite



1. Erste merkbare Reaktion
  - a) ggf. Anhalten auf der eigenen Fahrbahn um Gegenverkehr passieren zu lassen
  - b) Einfahren in die Gegenfahrbahn
2. ggf. Stop zum Rückwärtseinparken
3. Verlassen der Fahrbahn, Anfang Rangieren
4. Letzte Fahrzeugbewegung
5. ggf. Öffnen der Tür durch Beifahrer
6. ggf. verlässt Beifahrer die Fahrbahn

Abbildung 2-3: Teilmanöver beim Einparken links

Ausparken von rechts

Abbildung 2-4: Teilmanöver beim Ausparken von rechts

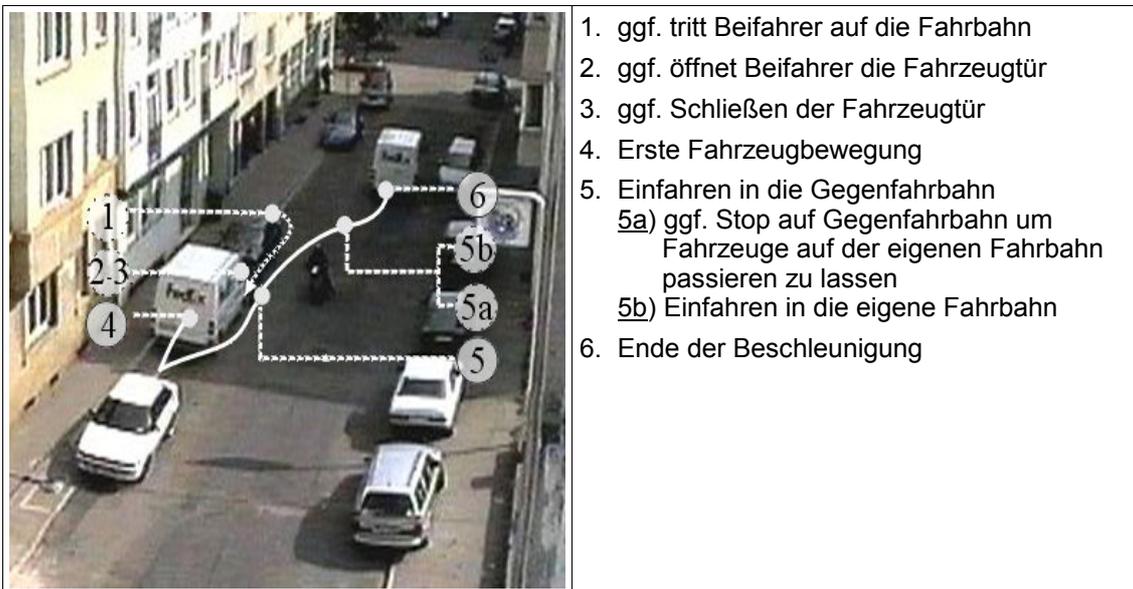
Ausparken von links

Abbildung 2-5: Teilmanöver beim Ausparken von links

### 2.3.2 Aspekt Verkehrssicherheit

Insgesamt wurden während der Erhebungen acht Konflikte dokumentiert. Bezogen auf die insgesamt ca. 3.400 dokumentierten Parkmanöver sind das 0,23% aller Manöver. Folgende Tabelle stellt die Konflikte bezogen auf das Teilmanöver, in dem sie auftrafen, dar:

| Parkmanöver      | Parkmanöver insgesamt | Davon mit Konflikt | Teilmanöver | Betroffener Verkehrsteilnehmer |
|------------------|-----------------------|--------------------|-------------|--------------------------------|
| Einparken rechts | 1284                  | 4 (0,31%)          | 2 – 3       | Krad                           |
|                  |                       |                    | 2 – 3       | Lkw                            |
|                  |                       |                    | 5 – 6       | Rad                            |
|                  |                       |                    | 3 – 4       | Rad                            |
| Einparken links  | 367                   | 1 (0,27%)          | 1b – 2      | Rad                            |
| Ausparken rechts | 1367                  | 2 (0,14%)          | 5           | Pkw                            |
|                  |                       |                    | 5           | Pkw                            |
| Ausparken links  | 361                   | 1 (0,27%)          | 5           | Pkw                            |

Tabelle 2-5: Erhobene Konflikte im Überblick

Anhand der Tabelle lassen sich bereits folgende Aussagen zum Einfluss von Parkmanövern auf die Verkehrssicherheit ableiten:

- Bei keinem Parkmanöver ist eine besonders hohe oder besonders niedrige Konflikthäufigkeit zu erkennen.
- Eine Zuordnung von Konflikten zu bestimmten Teilmanövern ist begrenzt möglich: So ereigneten sich beim Ausparken alle Konflikte beim Einfahren in die Fahrbahn (Teilmanöver 5), beim Einparken ereigneten sich zwei von fünf Konflikten nach dem Anhalten zum Rückwärtseinparken (Teilmanöver 2).
- Drei von acht Konflikten ereigneten sich mit Radfahrern. Diese wurden in Straßen mit hohem Radverkehrsanteil erfasst (alle in Salzburg), so dass sich eine besondere Gefährdung von Radfahrern nicht ableiten lässt<sup>28</sup>.
- Ein Zusammenhang von Konflikten eines bestimmten Teilmanövers mit bestimmten Verkehrsteilnehmern ist nicht erkennbar.
- Es wurden keine Konflikte zwischen dem Betreten der Fahrbahn und dem Einsteigen in das Fahrzeug (vor dem Ausparken) festgestellt.

<sup>28</sup> Die Gefahr, dass Radfahrer von Pkw-Fahrern leichter übersehen werden als ein Pkw ist davon natürlich unbeeinträchtigt. Dies betrifft ebenso den Fall, dass sich ausgestiegene Pkw-Insassen beim Überqueren der Straße auf ihr Gehör verlassen und einen herannahenden Radfahrer nicht wahrnehmen. Ein solcher Fall wurde während der Erhebungen dokumentiert (Konflikt beim Einparken rechts, Teilmanöver 5-6)

Insgesamt ist zu erkennen, dass durch Parkmanöver nur wenig Konflikte verursacht werden und dass deren Verteilung auf Teilmanöver und betroffene Verkehrsteilnehmer durchaus von Zufälligkeiten (Unaufmerksamkeit eines Verkehrsteilnehmers) geprägt ist. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen Konflikte, die im Sinne der Beurteilung der Verkehrssicherheit von Parkmanövern, aber auch bzgl. der Entwicklung des Simulationsmodells einer besonderen Erwähnung bedürfen:



Abbildung 2-6: Konflikt beim Rangieren mit Radfahrer

Beim Einparken stößt der Fahrer des dunklen Kleinwagens in Abbildung 2-6 ein zweites Mal auf die Straße, um einen zweiten Versuch einzuleiten. Dabei achtet er nicht (mehr) auf den von hinten herannahenden Radfahrer, welcher ein heftiges Ausweichmanöver durchführen muss, um die Kollision zu vermeiden. In diesem Fall kann sicherlich unterstellt werden, dass der Pkw-Fahrer beim erneuten Einfahren auf die Fahrbahn den fließenden Verkehr insgesamt nicht beachtet hat, denn zumindest der hinter dem Radfahrer herannahende Reisebus hätte (anders als der Radfahrer) sicherlich kaum übersehen werden können. Daher werden Fahrradfahrer im Modell zunächst nicht als eine eigene Art von Verkehrsteilnehmern abgebildet.



Abbildung 2-7: Konflikt mit Gegenverkehr beim Ausparken von links

Abbildung 2-7 zeigt ein Ausparkmanöver von links (Pfeil). Dabei sind die Sichtverhältnisse für den Fahrer jedoch durch den davor geparkten Transporter stark beeinträchtigt (mehr als durch einen Pkw). Der ausparkende Pkw kann daher das entgegenkommende Fahrzeug erst sehr spät erkennen, so dass dieses stark verzögern muss um eine Kollision zu vermeiden.

Bei dem dargestellten Beispiel handelt es sich um eine Tempo-30 Zone, in der die gefahrenen Geschwindigkeiten die zulässigen Geschwindigkeiten nicht wesentlich übersteigen. Bei höheren gefahrenen Geschwindigkeiten jedoch wäre der Reaktions- und Verzögerungsweg des entgegenkommenden Fahrzeugs länger, so dass eine Kollision nicht auszuschließen gewesen wäre. Aus diesem Grund wurde im Forschungsprojekt „Linksparken in städtischen Straßen“ die Empfehlung abgeleitet, auch im Falle einer Lockerung des in Deutschland gültigen Rechtsparkgebots eine Legalisierung des Linksparkens in Straßen mit einer zulässigen Geschwindigkeit von mehr als 30 km/h aus Gründen der Verkehrssicherheit nicht zuzulassen<sup>29</sup>.

### 2.3.3 Verkehrssicherheit als Komponente im Modell

Die Analyse von Unfällen und Konflikten hat gezeigt, dass solche für die Verkehrssicherheit relevanten Ereignisse nur selten und zufällig auftreten. Bei den empirischen Erhebungen wurden keine Unfälle erfasst, der Anteil der mit Konflikten behafteten

<sup>29</sup> vgl. Riel, 2002

Parkmanöver bewegt sich im Promille-Bereich. Damit konnte eine Wahrscheinlichkeit, mit der Konflikte oder Unfälle bei bestimmten Teilmanövern oder mit bestimmten Verkehrsteilnehmern auftreten, (zumindest anhand der verfügbaren Stichprobe) nicht angegeben werden. Aus diesem Grund wird das Auftreten von Unfällen und Konflikten im Modell nicht simuliert.

Die im Forschungsprojekt erarbeitete Empfehlung, dass Linksparken auch im Falle einer Lockerung des derzeit in Deutschland gültigen Rechtsparkgebots in Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von mehr als 30 km/h nicht zugelassen werden sollte, wird in dem zu entwickelnden Modell insofern berücksichtigt, als Linksparker in Straßen mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von über 30 km/h im Modell nicht simuliert werden.

### **2.3.4 Aspekt Verkehrsablauf**

Ein reibungsloser Verkehrsablauf wird häufig damit beschrieben, dass die Verkehrsteilnehmer mit einer von ihnen gewählten Wunschgeschwindigkeit den betrachteten Streckenabschnitt durchfahren können. Einbußen in der Qualität des Verkehrsablaufs werden daher konsequenterweise in der gegenüber der reibungslosen Fahrt entstandenen Verlustzeit ausgedrückt, wobei Interaktionen und Wartezeiten die messbaren Parameter darstellen.

*Interaktionen* sind Reaktionen von Verkehrsteilnehmern auf das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer, sie stellen aber keine sicherheitsrelevanten Vorgänge dar. Interaktionen sind z.B.

- leichte Ausweichmanöver und Fahrstreifenwechsel
- leichte Verzögerungen
- Halte

Als "leichte" Reaktionen und damit als Interaktionen werden Manöver bezeichnet, die keine abrupte Änderung von Geschwindigkeit oder Richtung bedeuten, bei denen also nur geringe Verzögerungen oder Seitenbeschleunigungen von unter  $1 \text{ m/s}^2$  auftreten.

Interaktionen dienen nicht zur dringend notwendigen Vermeidung einer Kollision, sondern zeigen, dass Verkehrsteilnehmer ihre Verhaltensweisen aufeinander abstimmen und damit Konflikte oder Unfälle vermeiden. Das häufige Auftreten von Interaktionen bei gleichzeitig geringer Anzahl von Konflikten und Unfällen kann also durchaus als Indiz für einen kontrollierten Verkehrsablauf gesehen werden.

Folgende Tabelle zeigt den Zeitbedarf für das Vorwärts- und Rückwärtseinparken am rechten und linken Fahrbahnrand (Medianwerte).

|                     | Einparken links |      |           |      | Einparken rechts |      |           |      |
|---------------------|-----------------|------|-----------|------|------------------|------|-----------|------|
|                     | vorwärts        |      | rückwärts |      | vorwärts         |      | rückwärts |      |
| Interaktionen       | mit             | ohne | mit       | ohne | mit              | ohne | mit       | ohne |
| Zeitbedarf [sec]    | 29              | 13   | 33        | 25   | 19               | 11   | 39        | 22   |
| Anzahl Vorgänge     | 36              | 237  | 24        | 70   | 181              | 617  | 246       | 240  |
| % mit Interaktionen | 13%             |      | 26%       |      | 23%              |      | 51%       |      |

Tabelle 2-6: Medianwerte des Zeitbedarfs von Einparkmanövern [sec]

In Tabelle 2-6 fällt auf, dass der Zeitbedarf beim Rückwärtseinparken etwa doppelt so hoch ist wie der Zeitbedarf beim Vorwärtseinparken und dass Parkmanöver mit Interaktionen deutlich mehr Zeit benötigen als solche ohne Interaktionen. Dies kann durch die folgenden Zusammenhänge erklärt werden, die während der empirischen Arbeit beobachtet wurden:

- Parkmanöver *ohne Interaktionen* benötigen links und rechts etwa gleich viel Zeit, was darauf schließen lässt, dass die etwas längere Fahrstrecke kaum Einfluss auf den Zeitbedarf hat.

Bei den Manövern *mit Interaktionen* dagegen weisen diejenigen auf der linken Seite einen deutlichen Mehrbedarf an Zeit auf: Dies ist darauf zurückzuführen, dass Interaktionen beim vorwärts Einparken auf der linken Seite dann entstehen, wenn der Einparkende vor dem Einparken noch Gegenverkehr passieren lassen muss und wenn während dieser Zeit nachfolgende Fahrzeuge reagieren bzw. anhalten müssen. Diese Konstellation tritt jedoch eher selten auf (vgl. Tabelle).

- Beim Einparken links wurden (absolut und prozentual) weniger Interaktionen festgestellt, als beim Einparken auf der rechten Seite. Dies kann damit begründet werden, dass meistens nur dann auf der linken Seite geparkt wird, wenn dies ohne Begegnung mit dem Gegenverkehr möglich ist.
- Der Zeitbedarf von Einparkmanövern und das Auftreten von Interaktionen können sich unter Umständen gegenseitig beeinflussen:

So können einerseits bei lang andauernden Manövern natürlich mehr Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern auftreten, da mit zunehmender Dauer des Parkmanövers auch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass andere Verkehrsteilnehmer auftreten, die natürlich auf das Parkmanöver in irgend einer Form reagieren müssen.

Andererseits kann sich der Zeitbedarf eines eigentlich zügigen Einparkmanövers

gerade aufgrund von Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern erhöhen, z. B. weil der Ein- oder Ausparkende das Parkmanöver aus Vorsicht unterbricht, bis die anderen Verkehrsteilnehmer die Stelle passiert haben.

Wenn Interaktionen dazu führen, dass andere Verkehrsteilnehmer als Reaktion auf ein Ein- oder Ausparkmanöver anhalten, dann entstehen *Wartezeiten*. Diese sind empirisch eindeutig messbar und können damit in der Regel gut quantifiziert werden. Weiterhin können Wartezeiten einfacher einem bestimmten Verursacher (hier einem Parkmanöver) zugeordnet werden, als dies bei anderen Interaktionen der Fall ist (so kann eine leichte Verzögerung oder ein leichter Richtungswechsel andere Ursachen haben, die nichts mit dem Parkmanöver zu tun haben). Folgende Abbildung zeigt die Häufigkeit des Auftretens von Interaktion und Wartezeiten im Vergleich:

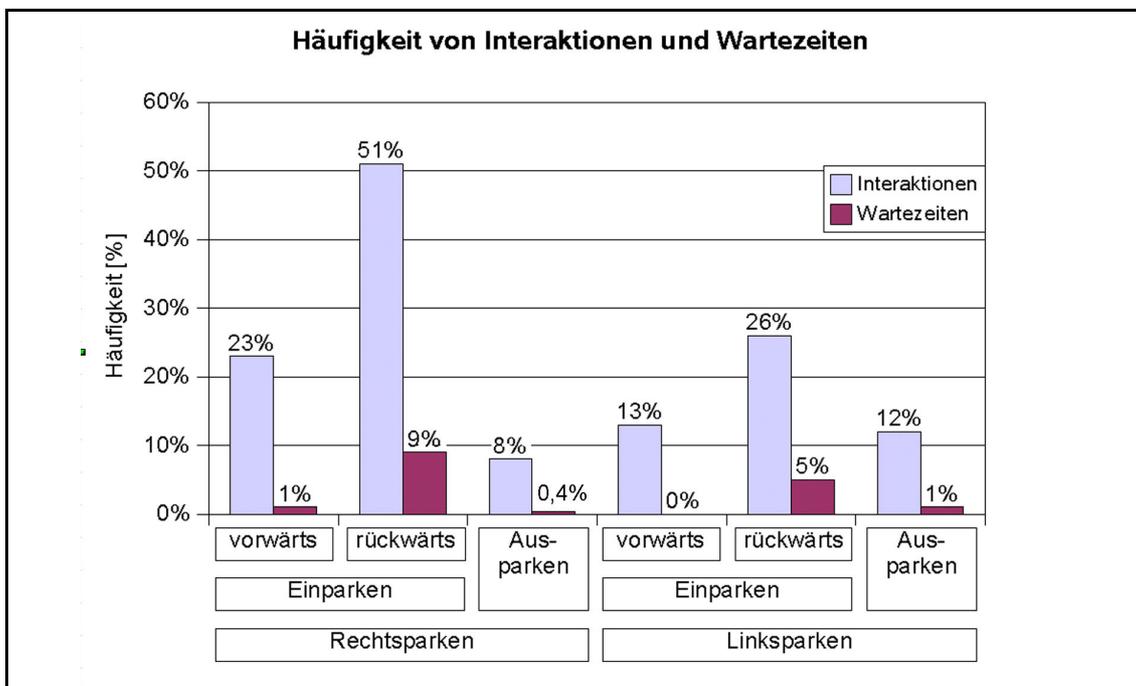


Abbildung 2-8 Auftreten von Interaktionen und Wartezeiten im Vergleich

In der Abbildung fällt auf, dass Wartezeiten wesentlich seltener entstehen als Interaktionen. Am häufigsten treten Wartezeiten beim Rückwärtseinparken auf, wobei die Parkmanöver auf der rechten Seite häufiger betroffen sind als auf der linken Seite. Ebenso wie bei den Interaktionen ist dies auf das häufige dichte Auffahren von nachfolgenden Fahrzeugen auf Rechtseinparker zurückzuführen.

### Einfluss von Parkmanövern auf die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV)

Die Länge der durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten ist sehr stark von Zufällen geprägt, wobei vor allem die Dauer des Rangiervorgangs und das Verkehrsaufkommen auf der entsprechenden Straße eine Rolle spielen (auf diese Zusammenhänge wird näher in Kapitel 4.6 eingegangen). Folgende Tabelle gibt einen über alle Untersuchungsbeispiele gemittelten Überblick über die pro Parkmanöver verursachten Wartezeiten:

| Einparken |           |          |           | Ausparken |          |
|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Links     |           | Rechts   |           | Links     | rechts   |
| vorwärts  | rückwärts | vorwärts | rückwärts |           |          |
| 0,0 sec   | 0,43 sec  | 0,15 sec | 1,46 sec  | 0,05 sec  | 0,04 sec |

Tabelle 2-7: Durchschnittlich pro Parkmanöver verursachte Wartezeit im fließenden Verkehr

Im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS<sup>30</sup>) werden z.B. zur Beurteilung des Verkehrsablaufs an Lichtsignalanlagen (LSA) verschiedene Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) anhand der für ein Fahrzeug des fließenden Verkehrs entstehenden Wartezeiten definiert. Folgende Tabelle zeigt die QSV an einer LSA für die verschiedenen betroffenen Verkehrsteilnehmer:

| QSV | Zulässige mittlere Wartezeit w [s] |                |                  |  | Prozentsatz der Durchfahrten ohne Halt [%] |
|-----|------------------------------------|----------------|------------------|--|--|
|     | Straßengebundener ÖPNV             | Fahrradverkehr | Fußgängerverkehr | Kfz-Verkehr (nicht koordinierte Zufahrt) | Kfz-Verkehr (koordinierte Zufahrt)         |
| A   | ≤ 5                                | ≤ 15           | ≤ 15             | ≤ 20                                     | ≤ 95                                       |
| B   | ≤ 15                               | ≤ 25           | ≤ 20             | ≤ 35                                     | ≤ 85                                       |
| C   | ≤ 25                               | ≤ 35           | ≤ 25             | ≤ 50                                     | ≤ 75                                       |
| D   | ≤ 40                               | ≤ 45           | ≤ 30             | ≤ 70                                     | ≤ 65                                       |
| E   | ≤ 60                               | ≤ 60           | ≤ 35             | ≤ 100                                    | ≤ 50                                       |
| F   | > 60                               | > 60           | > 35             | > 100                                    | > 50                                       |

Tabelle 2-8: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage<sup>31</sup>

Zur einer Beurteilung der durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten nach dem Schema des HBS muss die durch Parkmanöver verursachte Wartezeit pro Fahrzeug des fließenden Verkehrs herangezogen werden. Als Durchschnitt über alle Unter-

<sup>30</sup> FGSV, 2001

<sup>31</sup> FGSV, 2001

suchungsbeispiele sind dies etwa 0,12 Sekunden. Der Einfluss von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf ist damit verglichen mit dem einer LSA ( $\leq 20$  Sec. QSV A) vernachlässigbar gering.

### **2.3.5 Verkehrsablauf als Komponente im Modell**

Parkmanöver verursachen häufig Interaktionen im Verkehrsablauf. Diese treten überwiegend als Interaktionen in Form von Ausweichen oder Abbremsen auf, weniger häufig kommt es zu Wartezeiten durch anhaltende Fahrzeuge. Wartezeiten sind ein sehr gutes Maß für die durch Parkmanöver verursachten Störungen im Verkehrsablauf, da sie eindeutig messbar sind und in der Regel einem konkreten Verursacher zugeordnet werden können.

Für die Erstellung des Simulationsmodells ist die Differenzierung der erhobenen Parkmanöver nach dem Auftreten von Interaktionen von zentraler Bedeutung: Zum einen dauern Parkmanöver mit Interaktionen länger als solche ohne Interaktionen und zum anderen können Interaktionen nur dann entstehen, wenn andere Verkehrsteilnehmer vorhanden sind. Im Modell werden daher die Parkmanöver mit dem Zeitbedarf für Manöver mit Interaktionen simuliert. Betroffene Fahrzeuge können dann, sofern die Verkehrslage dies zulässt, überholen oder müssen verzögern (Interaktion) und ggf. anhalten, bis das Parkmanöver beendet ist oder der Gegenverkehr ein Überholmanöver zulässt (Wartezeit).

Die Beurteilung des Verkehrsablaufs wird im Modell ausschließlich anhand der Wartezeiten vorgenommen, da diese eindeutig messbar und einem bestimmten Verursacher (hier Parkmanövern) zugeordnet werden können. Dies trifft insbesondere auch auf die empirische Erhebung von Wartezeiten zu, so dass eine zuverlässige Datenbasis für die Vergleichswerte aus der Realität zur Verfügung steht.

Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Unfällen oder Konflikten mit dem Auftreten von Wartezeiten ist nicht zu erkennen. So kann ein durchaus schwerer Konflikt zwischen zwei Verkehrsteilnehmern entstehen, ohne dass Dritte betroffen sind und ohne dass Wartezeiten auftreten. Umgekehrt können jedoch sehr lange Wartezeiten bei „harmlosen“ Ein- oder Ausparkmanövern auftreten, in denen ein rangierender Ein- oder Ausparker mehrere Fahrzeuge zum Stillstand bringt, die aufgrund des Gegenverkehrs nicht überholen können.

## 2.4 Akzeptanz von Parkständen auf der linken Seite

### 2.4.1 Verkehrsbelastung und Parkraumauslastung

Eine wichtige Fragestellung der Arbeit war die Analyse der Randbedingungen, unter denen Linksparker auftreten. Sicherlich spielen bei der Wahl des Parkstandes zahlreiche Einflussfaktoren eine Rolle, von denen mit der eingesetzten Erhebungsmethode (Videoaufzeichnungen ohne ergänzende Befragung der Einparkenden) natürlich nicht alle erhoben werden konnten. Es konnten jedoch verschiedene Zusammenhänge zwischen der Akzeptanz von Parkständen auf der linken Straßenseite und anderen Randbedingungen festgestellt werden.

Die *Verkehrsbelastung* hat zentralen Einfluss auf die Akzeptanz eines Parkstandes auf der linken Straßenseite. Folgende Grafik stellt den Anteil der Linksparker im Zusammenhang mit der Verkehrsstärke getrennt für die Untersuchungsbeispiele in Deutschland, Frankreich und Österreich dar:

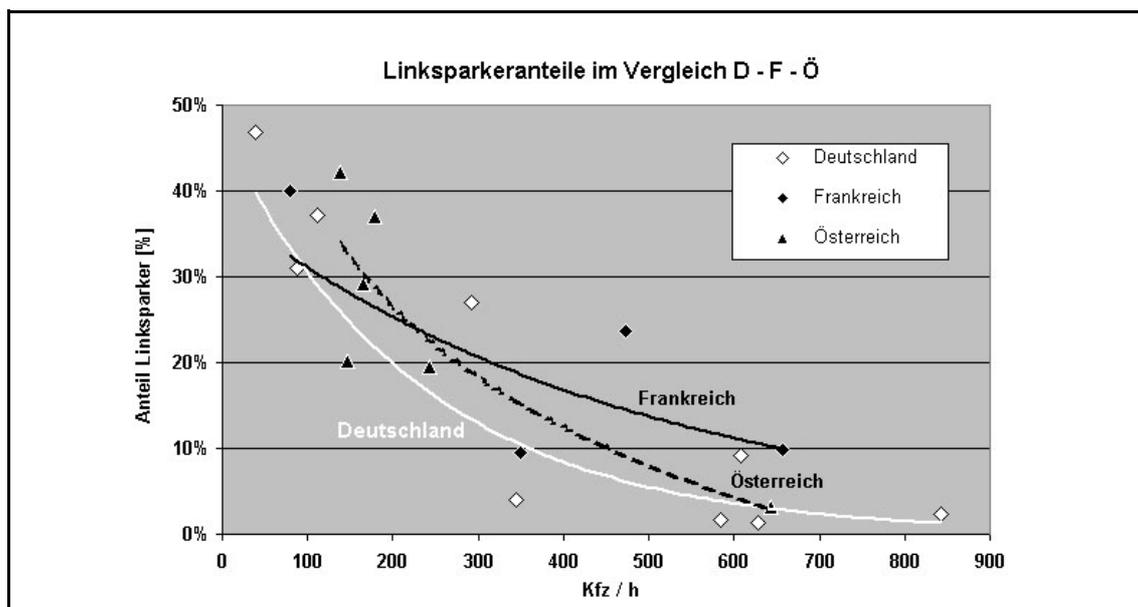


Abbildung 2-9: Einfluss der Verkehrsstärke auf das Auftreten von Linksparkern

In Abbildung 2-9 ist die Tendenz deutlich zu erkennen, dass mit zunehmendem Verkehrsaufkommen der Linksparkeranteil abnimmt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass bei zunehmendem Verkehrsaufkommen insgesamt auch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Gegenverkehr steigt. Gegenverkehr verhindert das konfliktfreie Überqueren der Gegenfahrbahn und relativiert damit den Vorteil des sofort verfügbaren Parkstandes auf der gegenüberliegenden Straßenseite.

Weiterhin können Parksuchfahrten bei hoher Parkraumauslastung sehr lang werden, so dass ggf. auch illegale Parkstände in zweiter Reihe, im Halteverbot oder eben auf der gegenüberliegenden Straßenseite angenommen werden.

Die folgende Abbildung stellt für zwei Untersuchungsbeispiele die Anzahl der Parkmanöver auf der linken Straßenseite sowie die Auslastung des Parkraums zum Zeitpunkt des Einparkmanövers auf der eigenen Straßenseite (rechte Achse) und auf der gegenüberliegenden Straßenseite (untere Achse) dar<sup>32</sup>. Die Höhe der Säulen entspricht dabei der absoluten Anzahl der Einparkmanöver.

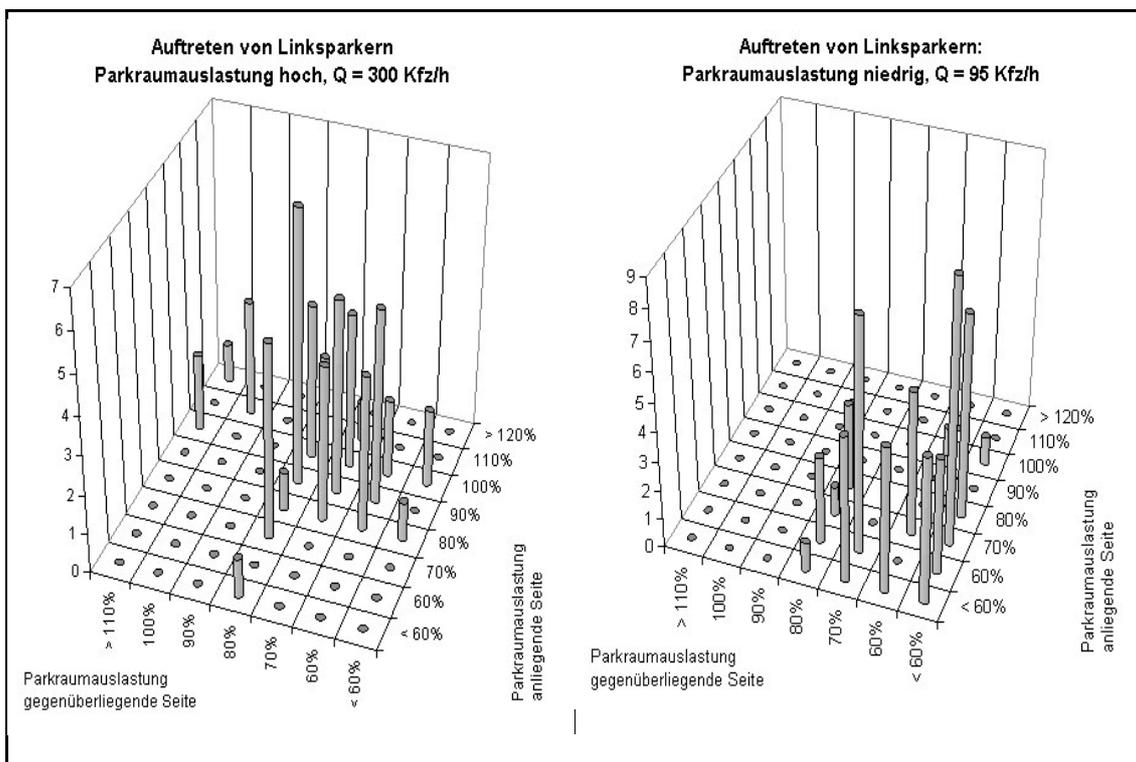


Abbildung 2-10: Einfluss der Parkraumauslastung auf das Auftreten von Linksparkern.  
 Links: Saarbrücken, Ludwigstraße (Q=300 Kfz/h).  
 Rechts: Pforzheim, Kronprinzenstraße (Q=95 Kfz/h)

- **Bild links:**

Eine Verdichtung der Säulen ist im hinteren Bereich des Diagramms zu erkennen. Das bedeutet, dass die meisten Parkstände auf der linken Seite bei höheren Parkraumauslastungen (über 80%) akzeptiert werden. Zusätzlich ist zu erkennen, dass die Auslastung auf der linken Straßenseite zum Zeitpunkt des Einparkens außerdem häufig geringer ist als auf der eigenen Seite.

<sup>32</sup> Auslastungen > 100% kommen durch illegales Parken vor Ausfahrten, in 2ter Reihe etc. zu Stande. In den beiden zu Grunde liegenden Straßen wurden mit 43% (Saarbrücken, Ludwigstraße, linkes Bild) und 37% (Pforzheim, Kronprinzenstraße, rechts Bild) für deutsche Verhältnisse durchaus überdurchschnittlich hohe Linksparkeranteile erfasst.

→ Dies deutet darauf hin, dass es eine Hemmschwelle gibt, ab der die Verkehrsteilnehmer eher einen direkt verfügbaren illegalen Parkstand auf der linken Seite akzeptieren, als die längere Suche nach einem legalen Parkstand.

- *Bild rechts:*

Der Parkraum ist insgesamt nur wenig ausgelastet, aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens können jederzeit freie Parkstände auf beiden Seiten angenommen werden (Verdichtung der Säulen im vorderen rechten Quadranten der Diagrammfläche).

→ Bei geringem Parkdruck und geringem Verkehrsaufkommen ist Linksparken weniger eine „Notlösung“, sondern eher ein aus Komfortgründen durchgeführtes Manöver, wenn das Ziel auf der gegenüberliegenden Seite liegt<sup>33</sup>.

Damit lässt sich zusammenfassend der Einfluss von Verkehrsaufkommen und Parkraumauslastung auf die Akzeptanz von Parkständen auf der linken Straßenseite qualitativ wie folgt ausdrücken:

Unter der Annahme, dass die Fahrtziele der Einparkenden gleichverteilt auf der rechten und der linken Straßenseite liegen, würde bei vollkommener Wahlfreiheit zwischen einem Parkstand auf der rechten und auf der linken Seite ein „gleichverteilter“ Linksparkeranteil von 50% vorherrschen. Mit zunehmender Verkehrsbelastung wird diese Wahlfreiheit zunehmend eingeschränkt. Bei hoher Parkraumauslastung (auf der eigenen Straßenseite) werden freie Parkstände auf der gegenüberliegenden Seite auch bei höheren Verkehrsbelastungen angenommen, sofern der Gegenverkehr dies zulässt.

## 2.4.2 Berücksichtigung der Einflussfaktoren im Modell

Das Auftreten von Gegenverkehr hat sich als maßgeblicher Einflussfaktor für das „Nicht-Linksparken“ erwiesen und muss dementsprechend berücksichtigt werden.

Die Auslastung des Parkraums kann insofern berücksichtigt werden, als Fahrzeuge, deren Fahrtziel auf der rechten Seite gelegen ist, einen Parkstand auf der linken Straßenseite nur dann akzeptieren, wenn auf der eigenen Seite kein freier Parkstand verfügbar ist.

---

<sup>33</sup> Diese Beobachtung stimmt auch mit den Angaben der während des Projektes befragten Stadtverwaltungen überein, wonach Linksparken vor allem in Wohngebieten am Stadtrand auftritt. Die Ordnungsämter sehen dies aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens und der niedrigen Geschwindigkeiten eher als unproblematisch an und ahnden Linksparken in diesen Bereichen i.d.R. nicht.

Unabhängig von der Zielwahl bzw. Akzeptanz von Parkständen auf der linken Straßenseite wird der Gegenverkehr als das übergeordnete Kriterium berücksichtigt, so dass nur dann ein Parkstand auf der linken Straßenseite berücksichtigt wird, wenn eine ausreichend große Zeitlücke im Gegenverkehr vorhanden ist.

### 3 Simulation des Verkehrsablaufs

Die FGSV definiert den Begriff 'Simulation' als „Methode der Nachbildung realer Situationen in mathematischen Modellen und das Experimentieren am Modell zur Gewinnung von Informationen über die realen Zusammenhänge.“

Simulationen werden vor allem dann eingesetzt, wenn die zur Lösung eines Problems notwendigen Untersuchungen in der Realität nicht möglich sind oder zu aufwändig wären. Ein Beispiel hierfür ist die Frage, wie sich Eingriffe im Verkehrsnetz auf die Routenwahl der Verkehrsteilnehmer auswirken können.

#### 3.1 Funktionale Grundlagen von Simulationsmodellen

Grundsätzlich werden in einem Modell reale Objekte und Prozesse in vereinfachter Form dargestellt. Im Sinne eines möglichst einfachen Modells werden diese nur insoweit abgebildet, als es zur Lösung der Fragestellung notwendig ist. Werden die Prozesse in einem mathematischen, abstrakten Algorithmus abgebildet, so kann man von einem Simulationsmodell sprechen.

Ein Unterschied zwischen Simulationsmodellen und analytischen Modellen ist, dass bei Simulationsmodellen auch stochastische Zufallsgrößen modelliert werden können, wogegen analytische Modelle bei gleichen Initialwerten auch immer zum gleichen Ergebnis kommen.

Simulationsmodelle lassen sich grundsätzlich anhand verschiedener Kriterien unterscheiden, welche Einsatzbereich und Funktionsweise der Simulation maßgeblich beeinflussen. Die wichtigsten dieser Kriterien werden im folgenden dargestellt:

##### Differenzierung nach Zeitbezug

- *Zeitdiskrete Modelle* betrachten die Änderungen eines Modellzustands an bestimmten diskreten Zeitpunkten. Das Verhalten des Systems zwischen diesen Zeitpunkten wird vom Modell her nicht berücksichtigt und als konstant angenommen. Daraus ergeben sich Abweichungen zu einem in der Realität stetig ablaufenden Vorgang, wobei die Abweichungen umso größer werden, je größer die Zeitintervalle gewählt werden. Die Zustandsvariablen simulierter Objekte bleiben in ihren Werten zwischen den Zeitpunkten konstant und eine Änderung tritt sprunghaft erst zu bestimmten Zeitpunkten auf. Zeitdiskret arbeitende Modelle können weiterhin noch bezüglich der Art der Zeitsteuerung klassifiziert werden.

*a) zeitgesteuert:*

Bei zeitgesteuerten Modellen erfolgt die Neuberechnung der Modellvariablen zu bestimmten, gleichmäßig verteilten Zeitpunkten. Der Zeitabstand zwischen den Berechnungen ist konstant. Häufig wird dabei ein Intervall von 1 Sekunde angewendet, was in etwa der menschlichen Reaktionszeit entspricht.

*b) ereignisorientiert:*

Ereignisorientierte Modelle legen den Zeitpunkt der Neuberechnung (z.B. einer Zustandsvariablen) auf das Eintreffen eines bestimmten Ereignisses.

- In *zeitkontinuierlichen Modellen* lassen sich die Zustandsvariablen durch stetige Funktionen beschreiben, so dass deren Wert zu jedem beliebigen Zeitpunkt ermittelbar ist. Bei der Anwendung zeitkontinuierlicher Modelle auf digitalen Rechnern wird dabei auch von "quasi-zeitkontinuierlichen" Modellen gesprochen, da Rechner tatsächlich nur einzelne, diskrete Zeitschritte betrachten können und das zeitliche Kontinuum durch sehr kleine Zeitschritte (von 0,1 Sekunden und weniger) weitgehend angenähert wird.
- Die *statischen Modelle* seien hier der Vollständigkeit halber erwähnt. Sie haben keinen Zeitbezug, so dass keine zeitabhängigen Zustandsänderungen auftreten können. Eine Zeitdynamik wie bei den zeitdiskreten und zeitkontinuierlichen Modellen kann also mit den statischen Modellen nicht erreicht werden.

Differenzierung nach Raumbezug

- *Raumdiskrete Modelle* betrachten den Raum in diskreten Einheiten wie z.B. Verkehrszellen einer Stadt oder Koordinaten, auf denen sich ein Objekt befindet. Zusätzliche Punkte innerhalb einer solchen Einheit können nicht weiter differenziert werden. Bewegungen von Objekten im Raum können also nur zwischen den definierten Einheiten betrachtet werden.
- Analog zur zeitlichen Komponente bei den zeitkontinuierlichen Modellen wird der Raum in den *raumkontinuierlichen Modellen* mittels stetiger Funktionen beschrieben. Sich bewegendende Objekte befinden sich dann zu je zwei verschiedenen Zeitpunkten an unterschiedlichen, identifizierbaren Orten. Wie bei den zeitkontinuierlichen Modellen angemerkt, müssten raumkontinuierliche Modelle auf Digitalrechnern streng genommen als "quasi-raumkontinuierlich" bezeichnet werden.

### Differenzierung nach Verhaltensbeschreibung

Je nach dem, ob zufallsverteilte, um einen Mittelwert streuende oder voraussehbare, bestimmten Gesetzmäßigkeiten folgende Parameter das Verhalten der Modelle beeinflussen, werden deterministische und stochastische Modelle unterschieden.

- In *deterministischen Modellen* sind alle Einflussgrößen eindeutig bestimmbar und nicht von Zufällen abhängig. Solche Modelle haben bei gleichen Initialwerten und gleicher Simulationsdauer immer das gleiche Ergebnis.
- Bei *stochastischen Modellen* ist die Reaktion auf eine Eingabe nicht eindeutig festgelegt. Meist werden bei dieser Art von Modellen Wahrscheinlichkeitsfunktionen für bestimmte Modellvariablen verwendet, so dass das Verhalten zufallsabhängig ist. Damit sind stochastische Modelle in der Lage, bei gleichen Initialwerten und gleicher Simulationsdauer aufgrund der Zufallsabhängigkeit unterschiedliche Ergebnisse zu liefern.

Um diese Ergebnisse jedoch statistisch bewerten zu können, muss eine bestimmte Anzahl von Simulationsläufen unter gleichen Bedingungen wiederholt werden. Man nennt dies dann auch die "Monte-Carlo" Methode. Für Sensitivitätsanalysen bezüglich der Auswirkung einzelner Parameter bieten sich so genannte "Pseudo-Zufallszahlen" an, welche durch Funktionen generiert werden, die eine zufällig erscheinende Reihe von Zahlen wiederholbar produzieren.

Für die Simulation von Verkehrsabläufen sind stochastische Modelle gut geeignet, zumal das durchaus von Zufälligkeiten geprägte Verhalten unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer durch den Einsatz von Wahrscheinlichkeiten gut modelliert werden kann.

### Differenzierung nach Aggregationsniveau

Das wohl wichtigste Unterscheidungskriterium ist das Aggregationsniveau. Je nach Fragestellung kann z.B. bei der Betrachtung eines einzelnen Knotenpunktes die Darstellung einzelner Fahrzeuge zwingend notwendig sein, bei der Betrachtung der Verkehrsbelastung auf komplexen Verkehrsnetzen dagegen ist eher der Einsatz von kumulierten Daten sinnvoll.

- In *mikroskopischen Verkehrsmodellen* wird das Verhalten einzelner Verkehrsteilnehmer nachgebildet (vgl. WIEDEMANN, 1974) und während deren „Lebensdauer“ in der Simulation sind diese einzeln identifizierbar und unterscheidbar. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, auch detaillierte Problemstellungen nachzubilden und z.B. durch die Simulation der Routenwahl von Verkehrsteilnehmern Verkehrsströme zu

modellieren. Der Rechenaufwand solcher Modelle ist je nach Komplexität sehr hoch, da zur selben Zeit eine Vielzahl von Individuen generiert und simuliert werden muss. Dementsprechend ist der simulierte Beobachtungsraum von mikroskopischen Modellen eher gering.

Durch die Simulation und geeignete Erfassung einzelner Verkehrsteilnehmer können die simulierten Daten zu neuen Größen, wie z.B. der Verkehrsstärke an einem bestimmten Querschnitt, aggregiert werden. Mit dem Grad der Aggregation wächst auch der Verlust an Detailinformationen.

Ein weit verbreitetes Beispiel für ein mikroskopisches Modell des Verkehrsablaufs ist z.B. das Programm VISSIM der PTV-AG.

- *Makroskopische Simulationsmodelle* betrachten bereits aggregierte Daten wie z.B. Verkehrsstärken oder Durchschnittsgeschwindigkeiten (vgl. auch WIEDEMANN, 1974). Einzelne Verkehrsteilnehmer sind dabei nicht mehr identifizierbar oder unterscheidbar.

Je höher aggregiert die eingesetzten Daten sind, desto geringer ist zwar der Rechenaufwand, desto geringer ist aber auch die Genauigkeit der Ergebnisse. Aber selbst bei korrekten, aggregierten Ausgangsdaten können daraus abgeleitete funktionale Beziehungen fehlerhaft sein. Typisch, aber nicht unbedingt notwendig, ist ein räumlich sehr ausgedehntes Beobachtungsgebiet. Häufig wird der betrachtete Raum auch in Form von Zellen dargestellt, so dass aggregierte Verkehrsströme nur zwischen Zellen nachgebildet werden.

Beispiele für makroskopische Modelle sind z.B. SIMONE<sup>34</sup> (CREMER, 1979), VISUM (PTV-AG) oder MAUS (VORTISCH, 1992), welche allerdings nicht für die Simulation des Verkehrsablaufs geeignet sind, sondern z.B. zur Simulation von Netzbelastungen eingesetzt werden.

- *Mesoskopische Simulationsmodelle* versuchen, die Vorteile beider Aggregationsniveaus zu vereinen, indem sie eindeutige Merkmale sowohl des makroskopischen als auch des mikroskopischen Aggregationsniveaus besitzen. Ein Ansatz wäre die unterschiedliche Betrachtung des Verkehrs an verschiedenen Stellen des simulierten Streckennetzes, etwa eine makroskopische Abbildung des Verkehrsflusses auf kreuzungsfreien Streckenabschnitten und eine mikroskopische Nachbildung der einzelnen Fahrzeuge an einem anschließenden Knotenpunkt.

Bei mesoskopischen Modellen müssen daher zusätzliche Schnittstellen implementiert werden, die den Übergang zwischen den beiden Aggregationsniveaus ermöglichen. So muss beispielsweise die Verkehrsstärke auf einem makroskopisch

---

34 Akronym von „Simulation of Motorway Networks“

dargestellten Streckenabschnitt auf die entsprechende Verteilung der einzelnen Fahrzeugankünfte übertragen werden.

Ein Beispiel für ein solches Modell ist DYNEMO<sup>35</sup> (SCHWERDTFEGER/WIEDEMANN, 1987)

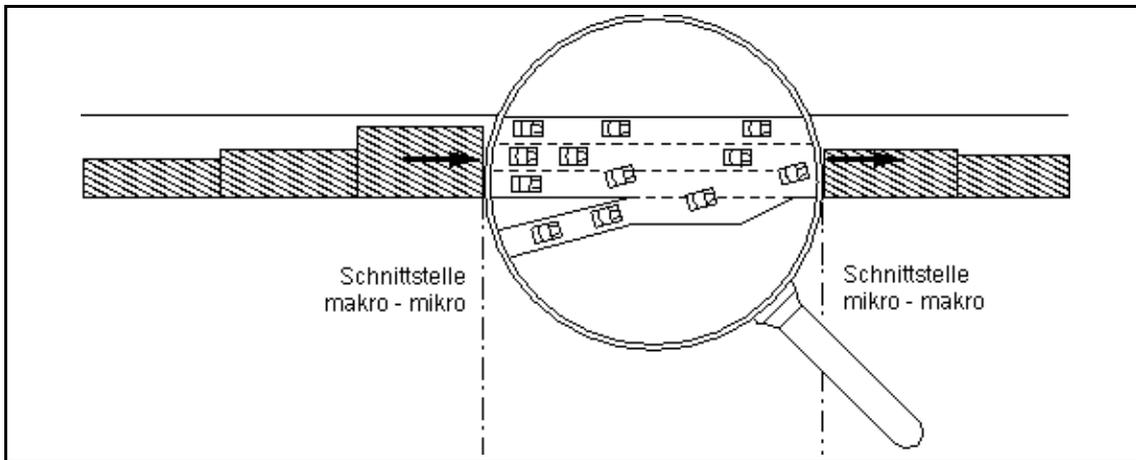


Abbildung 3-1: Übergang von makroskopischem auf mikroskopischen Bereich

### Anforderungen an ein Modell zur Simulation von Parkmanövern

Mit Hilfe der dargestellten Grundlagen lässt sich nun die Beschaffenheit eines Modells beschreiben, welches Ein- und Ausparkmanöver simulieren, sowie deren Auswirkungen auf Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit darstellen kann:

| Anforderung (zu simulierende Eigenschaft der Realität)  | Eigenschaft des Modells |
|---|-------------------------|
| Es werden einzelne Fahrzeuge und deren Verhalten dargestellt.   | Mikroskopisch           |
| Das Verhalten der einzelnen Fahrzeuge (bzw. der einzelnen Fahrer) folgt keinen klaren Gesetzmäßigkeiten und kann nicht vorausgesagt werden.   | Stochastisch            |
| Die Fahrzeuge bewegen sich kontinuierlich und können ihre Bewegung jederzeit ändern.  | Zeitkontinuierlich      |
| Je nach Geschwindigkeit kann die pro Zeitschritt zurückgelegte Strecke sehr klein sein. Um dies ausreichend genau abbilden zu können, ist eine relativ feine räumliche Auflösung zumindest in Längsrichtung erforderlich. | Raumkontinuierlich      |

Tabelle 3-1: Grundsätzliche Anforderungen an ein Modell zur Simulation von Parkmanövern

<sup>35</sup> Akronym von „Dynamisches Netzmodell“

### 3.2 Zelluläre Automaten

Je nach Fragestellung basieren Simulationsmodelle auf verschiedenen programmtechnischen Grundlagen. Bei Flussbetrachtungen hat sich der hydrodynamische Ansatz bewährt, bei dem der Verkehrsfluss als kontinuierlicher Fluss von Fahrzeugen betrachtet wird<sup>36</sup>. Eben aufgrund der verwendeten Kontinuumsbeschreibungen ist die Auflösung in einzelne Fahrzeuge, wie es für die Beurteilung einzelner, konkreter Situationen erforderlich wäre, jedoch problematisch.

Ein Ausweg aus dieser Situation ist die Anwendung mikroskopischer Modelle (vgl. oben), in denen Raum und Zeit als kontinuierlich angesehen werden und in denen Bewegungsgleichungen für die einzelnen Fahrzeuge aufgestellt werden (vgl. auch Kapitel 3.3).

SCHRECKENBERG<sup>37</sup> definiert ein Modell, in dem die Straße in Zellen (daher auch der Begriff Zellulärer Automat) von je 7,5 m unterteilt wird, die entweder kein oder maximal ein Fahrzeug enthalten können.

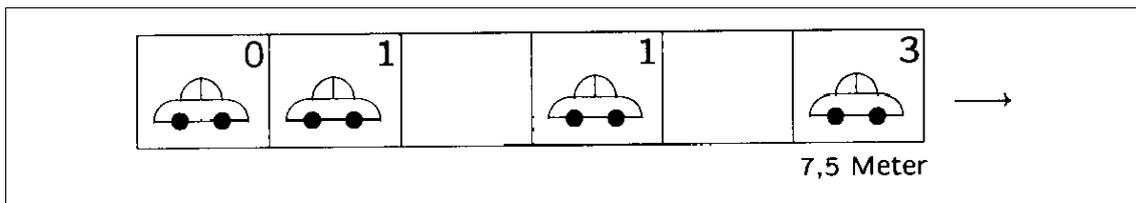


Abbildung 3-2: Zellulärer Automat nach SCHRECKENBERG

Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge wird mit der Einheit Zellen / Zeiteinheit beschrieben, wobei eine Zeiteinheit eine Sekunde umfasst. Die Fahrzeuge selbst werden als diskrete Objekte verstanden, die sich nach relativ einfachen stochastischen Regeln auf dem Gitter bewegen und je nach Situation beschleunigen, verzögern, „trödeln“<sup>38</sup> oder mit konstanter Geschwindigkeit weiterfahren.

SCHRECKENBERG verwendet den Zellulären Automaten z.B. zur Simulation des „Stau aus dem Nichts“ (vgl. folgende Abbildung).

<sup>36</sup> Lighthill / Whitham, 1955

<sup>37</sup> Schreckenberg, 1996

<sup>38</sup> Hierbei wird der Umstand berücksichtigt, dass Fahrzeuge mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ihre Geschwindigkeit verringern, auch wenn das aktuelle Verkehrsgeschehen hierfür keinen Grund bietet.

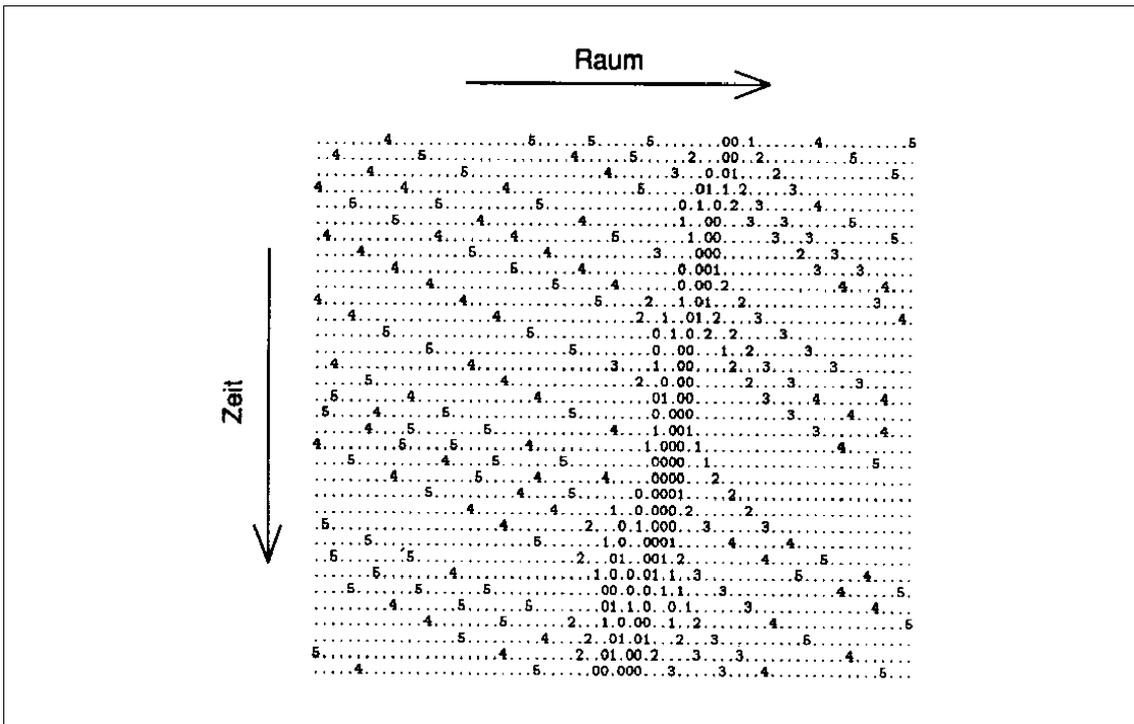


Abbildung 3-3: Simulation des „Stau aus dem Nichts“ mit einem Zellulären Automaten (SCHRECKENBERG)

Ein Vorteil der Zellulären Automaten ist der verhältnismäßig geringe Programmieraufwand. Zur Simulation von Parkmanövern sind an einem Zellulären Automaten der vorgestellten Form jedoch verschiedene Modifikationen notwendig: So ist z. B. das oben vorgestellte Modell für die Simulation von höheren Geschwindigkeiten ausgelegt, die durch ein vielfaches der Zellengröße von 7,5 m ausgedrückt werden können. Die Simulation des urbanen Verkehrsgeschehens, bei dem gerade sehr kleine Geschwindigkeiten häufig auftreten, erfordert dagegen z. B. wesentlich kleinere Zellen (vgl. auch Kapitel 4 ab Seite 58).

### 3.3 Fahrzeugfolge und Fahrstreifenwechsel

In mikroskopischen Modellen wird die Bewegung von Fahrzeugen meistens in zwei Komponenten zerlegt, nämlich in eine Komponente längs zur Fahrtrichtung sowie eine Komponente quer zur Fahrtrichtung. Die Berücksichtigung der Zusammenhänge in Längs- und in Querrichtung werden daher auch häufig in getrennten Modellen abgebildet: Die *Fahrzeugfolge-Modelle* beschreiben das longitudinale Verhalten von Fahrzeugen, die *Fahrstreifenwechsel-Modelle* beschreiben Zusammenhänge in lateraler

Richtung, beispielsweise einen Wechsel des Fahrstreifens zum Überholen, zum Ver- oder Entflechten oder auch zum Richtungswechsel eines Fahrzeugs.

Die Simulation von Parkmanövern setzt die Berücksichtigung beider Komponenten voraus. Dabei ist weniger das Ein- oder Ausparkmanöver an sich von Interesse, sondern vielmehr das Verhalten von anderen Verkehrsteilnehmern, die auf das Manöver reagieren, entweder in Form einer (longitudinal ausgeprägten) Verzögerung oder in Form eines (lateralen) Wechsels auf die Gegenfahrspur, um an dem Rangierenden vorbeizufahren.

Zur Modellierung dieser Reaktionen bestehen zahlreiche Ansätze, die aus der Simulation der Fahrerbeeinflussung stammen und im Detail weit über das hinausgehen, was zur Bestimmung des Einflusses von Parkmanövern auf den Verkehrsfluss notwendig ist. Daher wird im folgenden nur ein kurzer Überblick über diese Modelle aufgeführt:

### Fahrzeugfolge-Modelle

Die Fahrzeugfolgemodelle beruhen entweder auf kontinuierlichen Fahrzeugfolgegleichungen oder auf zustandsabhängigen Bewegungsgleichungen. Die kontinuierlichen Fahrzeugfolgegleichungen beruhen grundsätzlich auf dem Ansatz

$$\text{Reaktion} = \text{Empfindlichkeit} \times \text{Reiz}.$$

REUSCHEL stellte 1950 das erste Modell dieser Art vor, nach dem die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs proportional zum Nettoabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ist und sich ausdrücken lässt in der Form:

$$k \cdot v_m = x_{n-1}(t) - x_n(t) - L$$

mit  $k$  = Konstante

$v_m$  = momentane Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs

$x$  = Position

$t$  = Zeitpunkt

$L$  = Länge des vorderen Fahrzeugs

Dieser Ansatz beschreibt jedoch eher, wie gefahren werden sollte und weniger das tatsächliche Verhalten von Fahrzeugen im Straßenverkehr. Der Ansatz wurde dahingehend erweitert, dass anstatt der Geschwindigkeit auch die Beschleunigung oder Verzögerung eines vorausfahrenden Fahrzeugs berücksichtigt wurde (WHITE, 1957) oder dass mehrere vorausfahrende Fahrzeuge mit einbezogen wurden (HERMANN / ROTHERY, 1963).

Allen diesen Ansätzen ist gemein, dass die Fahrzeuge bzw. Menschen, die eigentlich

als stochastische Elemente unterschiedliche Reaktionen zeigen müssten, eher deterministisch agieren und immer ab einer bestimmte Wahrnehmungsschwelle reagieren. Außerdem beruht die Modellierung der Reaktion stets auf vorausfahrenden Fahrzeugen, so dass das erste Fahrzeug in einer Kolonne (welches kein vorausfahrendes Fahrzeug hat) mit diesem Ansatz nicht beschrieben werden kann und anders modelliert werden muss.

Über die Möglichkeiten der kontinuierlichen Fahrzeugfolgegleichungen hinausgehend kann die Fahrzeugfolge durch zustandsabhängige Modelle beschrieben werden. Grundlagen gehen z.B. auf TODOSIEV (1963) zurück, der untersuchte, ab wann ein Mensch äußere Einflüsse wahrnehmen kann und zu reagieren beginnt. WIEDEMANN (1974) erstellte ein wahrnehmungsorientiertes Modell, in dem ein Fahrer eine Veränderung von Entfernung und Geschwindigkeit erst dann wahrnimmt, wenn der optische Reiz (z.B. die gesehene Größe eines anderen Fahrzeugs) einen gesetzten Minimalwert übertrifft. Zusätzlich wurden verschiedene Situationen (unbeeinflusstes Fahren, bewusst oder unbewusst beeinflusstes Fahren, Abwenden einer Gefahrensituation, vergleiche folgende Abbildung) definiert, denen jeweils charakteristische Wahrnehmungsschwellen zugeordnet wurden.

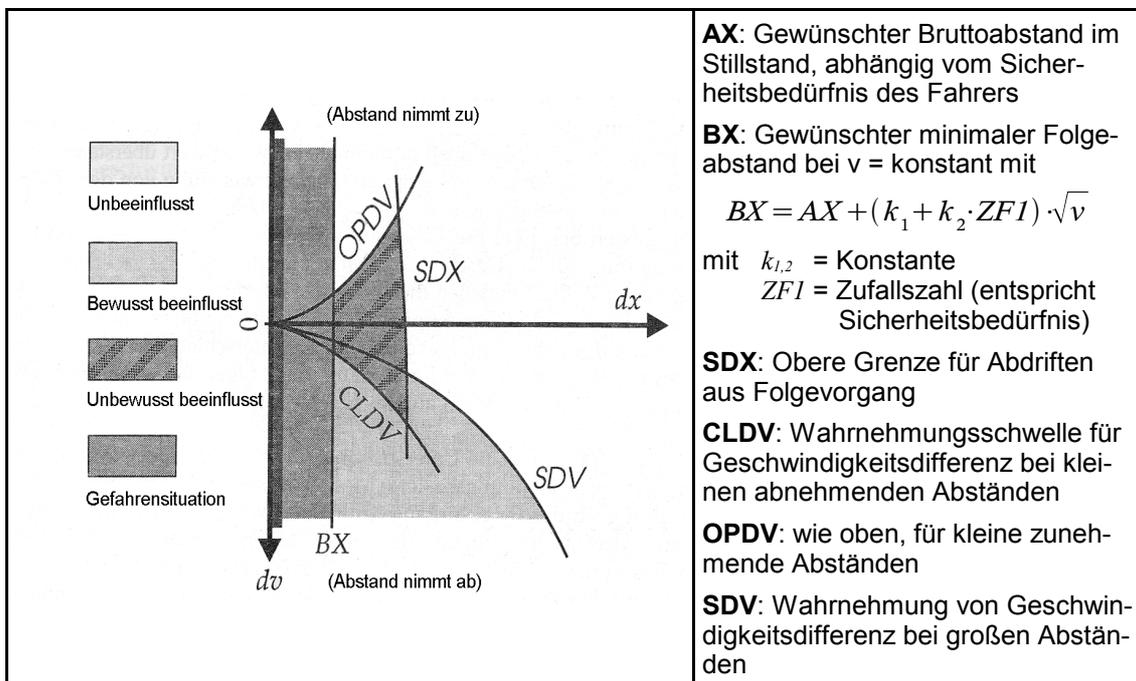


Abbildung 3-4: Fahrzeugfolgmodell nach WIEDEMANN (1974)

Seit den neunziger Jahren werden für Fahrzeugfolgmodelle auch zunehmend Fuzzy-Logic-Methoden eingesetzt (REKERSBRINK, 1995 oder WU ET. AL. 1998) bei denen Ent-

scheidungen nicht nur nach dem klassischen Ja-Nein-Muster getroffen werden, sondern bei denen anhand von Zahlenwerten zwischen 0 und 1 auch unscharfe Mengen wie „relativ“ oder „ziemlich“ beschrieben werden können. Diese Modelle kommen jedoch eher im Zusammenhang mit Telematikanwendungen zum Einsatz und werden hier nicht weiter vertieft.

### Fahrstreifenwechsel-Modelle

Die lateralen Bewegungen von Fahrzeugen wurden bisher weniger genau untersucht als die longitudinalen Bewegungen, was nicht zuletzt darauf zurückzuführen ist, dass Erhebungen hierzu wesentlich schwieriger vorzunehmen sind.

SPARMANN (1978) entwickelte ein Modell zur Abbildung von Fahrstreifenwechseln auf zweispurigen Richtungsfahrbahnen. Dabei unterteilte er die menschlichen Entscheidungsprozesse in drei Teilprozesse, in denen geprüft wird, ob

1. der aktuelle Fahrstreifen verlassen werden soll,
2. die Nutzung des anderen Fahrstreifens Vorteile gegenüber der aktuellen Situation bringt oder
3. das Manöver ohne Gefährdung / Beeinträchtigung anderer Verkehrsteilnehmer durchgeführt werden kann.

Die Fahrstreifenwechsel-Modelle wurden z.B. von YOUNG (1989) weiterentwickelt und auch auf Stadtstraßen übertragen.

Die exakte Nachbildung von Fahrstreifenwechseln ist in dieser Arbeit jedoch nicht von vorrangigem Interesse. Sie sind für diese Arbeit nur insofern relevant, als fahrende Fahrzeuge durch ein Überholmanöver ggf. an einem ein- oder ausparkenden Fahrzeug vorbeifahren können, ohne anhalten zu müssen. Bei einem Fahrstreifenwechsel wird daher nur geprüft, ob die Gegenfahrbahn über eine ausreichende Länge hin frei ist, so dass keine Kollision mit entgegenkommenden Fahrzeugen stattfinden kann. Auf die detaillierte Modellierung des Fahrstreifenwechsels an sich wird verzichtet (vgl. auch Kapitel 4).

### 3.4 Parken in bestehenden Simulationsmodellen

Es besteht bereits eine Vielzahl von Modellen zur Simulation des Verkehrs, die jeweils auf eine spezifische Fragestellung oder auf einen Themenbereich spezialisiert sind. Eine gute Übersicht über die bestehenden Modelle sind im SMARTEST<sup>39</sup>-Report sowie bei BRANNOLTE/KRAUS<sup>40</sup> zu finden.

Im folgenden werden sechs Modelle kurz vorgestellt, von denen in dreien (NEMIS, NETSIM, MICSTRAN) auch das Parken auf der Straße simuliert werden kann.

#### NEMIS

NEMIS ist vorrangig zur Simulation von Änderungen in Straßennetzen vorgesehen, welche z.B. in Form von geänderten LSA-Regelungen oder Wegweisungen eingeführt werden sollen. Es ermöglicht die Verarbeitung von online-Daten wie z.B. der aktuellen Anzeige von Lichtsignalanlagen. Die online-Informationen werden im simulierten Netzwerk verwendet, so dass eine Kalibrierung des Modells anhand des tatsächlichen Verkehrsablaufs möglich ist.

Parkstände im Straßenraum werden dabei zwar im Modell berücksichtigt, beeinflussen die Simulationsergebnisse aber nur in ihrer Funktion als Quellen und Ziele von Verkehrsteilnehmern in einer zugeordneten Verkehrszelle. Parkmanöver an sich werden dabei nicht berücksichtigt.

Eine Ausnahme hiervon stellen die öffentlichen Verkehrsmittel dar, welche bei ihren Halten die Fahrspur blockieren. In diesem Fall können nachfolgende Fahrzeuge nicht passieren, wenn keine weitere Spur zum Überholen vorhanden ist. Auf diese Spur kann jedoch nur eingefahren werden, wenn eine ausreichend große Zeitlücke vorhanden ist.

Damit würde NEMIS zwar grundsätzlich über die Fähigkeiten zur Modellierung des Einflusses von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf verfügen, bietet diese Funktion jedoch in seinem derzeitigen Status nicht an.

---

39 Montgomery, 2000

40 Brannolte / Kraus, 1998

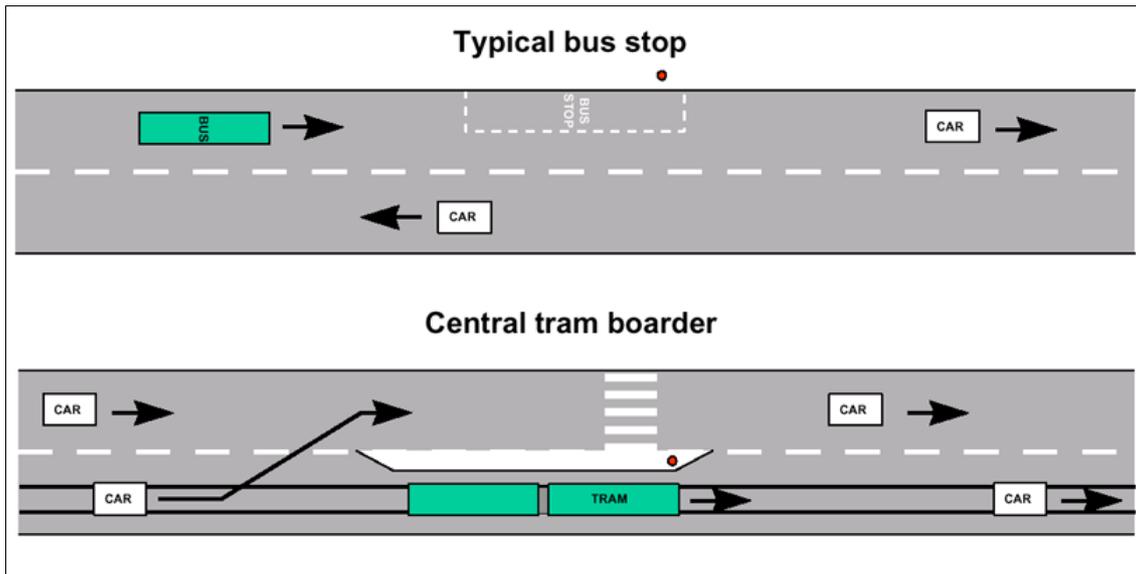


Abbildung 3-5: Berücksichtigung der Halte von öffentlichen Verkehrsmitteln in NEMIS<sup>41</sup>.  
 Oben: Nachfolgende Pkw können nicht überholen, da keine entsprechende Spur besteht.  
 Unten: Nachfolgende Fahrzeuge können auf die Nebenspur wechseln.

### NETSIM

NETSIM ist ein mikroskopisches Modul zur Simulation von städtischen Straßennetzen und wird häufig zusammen mit dem Modul FRESIM (Freeway Simulation) in einem Gesamtpaket CORSIM (Corridor Simulation) eingesetzt. Es wurde von der amerikanischen Federal Highway Administration entwickelt und arbeitet in 1-Sekunden Intervallen.

Auch NETSIM erlaubt unter anderem die Definition von Parkständen im Straßenraum, wobei diese ebenso wie bei NEMIS als Ziel bzw. Quelle für simulierte Fahrzeuge dienen. Darüber hinaus bietet NETSIM jedoch zusätzlich die Simulation von Störungen des Verkehrsablaufs durch diverse Ereignisse an, wobei zwischen längerfristigen Störungen (z.B. durch ein liegen gebliebenes Fahrzeug) und kurzfristigen Störungen (wie z.B. Parkmanöver oder kurze Halte auf der Fahrbahn) unterschieden wird<sup>42</sup>. Der Benutzer hat die Möglichkeit, zwischen den Knotenpunkten Parkzonen zu definieren, für welche die durchschnittliche Parkdauer und die Umschlaghäufigkeit angegeben werden können. Die Dauer der Parkmanöver wird von NETSIM jedoch unabhängig von der Art des Parkmanövers generiert. Parken entgegen der Fahrtrichtung wird in dem Programm nicht berücksichtigt.

<sup>41</sup> Montgomery et al, 2000

<sup>42</sup> <http://www.atacenter.org/corsim.html>

### MICSTRAN

MICSTRAN (MICROscopic Simulaton model for TRAffic Networks) wird vom National Research Institute of Police Science in Japan zur Nachbildung von Eingriffen in das Verkehrsnetz (z.B. durch Änderung von LSA-Regelungen) eingesetzt.

MICSTRAN verfügt über ein Fahrstreifenwechselmodell und ist in der Lage, geparkte Fahrzeuge auch am Straßenrand abzubilden, welche fahrende Fahrzeuge zu einem Spurwechsel veranlassen, sofern die verkehrliche Situation dies erlaubt. Differenzierte Betrachtungen unterschiedlicher Parkmanöver oder Aussagen über den Parksuchverkehr sind nicht dokumentiert.

### Parksim

YOUNG (1985) stellt ein Modell vor, mit welchem das Layout von Parkplätzen beurteilt werden kann. Simuliert werden die Fahrzeiten von Fahrzeugen, die einen freien Parkstand suchen, einparken, oder von suchenden oder einparkenden Fahrzeugen behindert werden. Darauf aufbauend können die Verlustzeiten für verschiedene Layouts ermittelt und verglichen werden. Das Modell unterscheidet sich insofern von den meisten anderen Modellen, als alle simulierten Fahrzeuge entweder einen Parkstand suchen oder nach dem Ausparken den Parkplatz verlassen. Damit ist das Modell eher zur Optimierung des Layouts von Parkieranlagen geeignet, als zur Simulation des Einflusses von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf.

### Paramics

Paramics ist ein komplexes und umfangreiches Programmpaket und bietet eine Vielzahl von Modulen zur Simulation des urbanen sowie des außerörtlichen Verkehrs.

Die Simulation von Parkplätzen wird auf differenzierte Weise zur Verfügung gestellt: So kann öffentlicher und privater Parkraum am Straßenrand oder auf separaten Parkplätzen definiert werden, der von Fahrzeugen mit entsprechenden Attributen belegt werden kann. Es kann auch illegales Parken (z.B. in zweiter Reihe) dargestellt werden, wobei, ähnlich wie bei NETSIM, zwischen kurzfristigen, selten auftretenden und häufig vorkommenden, länger andauernden Störungen unterschieden wird. Je nach Situation werden parkende Fahrzeuge als eine vorübergehende Sperrung der betroffenen Kante<sup>43</sup> dargestellt oder mittels eines Moduls zur Simulation von Störungen nachgebildet. Dieses Modul ermöglicht die Definition von Unfällen, Pannen oder anderen Vor-

---

43 In Modellen werden die Verbindungen zwischen zwei Knoten auch als „Kante“ bezeichnet

kommnissen von spezieller Häufigkeit, Dauer und räumlicher Verteilung. Dabei kann die Geschwindigkeit, mit der andere Fahrzeuge die „Störstelle“ passieren, für die betroffene sowie für die Gegenrichtung bestimmt werden. Eine Unterscheidung verschiedener Arten von Parkmanövern bietet jedoch auch Paramics nicht.

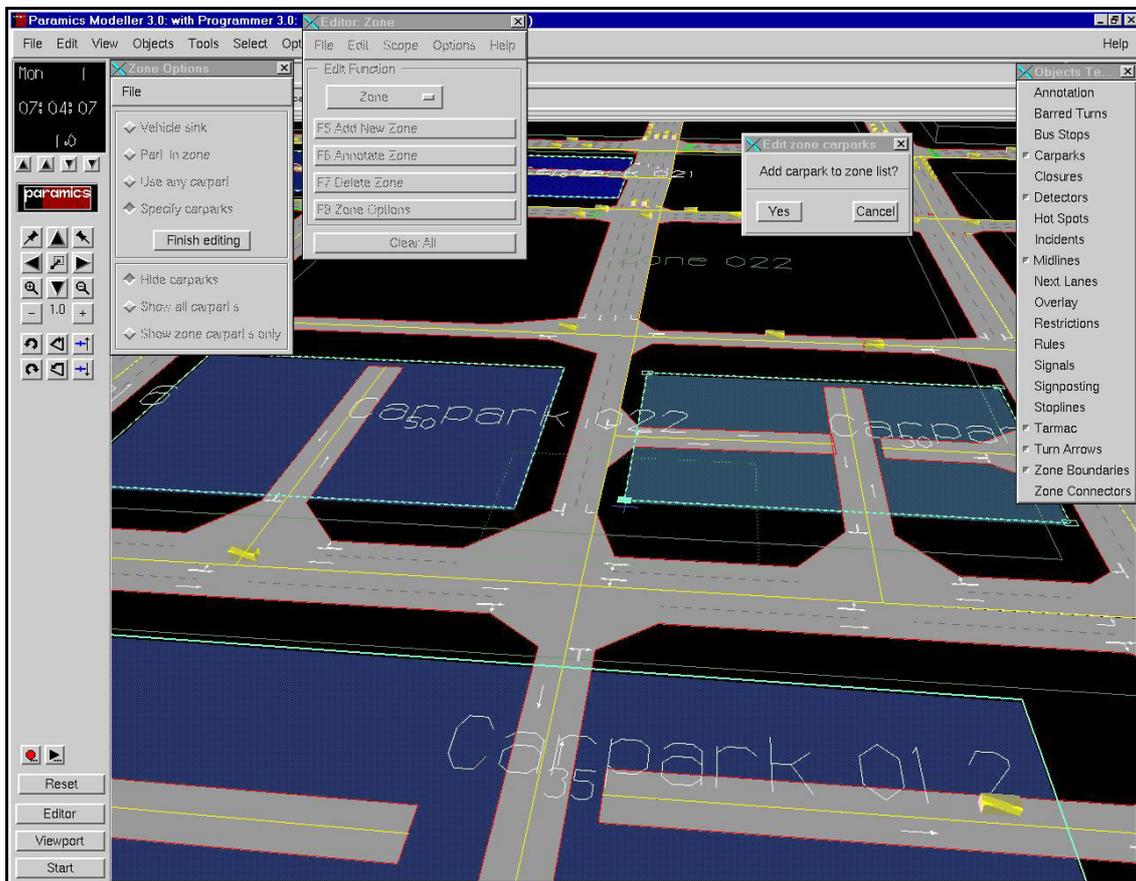


Abbildung 3-6: Screenshot von PARAMICS. Definition von Parkplätzen als Quellen und Senken

## VISSIM

Ein im deutschsprachigen Raum sehr verbreitetes Simulationsprogramm ist VISSIM von der PTV-AG. VISSIM ist eine Komponente im Gesamtpaket „Verkehr In Städten“ und auf die mikroskopische **SI**Mulation des Verkehrsablaufs spezialisiert. Weitere, von VISSIM unabhängige, aber mit Schnittstellen versehene Module sind z.B. das **Erzeugung**Modell VISEM oder das **Umlegungs**Modell VISUM.

VISSIM beruht auf dem Modell von WIEDEMANN und lässt die Definition komplexer Simulationsräume mit unterschiedlichsten Verkehrsregeln zu. VISSIM kann zwar größere Parkplätze definieren, aber auch hier werden diese als Quelle bzw. Senke interpretiert und vernachlässigen den Einfluss von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf.

### 3.5 Modellierung des Ein- und Ausparkens mit einem kommerziellen Simulationsprogramm

SAUTHER<sup>44</sup> prüfte die Möglichkeit, mit einem kommerziell verfügbaren Programm Ein- und Ausparkmanöver zu simulieren. Die eingesetzte Software sollte dafür mindestens die folgenden Eigenschaften und Möglichkeiten aufweisen:

- Es muss ein mikroskopisches Modell zugrunde liegen.
- Einzelne Parkstände oder vergleichbare Objekte, deren Eigenschaften denen von Parkständen ausreichend ähnlich sind, können definiert werden.
- Fahrzeuge im fließenden Verkehr reagieren auf ein- und ausparkende Fahrzeuge, indem sie anhalten oder Überholmanöver durchführen.
- Die simulierten Fahrzeuge können Parkmanöver auf der gegenüberliegenden Straßenseite durchführen.
- Die aufgrund von Parkmanövern entstandenen Störungen im Verkehrsablauf wie aufgetretene Wartezeiten und Interaktionen, aber auch die Anzahl der durchgeführten Parkmanöver können gemessen und in geeigneter Form ausgegeben werden.

Diese Ansprüche wurden von mehreren der im vorigen Kapitel aufgeführten Programme erfüllt, so dass grundsätzlich mehrere Systeme geeignet waren. Letztlich wurde das Programm VISSIM der PTV-AG gewählt, da dieses auch die Möglichkeit zur Definition von komplexen Situationen bietet, in denen auch nicht standardisierte Verhaltensweisen nachgebildet werden können.

Die Simulation einzelner Parkstände im Straßenraum sowie die Simulation der von ihnen ausgehenden Störungen im Verkehrsablauf ist in VISSIM von Haus aus nicht vorgesehen. Daher zielt der Ansatz von SAUTHER darauf ab, Parkstände durch Ein- und Ausfahrten mit besonderen Attributen abzubilden. In diesen Ein- und Ausfahrten wird die Geschwindigkeit der Fahrzeuge so stark reduziert, dass ein ein- oder ausbiegendes Fahrzeug den fließenden Verkehr ebenso lang behindert, wie dies bei einem Ein- oder Ausparkmanöver der Fall wäre. Durch die Definition mehrerer Ein- und Ausfahrten mit jeweils verschiedenen Geschwindigkeiten kann der unterschiedliche Zeitbedarf der Parkmanöver (Ein- und Ausparken, rechts oder links, vorwärts oder rückwärts) abgebildet werden. Eine Streuung des Zeitbedarfs von Parkmanövern, so wie sie in den Erhebungen dokumentiert wurde, kann jedoch mit diesem Verfahren nicht in dieser Form simuliert werden.

---

<sup>44</sup> Sauther, 2002

SAUTHER legt für diesen Ansatz zugrunde, dass es auf die Länge der im fließenden Verkehr entstehende Verlustzeit keinen Einfluss hat, ob (wie in der Realität)  $n$  bestimmte Parkmanöver (z.B. Einparken rechts rückwärts) auf mehrere Parkstände verteilt stattfinden oder ob diese hintereinander an einer einzelnen Stelle auftreten (wie in VISSIM mit der entsprechenden Einfahrt simuliert).

Damit werden die vier unterschiedlichen Einparkmanöver

- rückwärts Einparken auf der rechten Seite
- rückwärts Einparken entgegen der Fahrtrichtung auf der linken Seite
- vorwärts Einparken auf der rechten Seite
- vorwärts Einparken entgegen der Fahrtrichtung auf der linken Seite

durch die Definition von vier Einfahrten nachgebildet, wobei die Anzahl der einbiegenden Fahrzeuge pro Einfahrt der jeweiligen Anzahl der im betrachteten Zeitraum durchgeführten Einparkmanöver entsprechen muss. Das gleichzeitige Auftreten von mehreren Parkmanövern kann mit diesem Modell nicht nachgebildet werden.

Problematisch an diesem Ansatz ist die Modellierung der Linksparker. In der Realität werden Einparkmanöver auf der linken Seite meistens erst gar nicht eingeleitet, wenn der Gegenverkehr dies nicht zulässt. Im Modell dagegen wird ein Einparkmanöver durch einen Abbiegevorgang dargestellt, der auf jeden Fall durchgeführt wird, wenn die gewählte Route des Fahrzeugs dies vorsieht. Für nachfolgende Fahrzeuge treten im Modell dann unrealistisch hohe Wartezeiten auf, weil ein Linkseinparker unter Umständen zahlreiche Fahrzeuge des Gegenverkehrs passieren lässt.

Weiterhin führt das Abwarten des Gegenverkehrs dazu, dass der Gegenverkehr (anders als in der Realität) im Modell nicht durch Linksparker beeinflusst werden kann, da diese immer erst eine ausreichend große Lücke im Gegenverkehrsstrom abwarten. SAUTHER nähert diese Schwäche des Modells über die beiden folgenden Schritte an die Realität an:

1. Dem Linksabbieger wird zunächst Vorfahrt vor dem Gegenverkehr einräumt (vgl. folgende Abbildung 3-7. Die weißen Linien entsprechen den Haltelinien für den Gegenverkehr), wodurch nachfolgende Fahrzeuge an dem Linksabbieger vorbeifahren können, dieser jedoch unrealistisch viele Störungen im Gegenverkehr verursachen würde.
2. Darum wird für den Linksabbieger etwa auf Straßenmitte eine Querverkehrsstörung eingerichtet (schwarze Linien, der Gegenverkehr wird an diesen Stellen vom Linksabbieger berücksichtigt).

Unter diesen Bedingungen leitet ein Linksparker zunächst ein Parkmanöver ein, wartet an der Fahrbahnmitte eine ausreichend große Lücke im Gegenverkehr ab und beginnt dann den „Rangiervorgang“, bei welchem wiederum Fahrzeuge des Gegenverkehrs behindert werden können. Die auf diese Weise entstehenden Verkehrsabläufe haben durchaus einen mit Parkmanövern vergleichbaren Charakter. Das „Aufgeben“ bzw. Nicht-durchführen eines Parkmanövers auf der linken Straßenseite kann jedoch nicht abgebildet werden.

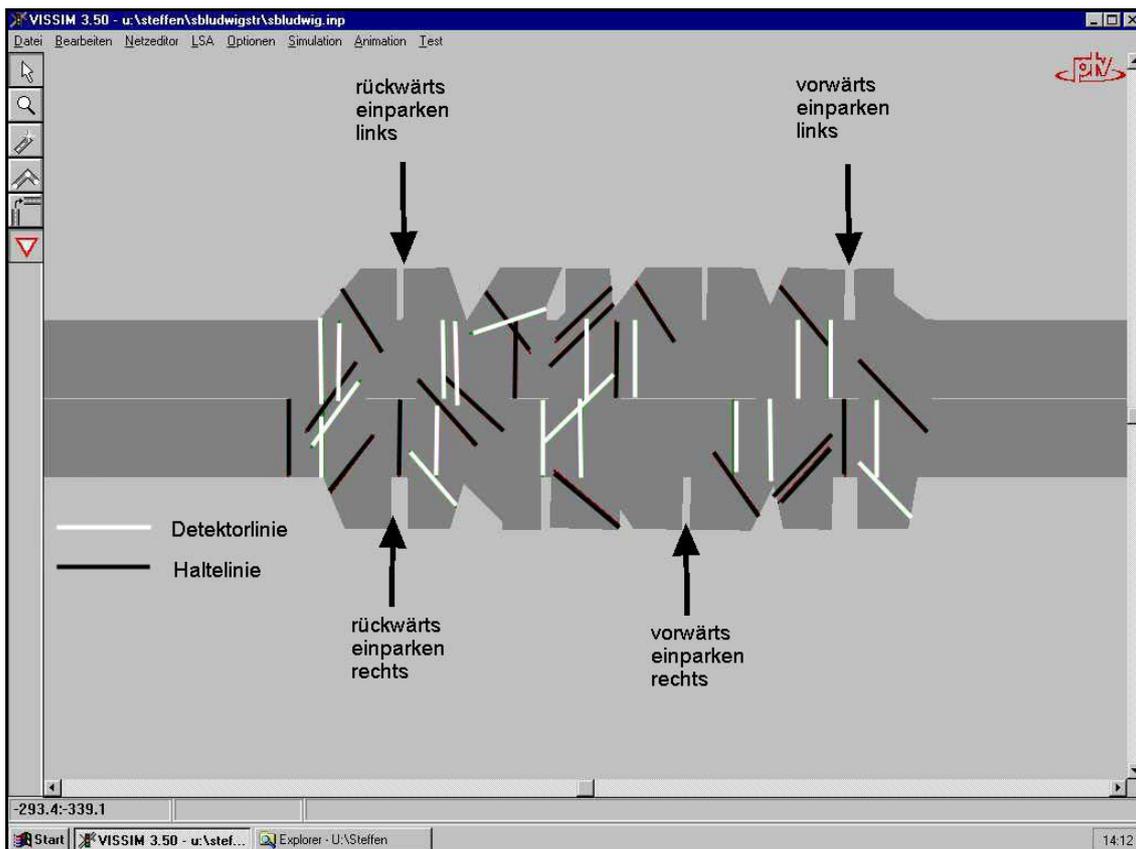


Abbildung 3-7: VISSIM: Parkstände (hier für Fahrzeuge auf der unteren Fahrspur gekennzeichnet) werden durch Ein- und Ausfahrten mit besonderen Vorfahrtsregelungen modelliert.

VISSIM erstellt während der Simulation eine Fahrzeugprotokolldatei, in welche von jedem Fahrzeug zu jedem Zeitschritt vom Benutzer vorzugebende Informationen geschrieben werden, z.B. die aktuelle Geschwindigkeit. Anhand dieser Informationen können in einem zweiten Arbeitsschritt die Anzahl der Halte sowie die aufgetretenen Verlustzeiten ermittelt werden. Eine Gegenüberstellung der mit VISSIM ermittelten Werte und der empirisch ermittelten Haltezeiten ist in nachfolgender Abbildung 3-8 wiedergegeben.

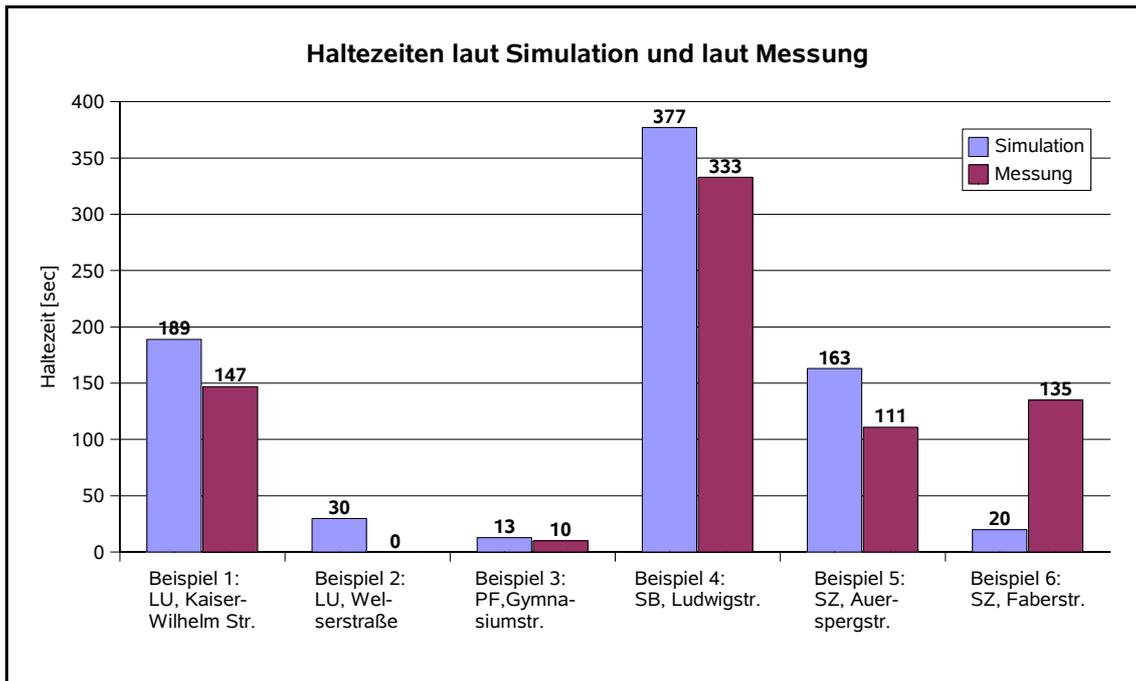


Abbildung 3-8: Tatsächliche und mit VISSIM simulierte Haltezeiten

### Fazit

Ein kommerziell verfügbares Programm wie VISSIM kann Parkmanöver (in oder entgegen der Fahrtrichtung) als solche nicht abbilden. Durch geeignete Modifikation der Vorfahrtsregeln und möglichen Fahrbeziehungen lassen sich jedoch Aus- und Einbiegevorgänge erzeugen, deren Auswirkungen auf den Verkehrsablauf denen von Parkmanövern recht ähnlich sind. Damit können Verlust- und Wartezeiten im fließenden Verkehr erzeugt werden, die in den meisten Fällen recht nah an den empirisch ermittelten Zeiten liegen.

Weiterführende Aussagen über den entstandenen Parksuchverkehr sowie über die Auslastung des Parkraums sind jedoch nicht möglich.

## 4 Entwicklung des Modells EPAVA

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Simulationsprogramm wird mit dem Akronym EPAVA (**E**influss von **P**arkmanövern auf den **V**erkehrsablauf) bezeichnet.

Als Programmiersprache wurde die objektorientierte Sprache Java verwendet. Die Auswahl einer objektorientierten Programmiersprache liegt insofern auf der Hand, als solche Programmiersprachen dazu prädestiniert sind, 'Objekte' mit grundsätzlich gleichen Eigenschaften nachzubilden, die jedoch eigenständig und in variierender Anzahl existieren und „handeln“ können.

Die Sprache Java wurde ausgewählt, da Programme, die in Java geschrieben werden, nicht unmittelbar auf ein bestimmtes Betriebssystem (wie z.B. Solaris, Windows oder Linux) zugeschnitten sind, sondern auf einer für viele Betriebssysteme verfügbaren Schnittstelle, einer so genannten 'Virtual Machine' basieren. Damit sind Java-Programme praktisch unabhängig von der Plattform einsetzbar. Dieser Vorteil geht allerdings zu Lasten der Rechengeschwindigkeit: Durch die Entkoppelung von Programm und Betriebssystem muss jede Rechenoperation zunächst an die Virtual Machine gegeben werden und wird von dort an das Betriebssystem weitergegeben. Den umgekehrten Weg gehen Rückmeldungen und Ergebnisse vom Betriebssystem an das Programm. In Anbetracht der Geschwindigkeit aktueller Personalcomputer fällt dieser Nachteil gegenüber anderen, schnellen Programmiersprachen wie z.B. C++ jedoch im Rahmen dieser Anwendung nicht mehr besonders ins Gewicht.

### 4.1 Komponenten des Modells

Im wesentlichen besteht das Modell aus vier sich gegenseitig beeinflussenden Komponenten, deren Funktionalität im folgenden vorgestellt wird.

#### 4.1.1 Objekt „Fahrzeug“

Das Objekt „Fahrzeug“ ist eine der wichtigsten Komponenten im Modell, da hier der Hauptteil der „Intelligenz“ des Modells implementiert ist. So variiert das Verhalten der einzelnen Fahrzeuge entsprechend stochastischer Vorgaben z.B. bzgl. der angestrebten Geschwindigkeit oder ob ein freier Parkstand gesucht wird. Die wichtigsten Eigenschaften des Fahrzeugs sind im folgenden aufgeführt:

### Fähigkeiten / Aktionen:

- *Fortbewegen:*

Das Fahren auf der Straße erfolgt mit einer zunächst konstanten Geschwindigkeit, die sich von Fahrzeug zu Fahrzeug unterscheiden kann (Streuung der Geschwindigkeiten um die zulässige Höchstgeschwindigkeit kann vom Benutzer angegeben werden).

- *Geschwindigkeit anpassen:*

Vorausfahrende Fahrzeuge bemerken und die eigene Geschwindigkeit an die der vorausfahrenden Fahrzeuge anpassen, sofern diese langsamer fahren; ggf. anhalten.

- *Überholen:*

Falls es der Gegenverkehr zulässt, kann ein rangierendes oder stehendes Fahrzeug überholt werden. Ob eine (theoretisch) bestehende Überholmöglichkeit wahrgenommen wird, wird per Zufallszahl geregelt.

- *Parkstände suchen:*

Freie Parkstände am Fahrbahnrand, auch auf der gegenüberliegenden Seite, werden erkannt, ggf. wird verzögert um einzuparken.

- *Einparken:*

Die Einparkmanöver werden nach den Kriterien „vorwärts“, „rückwärts“, „rechts“ oder „links“ unterschieden. Die Zeit, während der das Fahrzeug andere Verkehrsteilnehmer beeinflussen kann, wird entsprechend der empirisch ermittelten Häufigkeitsverteilung für das entsprechende Parkmanöver zugewiesen.

Ein Parkmanöver entgegen der Fahrtrichtung wird nur dann durchgeführt, wenn kein Kollisionskurs mit dem Gegenverkehr besteht. Dies schließt nicht aus, dass (noch auftretender) Gegenverkehr behindert wird, wenn das Parkmanöver einen längeren Zeitbedarf aufweist.

- *Ausparken:*

Ein Ausparkmanöver wird durchgeführt, wenn eine „zunächst“ ausreichend große Lücke im fließenden Verkehr vorhanden ist. Bei lang andauernden Ausparkmanövern schließt dies nicht aus, dass andere Fahrzeuge durch das Manöver trotzdem behindert werden.

Attribute:

Neben den beschriebenen möglichen Aktionen werden basierend auf den Benutzereingaben Attribute mit dem Wert „wahr“ oder „falsch“ zugewiesen, welche das Verhalten des Fahrzeugs bestimmen. Diese sind:

- *Parkplatzsuchend:*  
Das Attribut „parkplatzsuchend“ legt fest, ob ein Fahrzeug ausschließlich zum fließenden Verkehr zählt, oder ob es nach einem freien Parkstand sucht.
- *Linksparker:*  
Gibt an, ob das Fahrzeug auch einen Parkstand auf der gegenüberliegenden Straßenseite akzeptieren oder sogar einem Parkstand auf der rechten Seite vorziehen würde, sofern der Gegenverkehr dies zulässt.

#### 4.1.2 Objekt „Straße“

Die Straße wird in zwei lineare Simulationsräume (Felder) aufgeteilt, wobei für jede Spur ein Feld verwendet wird. Jedes Feld wird in eine Vielzahl (quasi-mikroskopischer) Zellen<sup>45</sup> aufgeteilt, welche jeweils Informationen über den aktuellen Belegungszustand der Fahrspur bereitstellen. Die Fahrbahn dient einerseits als Koordinatensystem für die räumliche Positionierung der Fahrzeuge sowie als Schnittstelle für die Abstimmung der Fahrzeuge untereinander.

Ist der Belegungszustand der nächsten Zelle = „frei“, so kann das Fahrzeug seine Fahrt mit Wunschgeschwindigkeit in die nächste Zelle fortsetzen. Im Belegungsfall dagegen können Informationen über das belegende Fahrzeug abgefragt werden wie z.B. dessen Geschwindigkeit.

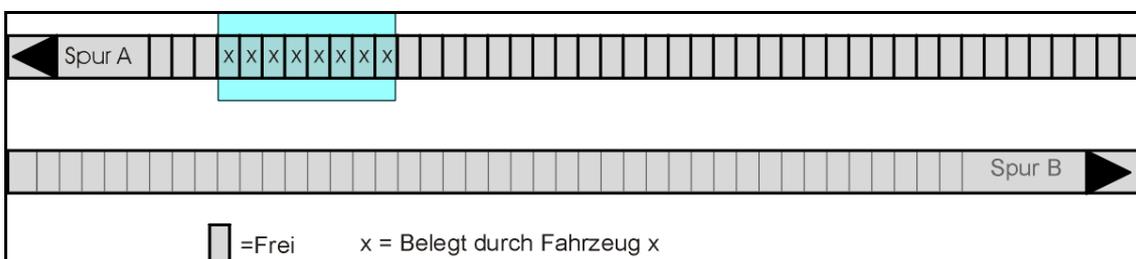


Abbildung 4-1: Objekt "Straße". Einige Zellen sind von Fahrzeug belegt.

<sup>45</sup> Programmieretechnisch hängt die von einer Zelle dargestellte räumliche Ausdehnung von der Bildschirmauflösung des Computers sowie von der darzustellenden Länge des Simulationsraumes ab. Bei einer Bildschirmauflösung von 1280 Pixeln (horizontal) und einem Simulationsraum von 57,5 m (entspricht 10 Parkständen á 5,75 m) wird mit einer Zelle eine Strecke von 4,5 cm dargestellt.

### 4.1.3 Objekt „Parkstand“

Die innerhalb der Parkstände stattfindenden Fahrzeugbewegungen sind für die Simulation unerheblich, so dass eine differenzierte räumliche Darstellung, wie sie bei der Straße vorgenommen wird, nicht notwendig ist.

Parkstände werden durch Objekte abgebildet, die teilweise die Eigenschaften der Fahrzeuge besitzen (z.B. die grafische Darstellung belegter Parkstände), deren wichtigstes Attribut jedoch der Belegungszustand „frei“ oder „belegt“ darstellt. Insgesamt haben Parkstände folgende wichtige Attribute:

- Belegungszustand „frei“ oder „belegt“
- kleinste x-Koordinate des Parkstandes
- größte x-Koordinate des Parkstandes
- eindeutige Identifikationsnummer

Die Kommunikation zwischen fahrenden Fahrzeugen und den Parkständen erfolgt über einen Zwischenschritt, in dem zu jeder Position auf der Straße die Nummer der auf selber Höhe befindlichen Parkstände (rechts und links) ermittelt wird und damit den Zugriff auf Belegungszustand und andere Attribute ermöglicht.

### 4.1.4 Generator

Der Generator erzeugt unter Berücksichtigung der Benutzereingaben zufallsgesteuert neue Objekte des Typs Fahrzeug. Diesen werden bei der Erzeugung individuelle Eigenschaften zugewiesen wie z.B.

- Wunschgeschwindigkeit =  $V_{\max}$  +/- Abweichung  
(Diese Abweichung kann vom Benutzer im Eingabefenster zur Modifikation der Parameter vorgegeben werden),
- Bestehen eines Parkwunsches (ja / nein),
- Akzeptanz von Parkständen auf der linken Seite (ja / nein)
- Bevorzugung von Parkständen auf der linken Straßenseite
- „Vorsichtskonstante“ (0 ~ 1) welche das Sicherheitsbedürfnis des Fahrers widerspiegelt und sich z.B. auf die Akzeptanz einer Zeitlücke auswirkt.

## 4.2 Zusammenspiel der Komponenten

### 4.2.1 Grundsätzliche Entscheidungen

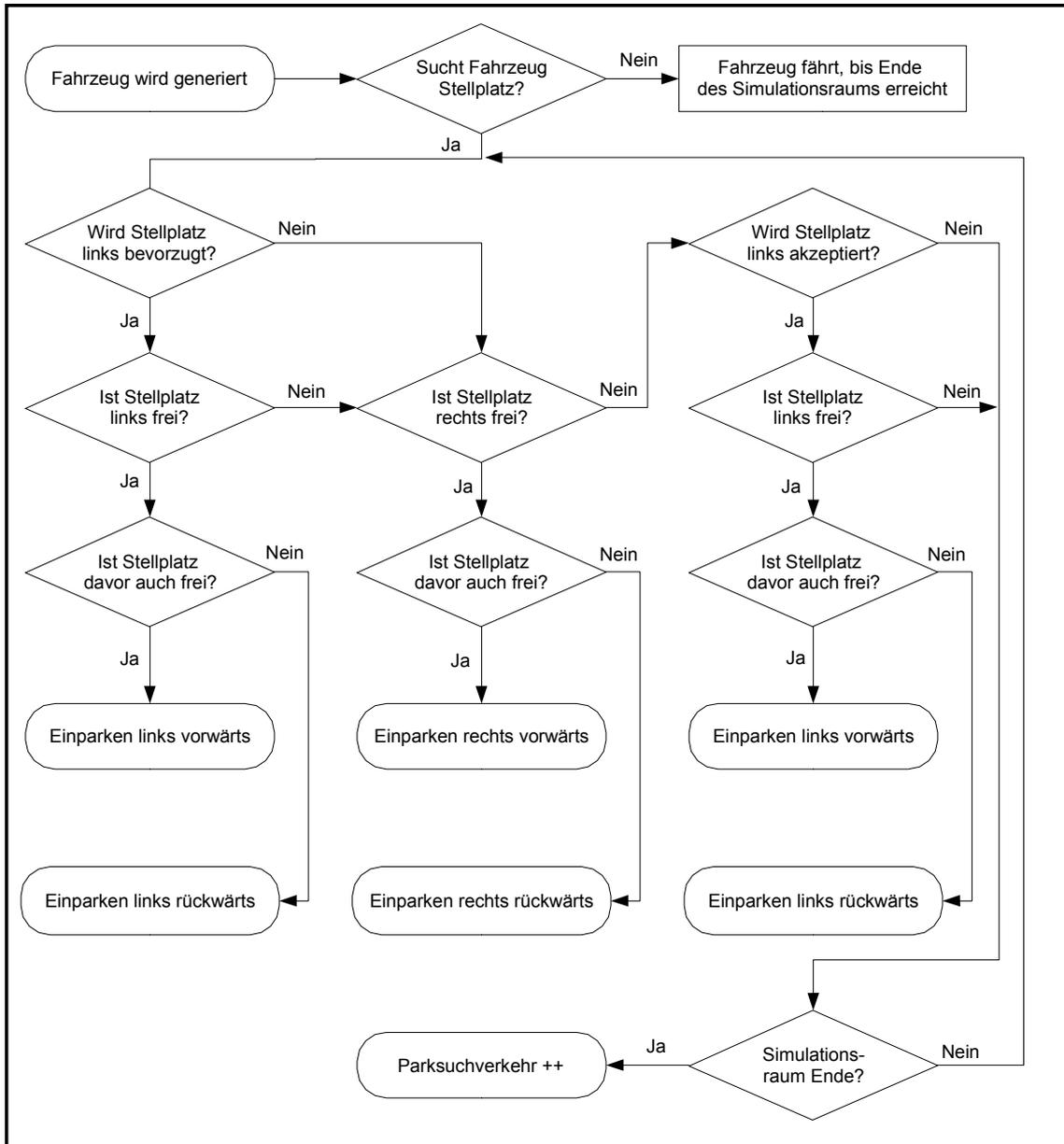


Abbildung 4-2: Flussdiagramm zur Suche und Akzeptanz von Parkständen. Die Signatur „++“ ist an die Ausdrucksweise moderner Programmiersprachen angelehnt und bedeutet „Erhöhung um eins“

Die vorgestellten Komponenten von EPAVA kommunizieren miteinander über geeignete Schnittstellen, so dass die Entscheidung für oder gegen die Durchführung einer Aktion in Abhängigkeit des Umfeldes getroffen werden kann. Folgende Abbildung zeigt die Entscheidungsstruktur von Fahrzeugen zur Wahl und Akzeptanz eines Parkstandes. Es wird dabei angenommen, dass die ggf. vorhandene Präferenz eines Verkehrsteilnehmers, vorwärts einzuparken, die Seitenwahl nicht beeinflusst.

### 4.2.2 Fahrzeugfolge

Der Fahrzeugfolgeabstand  $BX$  wird nach dem Ansatz von WIEDEMANN

$$BX = AX + (k_1 + k_2 \cdot ZF) \cdot \sqrt{v}$$

modelliert, wobei  $k_1$  und  $k_2$  Konstanten sind, die vom Benutzer im Eingabefenster (vgl. Abbildung 4-7 vor dem Start der Simulation geändert werden können.  $AX$  ist der Abstand zwischen zwei stehenden Fahrzeugen und wird mit

$$AX = L_{Fz} + ZF \cdot L_{Fz}$$

angenommen. Die Zufallszahl  $ZF$  repräsentiert dabei das Sicherheitsbedürfnis des jeweiligen Fahrzeugs und wird bei dessen Generierung zugewiesen.

In jedem Zeitintervall fragt jedes Fahrzeug über die Distanz  $BX$  (gemessen ab der eigenen Fahrzeugfront) den Belegungszustand der Straße ab. Im Belegungsfall wird die eigene Geschwindigkeit an vorausfahrende Fahrzeuge angepasst, wenn diese langsamer fahren.

### 4.2.3 Überholmanöver

Überholmanöver werden nur dann in Betracht gezogen, wenn

- die Geschwindigkeit des „störenden“ Fahrzeugs = 0 ist,
- es sich um ein einparkendes Fahrzeug handelt, das heißt, dass immer nur die unmittelbar hinter einem ein- oder ausparkenden Fahrzeug befindlichen Fahrzeuge dieses überholen.

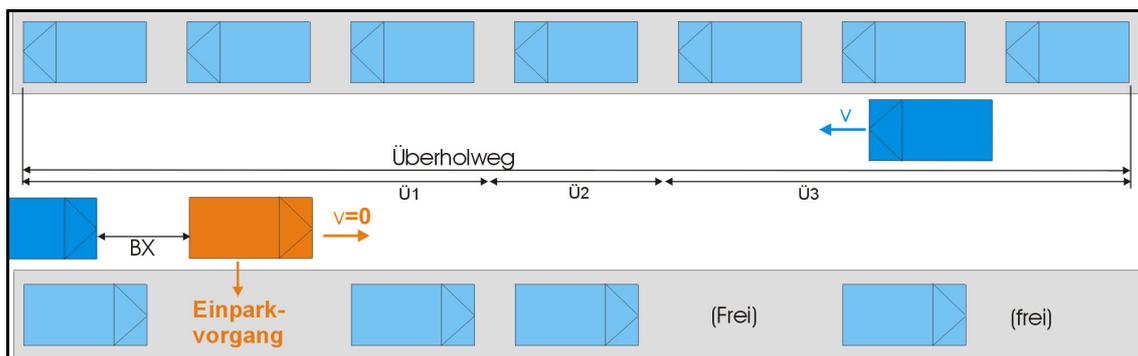


Abbildung 4-3: Prüfen der Gegenfahrbahn vor Einleitung eines Überholmanövers

Durch diese Verknüpfung von Bedingungen wird erreicht, dass immer nur das erste Fahrzeug hinter dem einparkenden Fahrzeug ein Überholmanöver durchführt, so dass sich ein Rückstau von vorne nach hinten abbaut.

Für die Durchführung eines Überholmanövers wird zunächst der Belegungszustand der gegenüberliegenden Fahrspur über die Distanz  $\ddot{U}_{ges}$  abgefragt. Ein Überholvorgang wird nur dann eingeleitet, wenn sich auf dieser Distanz keine entgegenkommenden Fahrzeuge befinden. Der Überholweg ergibt sich zu:

$$\ddot{U}_{ges} = \ddot{U}_1 + \ddot{U}_2 + \ddot{U}_3 \quad \text{wobei}$$

$$\ddot{U}_1 = 3 \cdot L_{Fz}$$

$\ddot{U}_1$  ist die Strecke, über welche sich das überholende nachfolgende Fahrzeug auf der Gegenfahrbahn bewegt.

$$\ddot{U}_2 = L_{Fz} + ZF_1 \cdot L_{Fz}$$

$\ddot{U}_2$  ist der Sicherheitsabstand, den ein Fahrer am Ende der Strecke  $\ddot{U}_1$  zu entgegenkommenden Fahrzeugen halten möchte. Die Zufallszahl wird bei der Generierung des Fahrzeugs erzeugt und repräsentiert dessen Sicherheitsbedürfnis.

$$\ddot{U}_3 = \frac{\dot{U}_1}{V_{\ddot{U}berhol}} \cdot V_{max}$$

$\ddot{U}_3$  ist die Strecke, die von einem mit maximaler Geschwindigkeit fahrenden entgegenkommenden Fahrzeug während des Überholmanövers zurückgelegt wird. Beide Geschwindigkeiten werden vor Beginn der Simulation vom Benutzer angegeben.

Folgendes Flussdiagramm stellt die Entscheidungsstruktur für die Anpassung der Geschwindigkeit und für das Einleiten eines Überholmanövers dar:

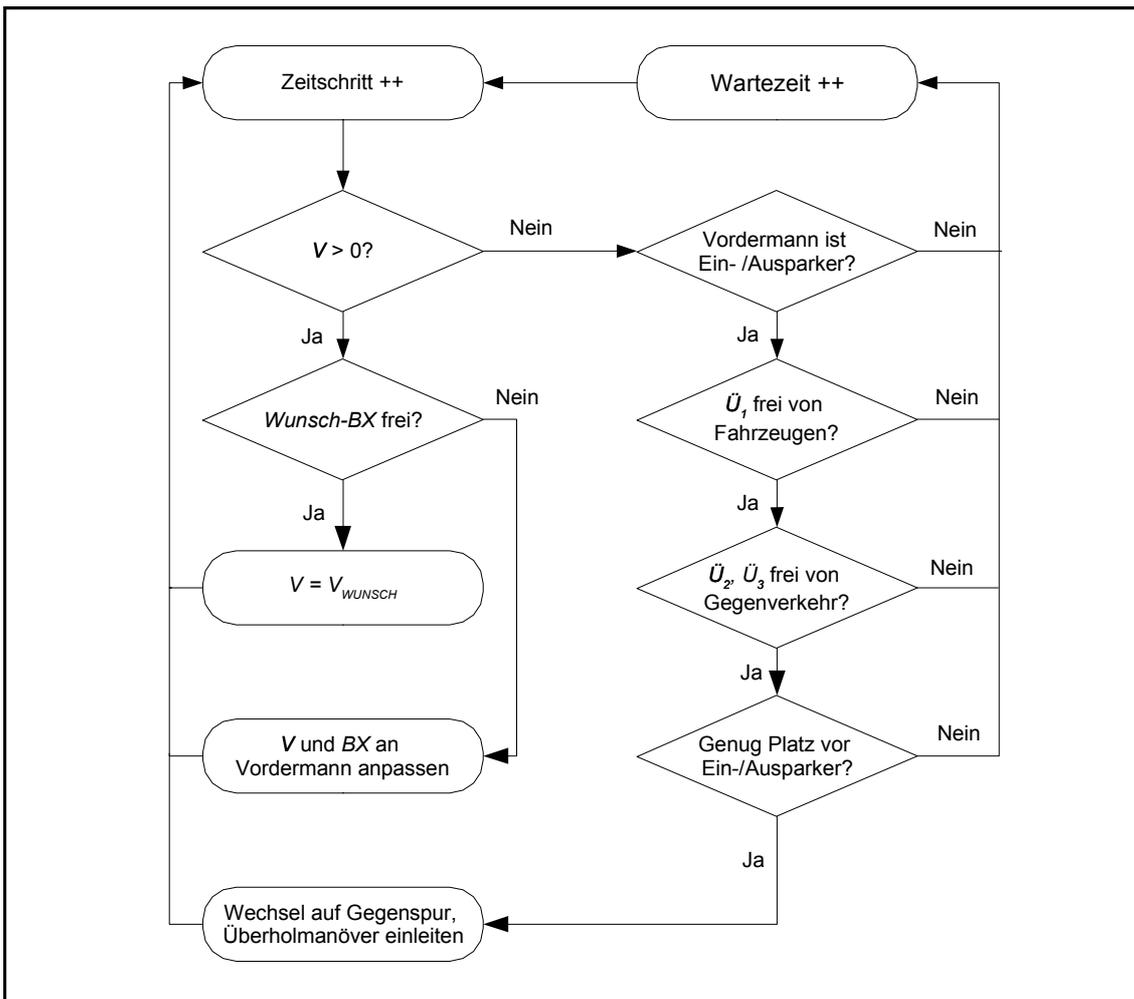


Abbildung 4-4: Flussdiagramm zum Fahren, Überholen und Entstehen von Wartezeiten im fließenden Verkehr

### 4.3 Modellierung des Zeitbedarfs von Parkmanövern

Eine der wichtigsten Datengrundlagen zur Modellierung von Parkmanövern ist die Kenntnis über deren Zeitbedarf. Im folgenden wird beschrieben, wie der Zeitbedarf für die verschiedenen Parkmanöver modelliert wird und inwiefern die empirisch ermittelten Werte für den Einsatz im Modell angepasst werden.

Für die Modellierung des Zeitbedarfs ist die differenzierte Betrachtung der Teilmanöver von Parkmanövern (vgl. Kapitel 2.3.1) von Bedeutung, da eine Störung im Verkehrsablauf nicht durch alle Teilmanöver (vgl. Abbildung 2-2 bis Abbildung 2-5) verursacht werden kann. So ist es z.B. bei einem Ausparkmanöver offensichtlich, dass zwischen dem Schließen der Tür nach dem Einsteigen und der ersten Fahrzeugbewegung des

Rangiervorgangs der fließende Verkehr nicht behindert werden kann. Für die Modellierung von Parkmanövern werden daher nur diejenigen Teilmanöver berücksichtigt, in denen das ein- oder ausparkende Fahrzeug aufgrund seiner Position oder Geschwindigkeit andere Fahrzeuge behindern kann. Dies sind die Teilvorgänge zwischen den folgenden Zeitpunkten:

|                  | von Zeitpunkt  | bis Zeitpunkt                   |
|------------------|--|---------------------------------|
| Einparken rechts | 1 (erste messbare Aktion wie Blinken, Verzögern oder Lenken) | 3 (Verlassen der Fahrbahn)      |
| Einparken links  | 1 (erste messbare Aktion)                                    | 3 (Verlassen der Gegenfahrbahn) |
| Ausparken rechts | 5 (Einfahren auf Fahrbahn)                                   | 6 (Ende Beschleunigung)         |
| Ausparken links  | 5 (Einfahren auf Gegenfahrbahn)                              | 6 (Ende Beschleunigung)         |

*Tabelle 4-1: Bei der Modellierung berücksichtigte Teilvorgänge*

#### Anpassung des Zeitbedarfs aus der Empirie an die Ansprüche des Modells

Im Modell stellt der Zeitbedarf eines Parkmanövers diejenige Zeit dar, in der ein Fahrzeug die Fahrbahn aufgrund des Rangiermanövers blockiert. Diese Zeitspanne entspricht jedoch aus folgenden Gründen nicht genau den Werten, die in der Empirie gemessen wurden:

1. Merbliche Störungen im Verkehrsablauf treten beim Einparken nicht unmittelbar ab dem Zeitpunkt 1 (erste merkbare Reaktion) ein, sondern erst ab einem späteren Zeitpunkt im Verzögerungsvorgang, wenn sich das Fahrzeug nur noch sehr langsam bewegt oder bereits im Stillstand befindet (entsprechendes gilt für den Beschleunigungsvorgang bis Zeitpunkt 5 beim Ausparken).
2. Der störende Einfluss von Parkmanövern kann sich bei ausreichender Straßenbreite zusätzlich verringern, da passierende Fahrzeuge bereits mit kleinen Ausweichbewegungen problemlos an rangierenden Fahrzeugen vorbeifahren können, evtl. sogar bei Gegenverkehr.

#### Quantitative Modellierung des Zeitbedarfs

Neben den grundsätzlichen Zeitunterschieden zwischen den unterschiedlichen Parkmanövern (Ein- und Ausparken, vorwärts und rückwärts, rechte und linke Seite, mit und ohne Interaktionen, vgl. auch Tabelle 2-6) streuen die Zeitbedarfswerte auch

innerhalb der gleichartigen Parkmanöver zum Teil erheblich. Dies ist in hohem Maße auf die fahrerischen Fähigkeiten des jeweiligen Fahrers zurückzuführen, so dass der im Modell eingesetzte Zeitbedarf nicht nur in Abhängigkeit von anderen Randbedingungen bestimmt werden kann, sondern auch „zufälligen“ Schwankungen unterworfen sein muss.

Der Ansatz für die Generierung eines solchen, den erhobenen Gesetzmäßigkeiten folgenden Zeitbedarfs, wird im folgenden anhand von Abbildung 4-5 (diese zeigt exemplarisch das Einparken rechts vorwärts) erläutert.

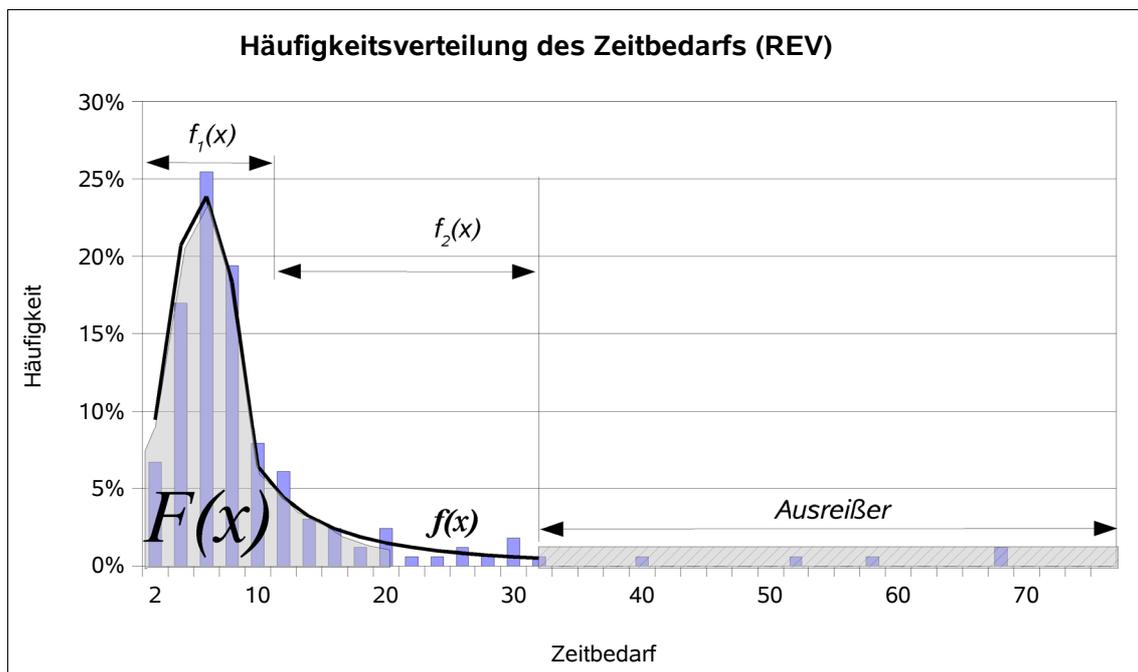


Abbildung 4-5: Häufigkeitsverteilung des Zeitbedarfs für das Rechtseinparken vorwärts und Annäherung der Verteilung durch geeignete mathematische Funktionen.

In der Abbildung sind verschiedene charakteristische Merkmale zu erkennen, die sich auch bei den anderen Parkmanövern finden (vgl. auch ausführliche Darstellung der Häufigkeitsverteilung für alle Parkmanöver im Anhang):

1. Die am häufigsten auftretenden Zeitbedarfswerte liegen im unteren Bereich, hier etwa zwischen 4 und 10 Sekunden, wobei meistens eine Spitze um den am häufigsten auftretenden Zeitbedarf (hier bei 6 – 7 Sekunden) zu erkennen ist.
2. Nach der Spitze tritt bis zu einem bestimmten Grenzwert (hier 32 Sekunden) fast jeder Zeitbedarf mindestens einmal auf. Die Häufigkeitsverteilung hat qualitativ einen ähnlichen Verlauf wie eine Poisson-Verteilung, wobei mit zunehmender Dauer die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Zeitbedarfs abnimmt.

3. Oberhalb dieses Grenzwertes treten vereinzelt „Ausreißer“ auf. Im dargestellten Beispiel für das Rechtseinparken rückwärts nehmen die Ausreißer einen Anteil von etwa 3 % am Umfang der Stichprobe ein. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Zeitbedarfs innerhalb dieses Intervalls wird als gleichverteilt angenommen.

Die Zuweisung eines Zeitbedarfs entsprechend den empirisch ermittelten Werten erfolgt anhand einer vom Computer erzeugten Zufallszahl, welche einen Wert zwischen 0 und 1 annimmt. Die vom Computer generierten Zufallszahlen sind jedoch in der Regel gleichverteilt, so dass eine Anpassung an die empirisch ermittelte Verteilung erfolgen muss.

Dazu wird zunächst eine Dichtefunktion  $f(x)$  bestimmt, die den Verlauf der empirisch ermittelten Häufigkeitsverteilung für das entsprechende Parkmanöver (im obigen Beispiel das Rechtseinparken rückwärts) annähert.

Die zugehörige Wahrscheinlichkeitsfunktion ist damit

$$F(x) = \int f(x)$$

mit  $F(x) \in [0..1]$  und  $F(x_{max}) = 1$

und ermöglicht die Zuordnung eines Zeitbedarfs (dessen Wahrscheinlichkeit der empirisch ermittelten Häufigkeitsverteilung entspricht) anhand einer Zufallszahl zwischen 0 und 1 (mit gleichverteilter Wahrscheinlichkeit). Die Dichtefunktion  $f(x)$  lässt sich für die meisten der empirisch ermittelten Häufigkeitsverteilungen nicht mit den üblichen statistischen Wahrscheinlichkeitsfunktionen (Normalverteilung, Poissonverteilung etc.) ausreichend genau nachbilden. Daher werden für die einzelnen Parkmanöver ggf. mehrere Funktionen verwendet, die die Verteilung entsprechend der in Abbildung 4-5 dargestellten drei Bereiche abschnittsweise annähern. Gute Ergebnisse wurden dabei mit Polygonen der Form

$$f_1(x) = a \cdot x^4 + b \cdot x^3 + c \cdot x^2 + d \cdot x + e$$

für die Annäherung der „Spitze“ im Bereich der kleineren Zeitbedarfswerte (im Beispiel bis 8 Sekunden) sowie mit Hyperbel-Funktionen der Form

$$f_2(x) = \frac{a}{x^2} + \frac{b}{x} + c$$

erzielt, wobei diese für den Bereich der abfallenden Häufigkeiten bis zum Beginn des „Ausreißer“-Bereiches eingesetzt werden (im dargestellten Beispiel also zwischen 9 und 32 Sekunden). Die Ausreißer haben in diesem Fall einen Anteil von 3% an den erhobenen Manövern insgesamt. Damit gilt:

$$F_{max}(x) = 1 - [\text{Anteil Ausreißer}] = 0,97 = \int_0^8 f_1(x) + \int_9^{32} f_2(x)$$

Bei einer Zufallszahl  $< F_{max}(x)$  wird der x-Wert zu obigem Ausdruck ermittelt. Ist die Zufallszahl größer, so wird dem simulierten Parkmanöver ein „Ausreißer-Wert“ zugewiesen. Dazu wird erneut eine Zufallszahl generiert, anhand derer linear (also entsprechend einer gleichverteilten Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Zeitbedarf innerhalb des Ausreißer-Bereichs) ein Wert zwischen dem Schwellwert und dem größten erfassten Zeitbedarf ermittelt wird.

Die vollständige Darstellung der erhobenen Zeitbedarfswerte sowie die Funktionen für die Modellierung der verschiedenen Parkmanöver ist im Anhang aufgeführt.

#### 4.4 Erscheinungsbild und Bedienung

Beim Start des Programms erscheint das Hauptfenster zur Steuerung, mit dem

- Simulationsläufe gestartet und unterbrochen werden können,
- das Modifizieren der Startwerte eingeleitet werden kann und
- das Programm beendet werden kann.



Abbildung 4-6: Hauptfenster zur Steuerung von EPAVA

Nach dem Programmstart müssen zunächst die Randbedingungen der Simulation eingegeben werden. Die Eingabewerte unterteilen sich in zwei Gruppen (Abbildung 4-7):

- Die „Basiswerte“ enthalten grundlegende Angaben über ggf. leicht zu erhebende Randbedingungen, die dem Anwender geläufig sein sollten.
- In der Gruppe der „erweiterten Parameter“ können zusätzliche Angaben gemacht werden, die jedoch weitgehende Kenntnisse über die Funktionalität von Modellen oder über das Verkehrsgeschehen vor Ort erfordern. Hier kann das Verhalten des Modells an besondere lokale Randbedingungen angepasst werden.

| Basiswerte   |  |
|--|--|
| Q [Kfz/h]:   | 100  |
| Parkstandsuchende / h:   | 354  |
| Ausparker / h:   | 250  |
| P-Auslastung [%]:  | 80   |
| Einp/h. abschätzen?  | <input checked="" type="checkbox"/> check = Ja |
| Zul. Geschw. [km/h]:   | 30   |
| Fahrspurbreite [cm]:   | 330  |
| Simulationsdauer [min]:  | 1  |
| Name Ausgabedatei:   | demo1.txt                                      |
| Erweiterte Werte   |  |
| Parkstände/Seite:  | 10   |
| Belegt oben:   | 10   |
| Belegt unten:  | 9  |
| P links akzeptiert[%]:   | 73   |
| davon links bevorz. [%]:   | 25   |
| dT [mSec]:   | 250  |
| Abw. von zul.V [%]:  | 20   |
| Länge Parkstand [cm]:  | 575  |
| Fahrzeuglänge [cm]:  | 430  |
| Fahrzeugbreite [cm]:   | 170  |
| Überholgeschw. [km/h]:   | 20   |
| Wiedemann k1/10:   | 60   |
| Wiedemann k2/10:   | 100  |
| Anzahl Durchläufe:   | 1  |
| Animation zeigen?  | <input checked="" type="checkbox"/> check = Ja |
| <input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Abbrechen"/> |  |

Abbildung 4-7: Benutzereingaben vor dem Start der Simulation

In der derzeitigen Version des Programmes werden für alle Parameter fest vorgegebene Standardwerte angeboten, von denen lediglich die Basiswerte geändert werden müssen, um eine Simulation unter solchen Randbedingungen durchzuführen, wie sie in den meisten während der Erhebungen in Deutschland dokumentierten Straßen vorgefunden wurden. Bei der Eingabe der Parameter sind verschiedene Punkte zu beachten:

### Basiswerte

#### 1. Parkstandsuchende / h:

Die Anzahl der Parkstandsuchenden Fahrzeuge pro Stunde kann je nach Randbedingungen deutlich über der Anzahl der tatsächlich pro Stunde durchgeführten Ein-

parkmanöver liegen, wenn aufgrund der Parkraumauslastung oder, beim Linksparken, aufgrund des Gegenverkehrs kein Parkstand belegt werden kann. Aus empirischen Erhebungen ist jedoch nur die Anzahl der tatsächlichen Einparkmanöver bekannt. Bei bekannter Parkraumauslastung macht EPAVA einen Vorschlag für die Anzahl der Parkstandsuchenden, dieser Wert kann aber vom Anwender manuell geändert werden.

Fahrzeuge, die einen Parkstand suchen, aber im simulierten Straßenabschnitt keinen Parkstand belegen können, werden als Parksuchverkehr gewertet.

## 2. *Geschwindigkeit:*

Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von mehr als 30 km/h wird Linksparken aus Gründen der Verkehrssicherheit als nicht vertretbar angesehen (vgl. Kapitel 3). Daher wird der Anteil der Linksparker im Falle von höheren Geschwindigkeiten automatisch auf Null gesetzt. Im obigen Beispiel wurden 73% (Anteil der Fahrer, die einen Parkstand auf der linken Seite akzeptieren) und 25% (Anteil, die einen Parkstand auf der linken Seite bevorzugen würden) vorgeschlagen.

## Erweiterte Werte:

### 1. *Parkstände pro Seite:*

Mit der Anzahl der Parkstände pro Straßenseite wird zunächst die Länge des Simulationsraumes bestimmt. Der Anwender muss darauf achten, dass die Anzahl der Parkstände und die empirisch erhobene Anzahl der Parkmanöver mit der tatsächlichen Umschlaghäufigkeit übereinstimmen.

### 2. *Belegt oben / Belegt unten:*

Hiermit wird die Auslastung des Parkraums zu Beginn der Simulation angegeben. Je eher die anfängliche Parkraumauslastung der durchschnittlichen Parkraumauslastung während der Simulation entspricht, desto kürzer ist der Einschwingvorgang am Anfang der Simulation.

### 3. *Simulationsdauer:*

Die Simulation wird nach Ablauf der Zeit automatisch angehalten und die Ergebnisse werden in die angegebene Ausgabedatei geschrieben. Ein erneuter Klick auf „Simulation starten“ startet einen weiteren Simulationslauf. Bei Eingabe einer negativen Simulationsdauer wird die Simulation so lange durchgeführt, bis sie vom Benutzer beendet wird.

### 4. *Animation anzeigen:*

Der simulierte Verkehrsablauf kann wahlweise in Echtzeit angesehen werden (Animation anzeigen „ein“) oder ohne Animation ablaufen (Animation anzeigen „aus“),

so dass nur die Berechnung durchgeführt und die Ergebnisse ausgegeben werden. Bei dieser Einstellung läuft die Simulation je nach verwendeter Hardware in wenigen Tausendstel der Echtzeit<sup>46</sup>.

Auf Wunsch kann die Simulation in animierter Form auf dem Bildschirm angezeigt werden (siehe folgende Abbildung), wobei die unterschiedliche Farbgebung der Fahrzeuge Hinweise auf deren aktuellen Zustand gibt. Es bedeuten:

- Schwarz = Fahrzeug im fließenden Verkehr, ggf. durch Parkmanöver behindert
- Rot = Fahrzeug sucht einen Parkstand
- Gelb = Fahrzeug ist am Rangieren (belegter Parkstand ist ebenfalls gelb)
- Hellblau = Ausparkendes Fahrzeug

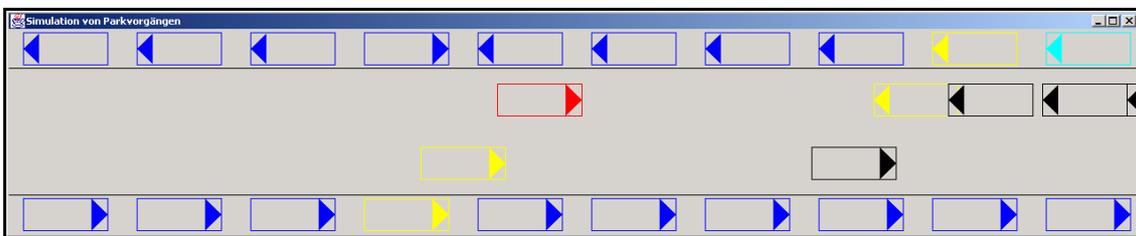


Abbildung 4-8: Animationsfenster während der Simulation

Die Ausgabedatei enthält die Parameter sowie die Ergebnisse der Simulation. Sofern die Datei noch nicht besteht, wird sie angelegt, ansonsten wird bei jedem Simulationslauf der entsprechende Datensatz an die angegebene Datei angehängt. Die Ausgabedatei wird im Textformat angelegt, wobei die einzelnen Werte durch Semikolon-Zeichen voneinander getrennt werden. Damit ist ein Import der Ergebnisse sowie deren Weiterverarbeitung in Programme für Tabellenkalkulation gewährleistet. Folgende Abbildung stellt einen Ausschnitt einer importierten Ausgabedatei in das Tabellenkalkulationsprogramm StarOffice Calc dar:

<sup>46</sup> Auf einem Standard-PC mit 1,2 Gigahertz-Prozessor und 512 MB RAM läuft die Simulation bei einem simulierten Streckenabschnitt von 10 Parkständen pro Straßenseite in etwa 9.000-facher Geschwindigkeit ab.

| GesFk        | Q      | Ausl | PSV | Pges | LPAnt | Einp | Ausp | SecE | LPSecE | AntLPE | SecA | LPSecA | AntLPA | RER  | Sec | REV  | Sec | LER | Sec | LEV | Sec | RA   | Sec | LA  | Sec |
|--------------|--------|------|-----|------|-------|------|------|------|--------|--------|------|--------|--------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Mittelwerte: | 6429,0 | 56,4 | 2,2 | 59,4 | 0,0   | 28,6 | 30,8 | 0,5  | 0,0    | 0,0    | 0,0  | 0,0    | 0,0    | 17,5 | 0,9 | 11,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 30,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 0.10         | 6338   | 38   | 0   | 58   | 0     | 26   | 32   | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 12   | 0   | 14   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 32   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6514   | 75   | 3   | 69   | 0     | 37   | 32   | 1    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 24   | 1   | 13   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 32   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6462   | 85   | 5   | 58   | 0     | 32   | 26   | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 27   | 0   | 5    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 26   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6473   | 39   | 0   | 72   | 0     | 35   | 37   | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 18   | 0   | 17   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 37   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6342   | 62   | 0   | 49   | 0     | 23   | 26   | 2    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 15   | 2   | 8    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 26   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6496   | 70   | 5   | 58   | 0     | 27   | 31   | 1    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 19   | 2   | 8    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 31   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6372   | 79   | 3   | 64   | 0     | 34   | 30   | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 27   | 2   | 7    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 30   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6451   | 49   | 0   | 70   | 0     | 32   | 38   | 1    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 15   | 1   | 17   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 38   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6434   | 72   | 2   | 62   | 0     | 30   | 32   | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 23   | 0   | 7    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 32   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6431   | 30   | 0   | 74   | 0     | 32   | 42   | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 15   | 0   | 17   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 42   | 0   | 0   | 0   |
| 0.10         | 6457   | 60   | 3   | 59   | 0     | 32   | 27   | 0    | 0      | 0      | 0    | 0      | 0      | 19   | 0   | 13   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 27   | 0   | 0   | 0   |

Abbildung 4-9: Importierte Ausgabedatei

## 4.5 Anwendungsbereich von EPAVA

Konzeptbedingt fallen in den Anwendungsbereich von EPAVA zweistreifige Straßenabschnitte mit beidseitigem Parken in Längsaufstellung. Grundsätzlich ist das Modell auch auf die Aufstellungsarten Schräg- oder Senkrechtparken anwendbar bzw. erweiterbar<sup>47</sup>, anhand der zur Verfügung stehenden Datengrundlage aus dem Forschungsprojekt „Linksparken in städtischen Straßen“ kann eine Kalibrierung des Modells (vgl. nächstes Kapitel) in dieser Arbeit ausschließlich für Längsparken vorgenommen werden.

Das Modell kann von der Funktionalität her Parkmanöver am rechten und am linken Fahrbahnrand nachbilden, unabhängig von anderen Parametern, wie z.B. der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit der simulierten Straße. Bei der Simulation von Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von über 30 km/h ist ein zentrales Ergebnis des Forschungsprojekts „Linksparken in städtischen Straßen“ zu berücksichtigen: Auch im Falle einer Novellierung der StVO, bei der eine Liberalisierung des Linksparkens vorgenommen wird, sollte aus Sicherheitsgründen das Linksparken in Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von über 30 km/h auf keinen Fall zugelassen werden (vgl. auch Abbildung 2-7 auf Seite 30). Aufgrund dieser Erkenntnis ist EPAVA zwar grundsätzlich für die Simulation von Parkmanövern in Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h anwendbar, Parkmanöver auf der linken Straßenseite werden jedoch nur in Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit bis zu 30 km/h simuliert.

<sup>47</sup> Hierbei müsste berücksichtigt werden, dass beim Schräg- und Senkrechtparken in der Realität häufig auch die Gegenfahrbahn mitbenutzt wird, so dass auch bei Parkmanövern von/nach rechts diese kurzzeitig als blockiert gekennzeichnet werden müsste. Wie häufig und wie lange dies der Fall ist und welche Parameter (z.B. die Fahrbahnbreite) dies beeinflussen, kann anhand der verfügbaren Datengrundlage nicht abgebildet werden.

### Sehr schmale Straßen

Konzeptbedingt kann EPAVA bestimmte räumliche Situationen nicht abbilden. Eine davon ist das Verkehrsgeschehen in sehr schmalen Straßen (z.B. Pforzheim, Gymnasiumstraße, vgl. Anhang). Dort sind in der Realität weder Begegnungsfälle noch Überholvorgänge möglich, was, die Funktionsweise des Modells zugrunde gelegt, zu sehr hohen Wartezeiten führen müsste. Tatsächlich treten in der Realität jedoch eher weniger Wartezeiten auf, da Fahrzeuge des fließenden Verkehrs rangierende Fahrzeuge meistens relativ früh erkennen können und die Annäherungsgeschwindigkeit entsprechend früh reduzieren. Im Modell fahren die Fahrzeuge dagegen mit Wunschgeschwindigkeit an das rangierende Fahrzeug heran, bis der Fahrzeugfolgeabstand  $BX_{Wunsch}$  nach WIEDEMANN erreicht ist (siehe folgende Abbildung). Nach dem Verzögern (bis zum Abstand  $AX$ ) stoppt das modellierte Fahrzeug und ab diesem Zeitpunkt treten Wartezeiten auf.

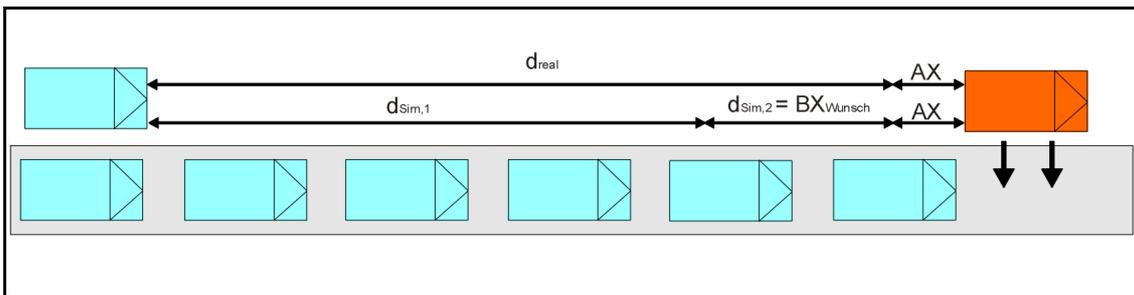


Abbildung 4-10: Unterschiedliches Reaktionsvermögen von Fahrzeugen in der Realität und in der Simulation

Um auch mit dem im Modell verwendeten Ansatz realistische Wartezeiten zu erreichen, muss in sehr schmalen Straßen die Bedingung

$$t = \frac{d_{real}}{V_{AnnäherReal}} = \frac{d_{Sim1}}{V_{Wunsch}} + \frac{d_{Sim2}}{V_{AnnäherSim}}$$

erfüllt sein. Das in der Realität praktizierte langsame Heranfahren über die Strecke  $d_{real}$  hinweg wird in der Simulation durch eine besonders langsame Annäherungsgeschwindigkeit ab der Unterschreitung des Abstandes  $BX_{Wunsch}$  zum einparkenden Fahrzeug abgebildet. Hier wird allerdings eine Schwäche des verwendeten zellulären Automaten erkennbar: Um für die vergleichsweise kurze Strecke  $d_{Sim2}$  ebenso viel Zeit zu benötigen, wie für die Distanz  $d_{real}$  müsste die Geschwindigkeit kleiner sein, als sie durch den dem Modell zugrunde liegenden zellulären Automaten dargestellt werden kann. Dieser kann eine minimale Geschwindigkeit von einer Zelle (entsprechend einem Pixel auf

dem Bildschirm) pro Zeiteinheit darstellen, was jedoch unter Umständen zu viel ist, um obige Bedingung zu erfüllen. In besonders schmalen Straßen ist es daher möglich, dass mit dem derzeit verwendeten Modell keine realistischen Werte erzielt werden können.

### Umfeld einer LSA

Im unmittelbaren Umfeld einer Lichtsignalanlage treten in der Realität verschiedene Umstände auf, die im Modell derzeit nicht abgebildet werden können. Dies sind z.B.:

- Unmittelbar hinter einer LSA treten Fahrzeuge pulkweise auf, derzeit werden die Fahrzeuge im Modell jedoch einzeln und normalverteilt generiert. Dies kann einerseits dazu führen, dass in der Realität sehr große Zeitlücken auftreten, in denen auch länger andauernde Rangiermanöver ohne Interaktionen mit dem fließenden Verkehr durchgeführt werden können. Andererseits können auch sehr hohe Wartezeiten entstehen, wenn ein ganzer Pulk von einem Rangiermanöver betroffen ist.
- Unmittelbar vor einer LSA bilden sich häufig Rückstaus. Damit ist es bereits bei einer empirischen Erhebung problematisch, die Wartezeiten stehender Fahrzeuge der Rotphase der LSA oder dem Rangiermanöver zuzuordnen.

Aus diesen Gründen ist EPAVA derzeit nicht zur Simulation von Streckenabschnitten im Umfeld einer LSA geeignet.

## **4.6 Kalibrierung**

### **4.6.1 Vergleichswerte und Stellschrauben**

Bisher wurde das Modell soweit erarbeitet, dass das Verhalten der simulierten Objekte (z.B. das Einleiten eines Überholvorgangs, wenn kein Gegenverkehr auftritt) qualitativ den realen Verhaltensweisen entspricht. Dies schließt jedoch nicht aus, dass bei bestimmten Verhaltensweisen durchaus beachtliche quantitative Unterschiede zwischen Realität und Simulation bestehen. So können Aktivitäten von Objekten zu einem anderen Zeitpunkt eingeleitet werden oder mit anderer Intensität durchgeführt werden, als dies in der Realität der Fall ist.

Im Rahmen der Kalibrierung wird das Modell durch spezifische Anpassung verschiedener Verhaltensmuster so geeicht, dass die Simulationsergebnisse den empirisch erhobenen Werten entsprechen. Die dazu herangezogenen Vergleichswerte, anhand derer

die Kalibrierung durchgeführt wird, sind:

1. Anzahl der generierten Fahrzeuge insgesamt (Verkehrsbelastung),
2. Anzahl der Parkmanöver insgesamt,
3. Linksparkeranteil,
4. Wartezeiten im fließenden Verkehr (getrennt nach Ursache durch Ein- und Ausparken sowie Links- und Rechtsparken)
5. Parkraumauslastung.

Bei der Nachbildung eines Untersuchungsbeispiels ist zu beachten, dass die dort erhobenen empirischen Vergleichswerte (z.B. die Wartezeiten im fließenden Verkehr) als Stichprobe aus einer statistisch gesehen unbegrenzten Grundgesamtheit aufzufassen sind, deren Abweichung vom tatsächlichen Mittelwert nicht bekannt ist. Im ersten Schritt der Kalibrierung wird das Modell daher für jedes Untersuchungsbeispiel so angepasst, dass die simulierten Werte mit den empirischen Werten übereinstimmen<sup>48</sup>. Aufgrund des stichprobenartigen Charakters der empirischen Vergleichswerte sind für jedes simulierte Untersuchungsbeispiel am Modell sehr unterschiedliche Anpassungen vorzunehmen. Diese werden in einem weiteren Arbeitsschritt zu einer allgemein anwendbaren Einstellung des Modells zusammengefasst.

Um spezifische Verhaltensweisen des Modells gezielt zu beeinflussen und damit die simulierten Vergleichswerte an die empirischen Werte anzupassen, stehen mehrere Stellschrauben zur Verfügung, die im folgenden näher beschrieben werden:

#### Stellschraube 1: Abstandsverhalten

Je größer der Abstand zwischen fahrenden Fahrzeugen ist, desto seltener kommt es zu Wartezeiten, wenn Fahrzeuge aufgrund eines Rangiervorgangs erst verzögern und dann anhalten müssen. Von dieser Stellschraube kann jedoch nur in geringem Maße Gebrauch gemacht werden, da die Abstände zwischen den Fahrzeugen sonst unrealistisch groß oder klein abgebildet werden.

---

<sup>48</sup> Als Vergleichswerte aus der Simulation werden die Mittelwerte von 100 Simulationsläufen verwendet.

### Stellschraube 2: Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsvorgang

Während des Verzögerungs- oder Beschleunigungsvorgangs ein- oder ausparkender Fahrzeuge können bei anderen Verkehrsteilnehmern nur dann Wartezeiten auftreten, wenn sich das rangierende Fahrzeug schon bzw. noch sehr langsam bewegt. Die Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge machen einen Anteil von etwa 10 % an dem Zeitbedarf von Ein- und Ausparkmanövern aus, wie er in Kapitel 3 ermittelt wurde. Im Modell kann daher zur Kalibrierung eine Reduzierung des generierten Zeitbedarfs<sup>49</sup> um bis zu 10% als vertretbar angesehen werden.

### Stellschraube 3: Einfluss der Straßenbreite

Zunächst wird die (im Modell implementierte) Annahme getroffen, dass nachfolgende Fahrzeuge an einem rangierenden Fahrzeug vorbeifahren, wenn dies möglich ist. Unter dieser Voraussetzung entstehen im Modell nur dann Wartezeiten, wenn die Überholmanöver nachfolgender Fahrzeuge aufgrund von Gegenverkehr nicht durchgeführt werden können. Die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen von Wartezeiten steigt daher im Modell mit zunehmender Verkehrsbelastung.

In der Realität besteht für nachfolgende Fahrzeuge jedoch mit zunehmender Breite der Fahrbahn auch bei Gegenverkehr die Möglichkeit, an einem rangierenden Fahrzeug vorbeizufahren, ohne mit diesem in Konflikt zu geraten. Folgende Abbildung zeigt die empirisch ermittelten und pro Parkmanöver verursachten Wartezeiten in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite<sup>50</sup>.

---

49 Diese Reduzierung des Zeitbedarfs wird pauschal auf alle Ein- und Ausparkmanöver angewendet.

50 In Abbildung 4-11 sind unter den Fahrbahnbreiten 10,0 m und 12,0 m Klammerwerte (6,5 und 5,7 m) dargestellt, welche die vor Ort tatsächlich markierten Fahrbahnbreiten wiedergeben. Dem fließenden Verkehr steht jedoch tatsächlich mit 10,0 bzw. 12,0 m mehr Platz als die markierte Fahrbahnbreite zur Verfügung. Daher können nachfolgende Fahrzeuge an rangierenden Fahrzeugen ohne Probleme vorbeifahren. Es handelt sich in diesen Fällen um die Aiglhofstraße (Salzburg) und um die Deutscherherrenstraße (Saarbrücken), vgl. Anhang.

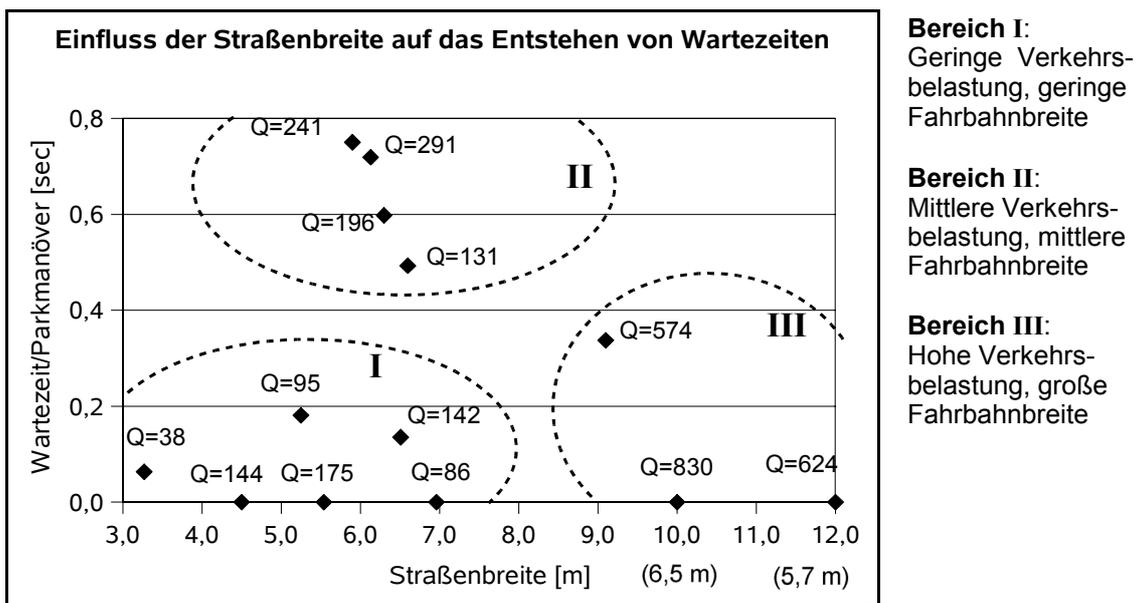


Abbildung 4-11: Durchschnittlich pro Parkmanöver verursachte Wartezeiten in Abhängigkeit der Straßenbreite

Zunächst ist in Abbildung 4-11 zu erkennen, dass die durchschnittlich pro Parkmanöver verursachten Wartezeiten sehr gering sind und dass keine deutliche Abhängigkeit zwischen Fahrbahnbreite und Wartezeiten besteht.

Unter zusätzlicher Betrachtung der Verkehrsbelastung lassen sich jedoch mehrere Bereiche unterschiedlichen Charakters erkennen:

1. **Bereich I** (Geringe Verkehrsbelastung, geringe Fahrbahnbreite):

Die Fahrbahn ist schmal, im Falle eines Parkmanövers können Fahrzeuge des fließenden Verkehrs unter Umständen sogar dann nicht an einem ein- oder ausparkenden Fahrzeug vorbeifahren, wenn kein Gegenverkehr auftritt (vgl. auch Abbildung 4-10: Sehr schmale Straßen). Die entstehenden Wartezeiten sind dennoch gering, weil bei einem Parkmanöver die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines anderen Fahrzeugs relativ gering ist.

2. **Bereich II** (Mittlere Verkehrsbelastung, mittlere Fahrbahnbreite):

Die Fahrbahn ist so breit, dass ein nachfolgendes Fahrzeug an einem ein- oder ausparkenden Fahrzeug vorbeifahren kann, sofern der Gegenverkehr dies zulässt. Dieser Ablauf entspricht dem „Normalfall“, auf dem die Verhaltensweise der im Modell simulierten Fahrzeuge beruht.

3. **Bereich III** (Hohe Verkehrsbelastung, breite Fahrbahn):

Die Fahrbahn ist so breit, dass das Passieren eines Rangiermanövers auch bei Gegenverkehr auftritt. Dieses „störungsfreie“ Vorbeifahren kann im Modell derzeit

nicht als solches simuliert werden. Die Auswirkung der größeren Fahrbahnbreite, nämlich dass die effektive Zeitspanne, in der rangierende Fahrzeuge den fließenden Verkehr beeinflussen, kürzer ist als in schmälere Straßen, wird im Modell dadurch berücksichtigt, dass der generierte Zeitbedarf von Ein- oder Ausparkmanövern in breiten Straßen ggf. entsprechend angepasst wird.

#### Stellschraube 4: Zeitbedarf von Rückwärtseinparkern

Im Modell akzeptiert ein Fahrzeug den nächstmöglichen freien Parkstand, je nach zugewiesenen Attributen auf der rechten oder auch auf der linken Straßenseite. Die Entscheidung zwischen dem Vorwärts- und Rückwärtseinparken wird aufgrund der Anzahl der hintereinander verfügbaren freien Parkstände getroffen, wobei im Falle eines einzelnen freien Parkstandes rückwärts, bei zwei oder mehr freien Parkständen vorwärts eingeparkt wird.

In der Realität wird jedoch auch auf einem einzelnen freien Parkstand vorwärts eingeparkt, sofern dieser groß genug ist, oder es wird ein einzelner freier Parkstand nicht akzeptiert, wenn in unmittelbarer Nähe eine größere Lücke verfügbar ist, in die auch vorwärts eingeparkt werden kann. Dieses Verhalten wird in EPAVA derzeit nicht abgebildet und führt dazu, dass im Modell ein höherer Anteil an Rückwärtseinparkern erzeugt wird, als dies in den Erhebungen erfasst wurde. Damit würden jedoch auch die verursachten Wartezeiten zu hoch ausfallen, da rückwärts durchgeführte Einparkmanöver mehr Zeit in Anspruch nehmen als vorwärts durchgeführte Einparkmanöver. Daher wird der Zeitbedarf der Einparkmanöver so angepasst, dass die simulierten Wartezeiten im fließenden Verkehr den jeweils erhobenen Wartezeiten entsprechen<sup>51</sup>.

#### Stellschraube 5: Akzeptanz / Bevorzugung von Parkständen links

Aus den Ergebnissen der videogestützten Erhebungen können keine Aussagen dazu abgeleitet werden, wie viele Verkehrsteilnehmer grundsätzlich Parkstände auf der linken Straßenseite akzeptieren (sofern auf der eigenen Straßenseite kein Parkstand verfügbar ist) oder sogar gegenüber einem Parkstand auf der rechten Seite bevorzugen würden, z.B. weil das Ziel der Fahrt auf der linken Straßenseite gelegen ist.

Der im Modell simulierte Linksparkeranteil hängt primär von diesen Attributen der

<sup>51</sup> Streng genommen müsste nicht der Zeitbedarf der vorwärts bzw. rückwärts durchgeführten Einparkmanöver angepasst werden, sondern deren Anteil an den Parkmanövern insgesamt. Dies würde jedoch Änderungen an der derzeitigen Entscheidungsstruktur der Fahrzeuge im Modell zwischen dem Vorwärts- oder Rückwärtseinparken sowie an der Beschaffenheit der Parkstände erfordern. In Anbetracht der nur geringen entstehenden Wartezeiten wird der vorgestellte vereinfachte Ansatz gewählt.

generierten Fahrzeuge ab, wobei der Benutzer die entsprechenden Werte vorgeben muss. Erst in zweiter Linie werden Einparkmanöver auf der linken Seite aufgrund von Gegenverkehr verhindert.

Im Rahmen der Kalibrierung werden Zusammenhänge zwischen

- dem Anteil an Fahrzeugen, die einen Parkstand links akzeptieren
- dem Anteil an Fahrzeugen, die einen Parkstand links bevorzugen
- dem Verkehrsaufkommen und
- des zu erwartenden tatsächlichen Linksparkeranteils

ermittelt. Auf Basis dieser Zusammenhänge werden dem Benutzer in den erweiterten Parametern diejenigen Vorgabewerte für „links akzeptiert“ und für „links bevorzugt“ angeboten, mit denen die unter heutigen Bedingungen zu erwartenden Linksparkeranteile erreicht werden.

#### **4.6.2 Kalibrierung 1: Parkstandsuchende und Parkraumauslastung**

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Umschlagshäufigkeit von Parkständen, der Parkraumauslastung, der Parkstandnachfrage [Parkstandsuchende / h] und der Anzahl an ausparkenden Fahrzeugen.

Bei bestehenden Untersuchungsobjekten können zwar vor Ort die Umschlagshäufigkeit von Parkständen sowie die Parkraumauslastung beobachtet werden, die Übertragung dieser Werte auf die tatsächlich vorherrschende Parkstandnachfrage ist jedoch nicht ohne weiteres möglich. Grund dafür ist, dass – insbesondere in Gebieten mit hohem Parkdruck – ein Ausparkmanöver quasi jederzeit durchgeführt werden kann, ein Einparkmanöver jedoch nur dann möglich ist, wenn auch ein freier Parkstand verfügbar ist.

Im Modell führt eine direkte Übertragung von Umschlagzahlen sowohl auf Parkstandnachfrage [Parkstandsuchende / h], als auch auf die Ausparkmanöver / h dementsprechend zu falschen Ergebnissen. Während die Anzahl der Ausparkmanöver mit den erhobenen Werten übereinstimmt, fällt die Anzahl der simulierten Einparkmanöver zu gering aus. Dies ist auf den oben genannten Umstand zurückzuführen, dass ein einen Parkstand suchendes Fahrzeug bei vollem Parkraum kein Einparkmanöver durchführen kann und als Parksuchverkehr gewertet wird. Dementsprechend ist die simulierte Anzahl der Einparkmanöver und damit auch die Auslastung des Parkraums zu niedrig. Im Rahmen der Kalibrierung wurde für jedes simulierte Untersuchungsbeispiel die Anzahl der Parkstandsuchenden so gewählt, dass die Parkraumauslastung und die

Anzahl der Einparkmanöver den empirisch ermittelten Werten entsprechen. Damit ergibt sich für jedes Untersuchungsbeispiel ein Faktor  $F_{Parker}$  mit

$$F_{Parker} = \frac{\text{simulierte Stellplatzsuchende}}{P_{beobachtet}}$$

Folgende Abbildung zeigt für die simulierten Untersuchungsbeispiele den Zusammenhang zwischen dem Faktor  $F$  und der Parkraumauslastung.

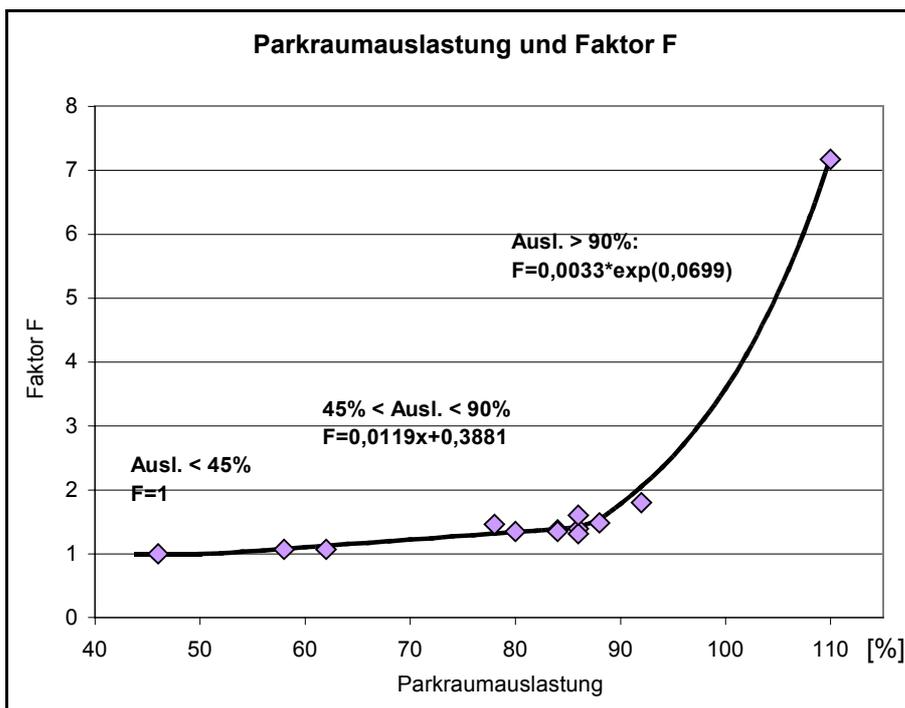


Abbildung 4-12: Parkraumauslastung und Verhältnis Parkstandsuchende/Parker

Es ist zu erkennen, dass  $F$  bei niedrigen Parkraumauslastungen etwa gleich eins ist, dass also die Anzahl der Fahrzeuge, die einen Parkstand suchen, etwa der Anzahl der tatsächlich durchgeführten Einparkmanöver entspricht. Bis etwa 90% Parkraumauslastung ist ein leichter linearer Anstieg zu erkennen, der ab 90% durch eine exponentielle Entwicklung abgelöst wird<sup>52</sup>.

Auf Basis einer vom Benutzer vorgegebenen Parkraumauslastung kann der Faktor  $F_{Parker}$  damit abschnittsweise über drei Bereiche bestimmt werden:

<sup>52</sup> Auslastungen über 100% (z.B. in zweiter Reihe oder vor Einfahrten) können in EPVA nicht dargestellt werden

| Parkraumauslastung | < 45%            | 45% - 90%                              | > 90%                                   |
|--------------------|------------------|--|---|
| Näherungsformel    | $F_{Parker} = 1$ | $F_{Parker} = 0,0119 \cdot x + 0,3881$ | $F_{Parker} = 0,0033 \cdot e^{0,0699x}$ |

Tabelle 4-2: Ermittlung von  $F$  auf Basis der Parkraumauslastung

Mit der Verfügbarkeit von  $F_{Parker}$  kann nun bei Kenntnis (oder Annahme) der tatsächlichen Anzahl der Parkmanöver die Anzahl der parkstandsuchenden Fahrzeuge mit

$$Stellplatzsuchende = Umschlaghäufigkeit \cdot F_{Parker}$$

bestimmt werden und dem Benutzer als Wert in den erweiterten Parametern vor Beginn der Simulation vorgeschlagen werden.

### 4.6.3 Kalibrierung 2: Akzeptanz / Bevorzugung von Parkständen links

Im zweiten Schritt der Kalibrierung wird das Modell so geeicht, dass die simulierten Linksparkeranteile den in der Erhebung ermittelten Anteilen entsprechen. Dazu muss der Anteil

$$P_{li,akz}$$

an parkstandsuchenden Fahrzeugen bestimmt werden, die einen Parkstand auf der linken Seite akzeptieren. Bekannt ist jedoch nur der erhobene Linksparkeranteil der einzelnen Untersuchungsbeispiele. In Kapitel 2 wurde der qualitative Zusammenhang zwischen der Verkehrsbelastung und dem Linksparkeranteil dargestellt, der an dieser Stelle quantitativ auf das Modell übertragen wird. Folgende Abbildung zeigt für die in der Kalibrierung verwendeten Untersuchungsbeispiele den Linksparkeranteil in Abhängigkeit der Verkehrsstärke sowie die exponentielle Regressionskurve:

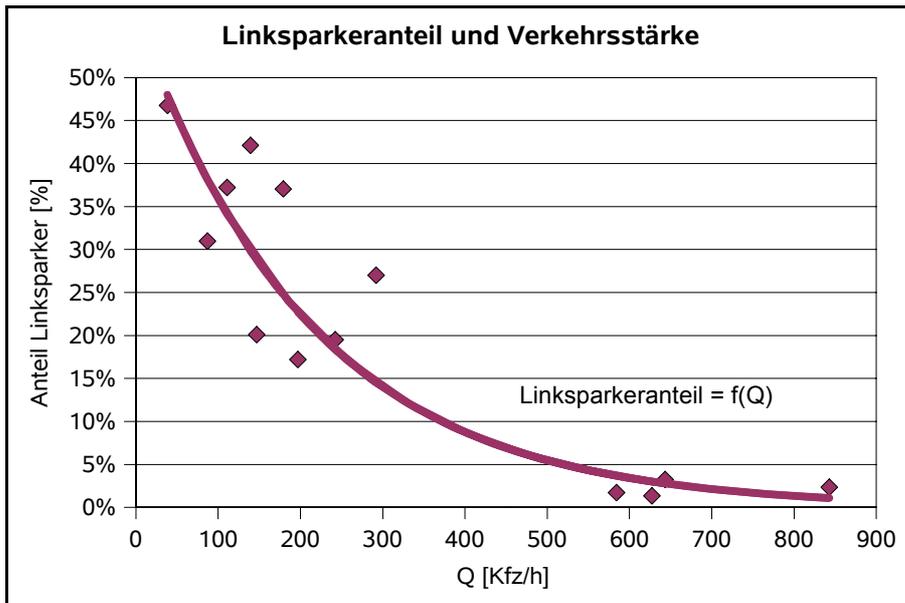


Abbildung 4-13: Linksparkeranteil als Funktion der Verkehrsstärke

Die bestmögliche Annäherung an die empirisch erhobenen Linksparkeranteile erfolgt durch die Regressionsgleichung  $f(Q) = 0,5909 \cdot e^{-0,0049 \cdot Q}$  mit der ein Bestimmtheitsgrad von 0,87 erreicht wird. Bei der Kalibrierung wurde der Anteil  $P_{li, akz}$  für jedes Untersuchungsbeispiel so bestimmt, dass in den Simulationsläufen der empirisch ermittelte Linksparkeranteil erreicht wurde. Abbildung 4-14 stellt die eingesetzten Anteile  $P_{li, akz}$  in Abhängigkeit des entsprechenden empirisch erhobenen Linksparkeranteils dar:

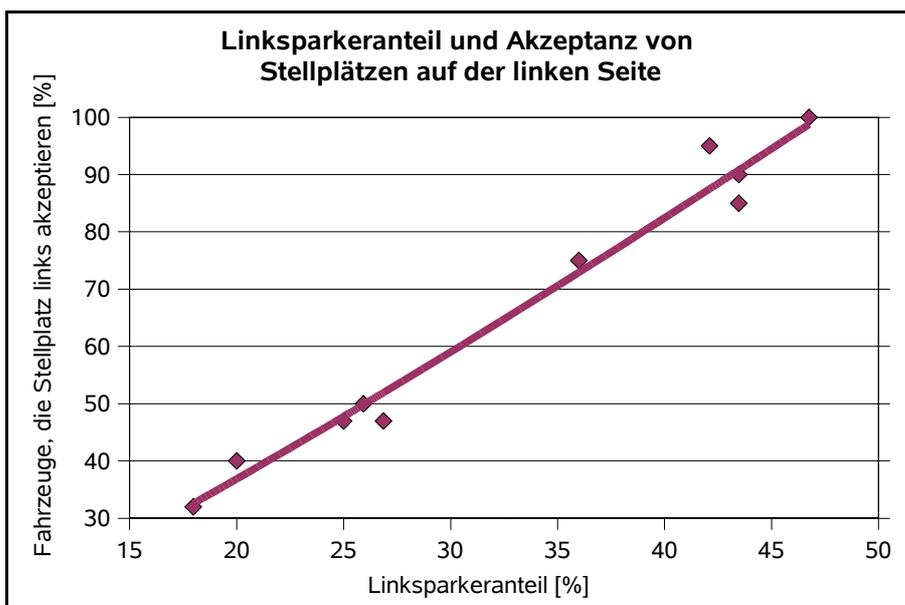


Abbildung 4-14: Linksparkeranteil und Anteil an Fahrzeugen, die einen Parkstand auf der linken Seite akzeptieren

Die abgebildete Regressionskurve lässt einen fast linearen Zusammenhang zwischen Linksparkeranteil und potenziellen Linksparkern bei einer Steigung von etwa 0,5 erkennen. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass etwa 50% der Fahrzeuge, die einen Parkstand auf der linken Seite akzeptieren würden, auch tatsächlich auf der linken Seite parken. Damit zeigt EPAVA ein realistisches Verhalten, da die Wahrscheinlichkeit, dass auf der linken Straßenseite eher ein freier Parkstand verfügbar ist als auf der rechten Seite, bei symmetrischer Parkraumauslastung bei 50% liegt. Der höchste Bestimmtheitsgrad von 0,98 lässt sich durch die in Abbildung 4-14 dargestellte Regressionsgleichung

$$P_{li,akz} = g(x) = 238,79 \cdot x^{1,1609} \quad \text{mit} \quad x = \text{Linksparkeranteil} = f(Q)$$

erreichen. Damit kann  $P_{li,akz}$  als verkettete Funktion über das Verkehrsaufkommen mit

$$P_{li,akz} = g(f(Q)) = 238,79 \cdot (0,5909 \cdot e^{-0,0049 \cdot Q})^{1,1609}$$

berechnet und als Vorgabewert in den erweiterten Parametern angeboten werden.

Der Anteil der Fahrzeuge, die einen Parkstand auf der linken Seite sogar bevorzugen würden ( $P_{li,bev}$ ), hat in EPAVA derzeit keinen großen Einfluss auf den Linksparkeranteil, da die simulierten Fahrzeuge derzeit nicht „vorausschauend“ fahren, sondern ausschließlich die Verfügbarkeit der an der aktuellen Fahrzeugposition gelegenen Parkstände rechts oder links beurteilen. Die „Bevorzugung“ eines auf der linken Straßenseite gelegenen Parkstandes gegenüber einem auf der rechten Straßenseite gelegenen Parkstand wirkt sich also nur dann aus, wenn gleichzeitig auf der rechten und linken Seite ein freier Parkstand verfügbar ist. Bei einer in den Erhebungen häufig ermittelten Parkraumauslastung von 85% ist also die Wahrscheinlichkeit für die Verfügbarkeit eines freien Parkstandes auf jeder Seite 0,15. Die Wahrscheinlichkeit, dass auf beiden Seiten *gleichzeitig* ein Parkstand frei ist, liegt bei  $(0,15)^2 = 0,0225$ , also bei 2,25%. Entsprechend gering ist der Einfluss von  $P_{li,bev}$  auf den Linksparkeranteil in der derzeitigen Version von EPAVA.

#### 4.6.4 Kalibrierung 3: Zeitbedarf von Parkmanövern

Je länger ein Parkmanöver andauert, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass andere Verkehrsteilnehmer davon betroffen sind. Daher ist der Zeitbedarf von Rangiervorgängen eine der wichtigsten Stellschrauben bei der Entstehung von Wartezeiten.

Der simulierte Zeitbedarf von Parkmanövern beruht zwar auf der Analyse der erhobe-

nen Parkmanöver (die Grundlagen, auf denen die Generierung des Zeitbedarfs für simulierte Parkmanöver beruht, wurde in Kapitel 4.3 ausführlich beschrieben), dennoch ist es erforderlich, diesen generierten Zeitbedarf ggf. zu verändern. Grund dafür sind verschiedene in der Realität auftretende Situationen oder Randbedingungen, die durchaus Einfluss auf die Entstehung von Wartezeiten haben (vgl. „Stellschrauben“ in Kapitel 4.6.1), im Modell aber als solche nicht abgebildet werden. Die Berücksichtigung dieser Einflüsse erfolgt daher in diesem Schritt der Kalibrierung in Form einer Erhöhung oder Reduzierung des generierten Zeitbedarfs der unterschiedlichen Parkmanöver.

Dazu wurde in der Kalibrierung für jedes Untersuchungsbeispiel der generierte Zeitbedarf mit einem parkmanöverspezifischen Faktor der Form

$$ZB_{Kalib} = ZB_{generiert} \cdot F_{Manöver}$$

multipliziert, wobei

$ZB_{Kalib}$  = In der Kalibrierung verwendeter Zeitbedarf, der zu „richtigen“ Wartezeiten führt

$ZB_{gen}$  = Vom Modell generierter Zeitbedarf (basierend auf empirischen Werten)

$F_{Manöver}$  = Faktor für die unterschiedlichen Parkmanöver (ein, aus, rechts, links)

In Abbildung 4-15 sind zunächst die Anzahl der simulierten und die Anzahl der erhobenen Parkmanöver dargestellt, jeweils differenziert nach vorwärts, rückwärts, links, rechts, Ein- und Ausparken. Es ist zu erkennen, dass die rechts rückwärts durchgeführten Einparkmanöver in Empirie und Simulation den größten Anteil einnehmen, wobei diese Tendenz bei den simulierten Werten teilweise deutlicher ausgeprägt ist als bei den empirisch erhobenen Werten (vgl. hierzu auch Stellschraube 4, Seite 79).

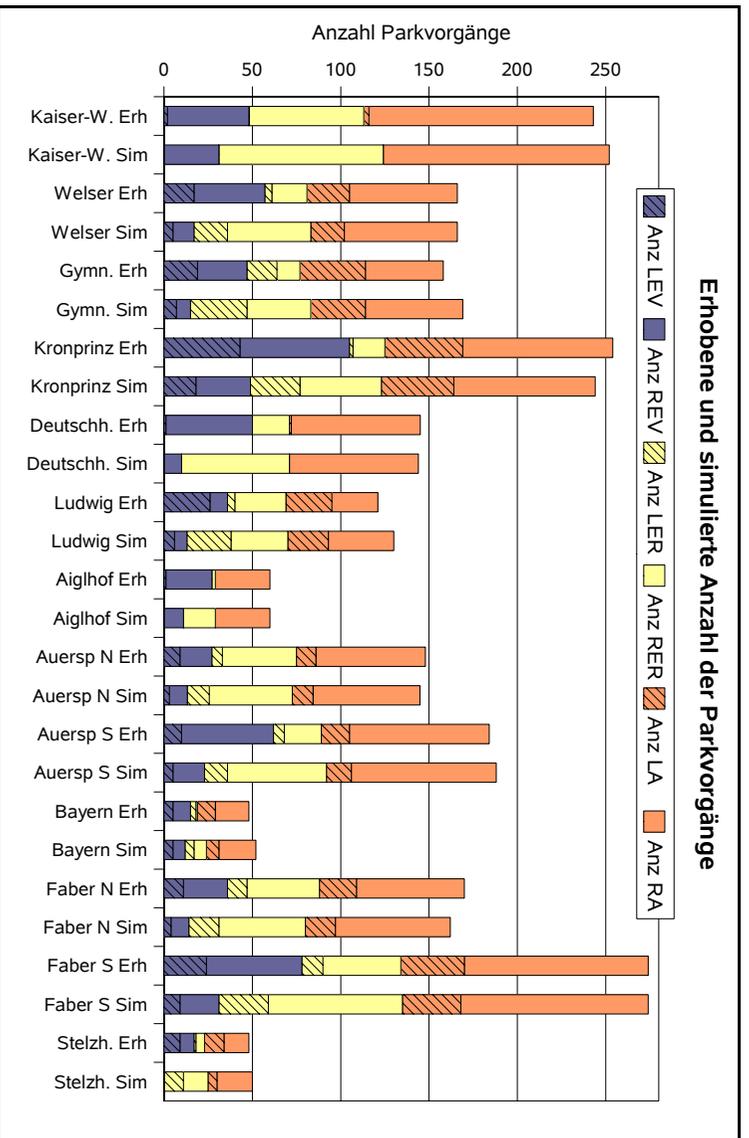


Abbildung 4-15: Erhobene und simulierte Anzahl der Parkmanöver. Es bedeuten:  
 RER = Rechts Einparken Rückwärts; LER = Links Einparken Rückwärts  
 REV = Rechts Einparken Vorwärts; LEV = Links Einparken Vorwärts  
 RA = Rechts Ausparken; LA = Links Ausparken  
 Sim. = Wert aus Simulation Erh. = Erhobener Wert aus der Empirie

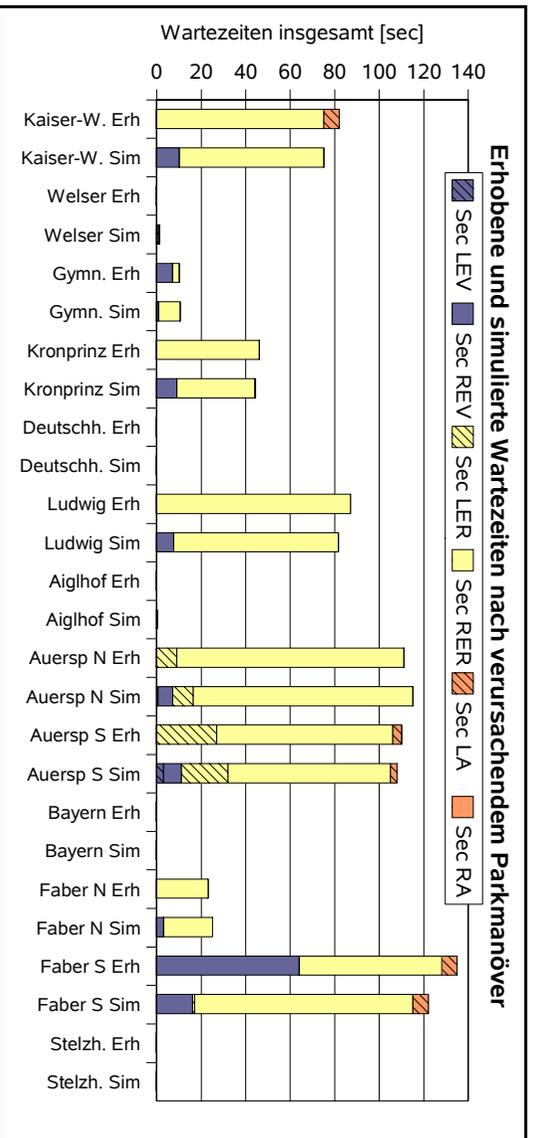


Abbildung 4-16: Erhobene und simulierte Wartezeiten im fließenden Verkehr. Abkürzungen wie in obiger Abbildung 4-15

In den in Abbildung 4-16 dargestellten Wartezeiten ist zu erkennen:

1. Der Anteil der durch rechts rückwärts durchgeführte Parkmanöver verursachten Wartezeiten ist überproportional groß. Simulation und Erhebung stimmen diesbezüglich gut überein.
2. In manchen Straßen liegen die durch Rechtseinparken vorwärts (REV) entstandenen Wartezeiten in der Simulation etwas über den Werten aus der Erhebung. Hier wird der stichprobenartige Charakter der empirischen Daten deutlich, welche mit einem Mittelwert aus 100 Simulationsläufen pro Untersuchungsbeispiel verglichen werden, in denen zumindest teilweise Wartezeiten durch diese Parkmanöver entstanden sind.
3. In der Kaiser-Wilhelm Straße wurden in der Erhebung auch Wartezeiten durch Ausparker von links dokumentiert (oberster Teil der Säule „Kaiser-W. Erh“). Aufgrund der in der Kaiser-Wilhelm Straße zugelassenen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h werden im Modell keine Linksparker simuliert<sup>53</sup>, so dass durch diese auch keine Wartezeiten simuliert werden können (Säule „Kaiser-W. Sim“).

#### Abhängigkeit der Faktoren von anderen Randbedingungen

Die beiden folgenden Abbildungen 4-17 und 4-18 zeigen die Faktoren  $F_{\text{Manöver}}$  in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite und von der Verkehrsbelastung.

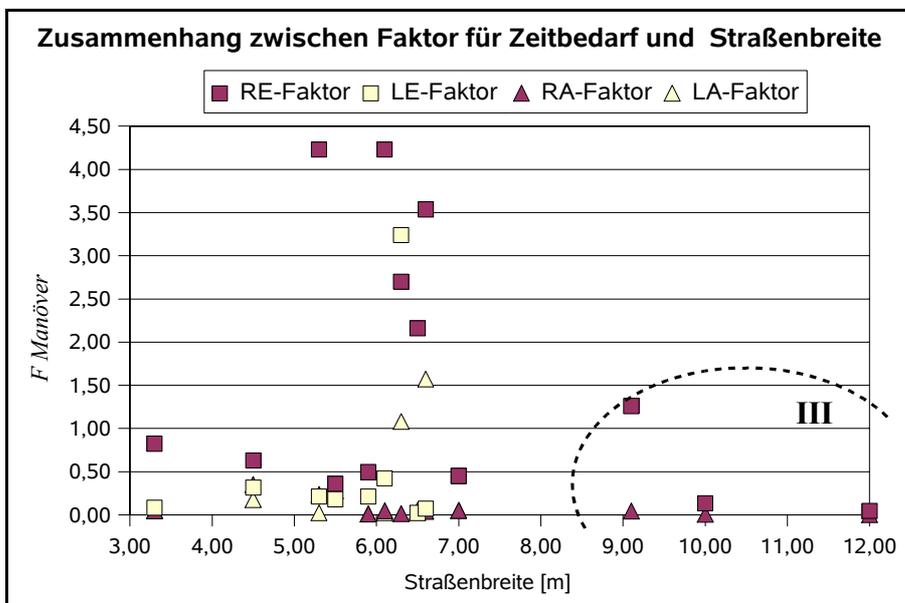


Abbildung 4-17: Faktor für Zeitbedarf in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite. Auf breiten Fahrbahnen ist der Faktor tendenziell geringer (Bereich III, vgl. Stellschraube 3 in Kapitel 4.6.1)

<sup>53</sup> Vgl. Kapitel 2.3.3, Seite 30

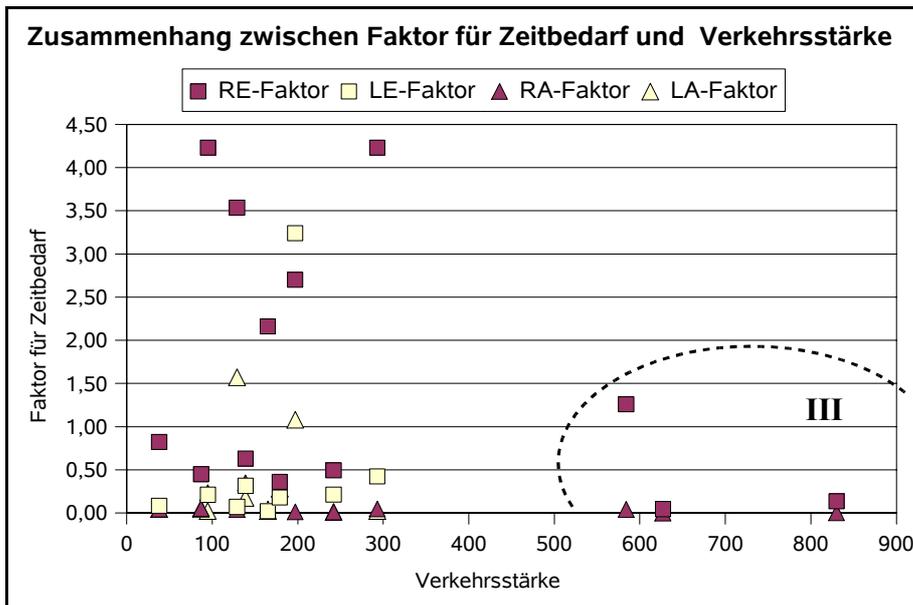


Abbildung 4-18: Faktor für Zeitbedarf gegenüber der Verkehrsstärke

Ein für alle Untersuchungsbeispiele geltender Zusammenhang zwischen dem Zeitbedarfsfaktor  $F_{manöver}$  und der Fahrbahnbreite bzw. der Verkehrsstärke ist nicht zu erkennen<sup>54</sup>, worin sich das zufällige Zustandekommen der durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten widerspiegelt. Erkennbar ist jedoch, dass auf den Beispielen mit breiten Fahrbahnen (ab neun Meter für beide Fahrbahnen) die Werte für  $F_{manöver}$  besonders niedrig liegen (Bereich „III“, vgl. auch Stellschraube 3 in Kapitel 4.6.1).

Daher wird die Anpassung des Zeitbedarfs für zwei Bereiche vorgenommen, nämlich für Fahrbahnbreiten über neun Meter und Fahrbahnbreiten unter neun Meter. Innerhalb der beiden Bereiche wird jeweils der gewichtete Mittelwert der während der Kalibrierung verwendeten Faktoren verwendet. Damit ergeben sich folgende Werte:

<sup>54</sup> In der Regressionsanalyse konnte für keine Regressionslinie ein Bestimmtheitsgrad von über 0,15 gefunden werden

| Parkmanöver | Generierter Zeitbedarf $ZB_{\text{generiert}}$<br>(Mittelwert [sec]) | $F_{\text{manöver}}$ |              | Simulierter Zeitbedarf $ZB_{\text{Kalib.}}$ (Mittelwert [sec]) |              |
|-------------|--|----------------------|--------------|--|--------------|
|             |  | Breite < 9 m         | Breite > 9 m | Breite < 9 m   | Breite > 9 m |
| RER         | 19,8   | 1,96                 | 0,48         | 38,8   | 9,5          |
| REV         | 9,6  |                      |              | 18,8   | 4,6          |
| LER         | 26,0   | 0,52                 | -- *)        | 13,5   | -- *)        |
| LEV         | 8,7  |                      |              | 4,5  |              |
| RA          | 13,3   | 0,09                 | 0,02         | 1,2  | 0,3          |
| LA          | 14,7   | 0,33                 | -- *)        | 4,9  | -- *)        |

Tabelle 4-3: Anpassung des generierten Zeitbedarfs mit Hilfe des Faktors  $F_{\text{Manöver}}$   
 \*) Auf allen nachgebildeten Straßen mit einer Breite ab 9 m war die zulässige Höchstgeschwindigkeit 50 km/h. EPAVA simuliert auf solchen Straßen keine Linksparker, daher wird für diese Straßen auch kein Faktor zur Anpassung des Zeitbedarfs von Linksparkern ermittelt.

## 4.7 Fazit der Modellentwicklung

Die Konzeption und die Kalibrierung des Modells zur Simulation des Einflusses von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf wurden in diesem Kapitel vorgestellt. Das Modell EPAVA besteht im wesentlichen aus den Objekten Straße, Fahrzeug und Parkstand, welche jeweils mit spezifischen Attributen und Funktionen versehen sind und über verschiedene Schnittstellen miteinander kommunizieren.

Der wichtigste Schritt vor der Anwendung des Simulationsprogramms ist die Kalibrierung, bei der die zur Verfügung stehenden Stellschrauben des Programms so angepasst wurden, dass die Simulationsergebnisse mit den empirisch erhobenen Vergleichswerten der Untersuchungsbeispiele übereinstimmen. Dabei wurden systematische Zusammenhänge zwischen verschiedenen Größen ermittelt, es wurden aber auch Zufälligkeiten festgestellt.

1. Es hat sich ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen der Parkraumauslastung und der Anzahl parkplatzsuchender Fahrzeuge gezeigt (vgl. Seite 81). Basierend auf diesem Zusammenhang berechnet das Modell einen Vorgabewert für die Anzahl der parkplatzsuchenden Fahrzeuge, wobei vom Benutzer die Parkraumauslastung sowie die Anzahl der Parkmanöver pro Stunde vorgegeben werden müssen.
2. In das Modell implementiert werden konnte weiterhin der Zusammenhang zwischen der Verkehrsbelastung und dem Anteil der Linksparker (vgl. Seite 84), wobei dem Benutzer ein von der Verkehrsstärke abhängiger Anteil an Fahrzeugen vorgegeben wird, welche einen Parkstand auf der linken Seite akzeptieren.

3. Eine sehr effektive Stellschraube zur Kalibrierung des Modells ist die Reduzierung bzw. Erhöhung des Zeitbedarfs von Parkmanövern (Kapitel 4.6.4), da Auswirkungen von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf natürlich um so wahrscheinlicher sind, je länger diese andauern. Die Entstehung von Wartezeiten im fließenden Verkehr ist jedoch sehr stark von situationsbedingten Zufällen geprägt, so dass die gezielte Anpassung des Zeitbedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen in den meisten Fällen nicht möglich ist.

Begrenzt ableitbar ist jedoch der Einfluss von Fahrbahnbreite und Verkehrsstärke auf das Entstehen von Wartezeiten. Die beiden Größen sind insofern voneinander abhängig, als auf breiten Straßen in der Regel auch ein hohes Verkehrsaufkommen vorherrscht. Unabhängig vom Verkehrsaufkommen jedoch werden auf breiten Straßen durch Parkmanöver tendenziell weniger Wartezeiten verursacht, als auf schmalen Straßen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass nachfolgende Fahrzeuge auf breiteren Straßen auch dann an ein- oder ausparkenden Fahrzeugen vorbeifahren können, wenn Gegenverkehr auftritt. Der Zeitbedarf von Parkmanövern wird daher zunächst aufgrund der empirisch ermittelten Häufigkeitsverteilung des Zeitbedarfs generiert (Kap. 4.3) und danach mit dem in der Kalibrierung ermittelten Faktor modifiziert (obige Tabelle 4-3), wobei in breitere und weniger breite Straßen unterschieden wird.

Damit ist das Modell in der Lage, Parkraumauslastung, Anzahl der Ein- und Ausparkmanöver sowie den Anteil der Linksparker in guter Übereinstimmung mit der Realität zu simulieren.

Abweichungen sind bei den durch Ein- und Ausparkmanöver entstehenden Wartezeiten zu erwarten, wenn diese mit stichprobenartigen Erhebungen verglichen werden, da Wartezeiten in der Realität sehr zufällig auftreten und eine hohe Schwankungsbreite ausweisen. Die von EPAVA ausgegebenen Wartezeiten sind daher als Mittelwerte über einen längeren Beobachtungszeitraum zu interpretieren.

## 5 Anwendung von EPAVA

### 5.1 Simulation zweier Straßen bei variierenden Randbedingungen

Neben der Simulation von Störungen im Verkehrsablauf aufgrund von Ein- und Ausparkmanövern werden in EPAVA zusätzliche Werte berechnet, die in der Praxis von Interesse sind, nämlich Parkraumauslastung und Parksuchverkehr. Parksuchverkehr entsteht dann, wenn in Folge hoher Parkraumnachfrage die Parkraumauslastung und damit auch die Wahrscheinlichkeit zunimmt, dass Fahrzeuge im untersuchten Streckenabschnitt keinen Parkstand finden. Im folgenden wird für zwei fiktive, unterschiedlich stark belastete Straßen über einen Zeitraum von acht Stunden der Einfluss von Ein- und Ausparkmanövern auf Wartezeiten, Parkraumauslastung und den Parksuchverkehr simuliert, wobei die folgenden Randbedingungen variiert werden:

|                                   |  |           |  |           |  |           |
|-----------------------------------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|
| <b>Auftreten von Linksparkern</b> | Keine (z.B. aufgrund besonders konsequenter Überwachung) |           | Entsprechend heutigen Erfahrungswerten |           | Alle Verkehrsteilnehmer akzeptieren Parkstände links (z.B. aufgrund geänderter Gesetzeslage) |           |
| <b>Verkehrsbelastung</b>          | 150 Kfz/h  | 600 Kfz/h | 150 Kfz/h                              | 600 Kfz/h | 150 Kfz/h  | 600 Kfz/h |

## 5.2 Simulationsergebnisse

### Anzahl der Parkmanöver und Anteil an Linksparkern

Insgesamt wurden 6 verschiedene Konstellationen (3 Linksparkeranteile x 2 Verkehrsbelastungen) simuliert, wobei mit den vorgegebenen Startwerten jeweils 160 Parkmanöver simuliert wurden, die sich in unterschiedlichem Maß auf das Rechts- und auf das Linksparken verteilen. Folgende Abbildung zeigt die simulierten Linksparkeranteile für die schwach und die stark belastete Straße:

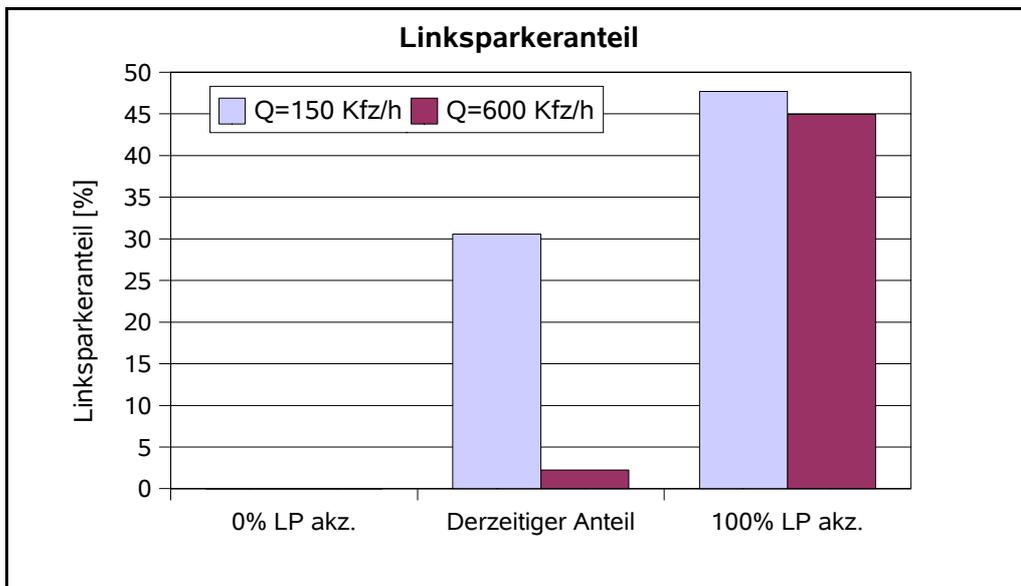


Abbildung 5-1: Simulierte Linksparkeranteile

Bei einer Akzeptanz von Parkständen auf der linken Seite von 0% ergibt sich natürlich auch ein Linksparkeranteil von 0% für beide Verkehrsbelastungen. In den anderen Fällen sind dagegen durchaus Unterschiede zwischen der stark und der schwach befahrenen Straße zu erkennen:

- *Derzeitiger Anteil (mittleres Säulenpaar in Abbildung 5-1):*  
Bei der Nachbildung der derzeitigen Erfahrungswerte zeigt sich der Einfluss der Verkehrsstärke deutlich: Die von EPAVA vorgeschlagene Akzeptanz von Parkständen auf der linken Seite ( $P_{li,akz}$ ) liegt bei 55% bzw. 4%. Der simulierte Linksparkeranteil liegt dementsprechend in der schwächer belasteten Straße mit über 30% relativ hoch, bewegt sich aber in der stark belasteten Straße mit unter 5% auf eher niedrigem Niveau.

- *Vollständige Akzeptanz des Linksparkens (rechtes Säulenpaar):*

Bei einer vollständigen Akzeptanz des Linksparkens werden sich die Linksparkeranteile mit 47% und 45% wieder ähnlicher. Der geringere Linksparkeranteil in der stark belasteten Straße ist darauf zurückzuführen, dass in der Simulation Einparkmanöver auf der linken Seite deswegen nicht durchgeführt wurden, weil die im Gegenverkehr auftretende Zeitlücke zu klein war. Der Anteil der Linksparker ließe sich hier durch Anpassen des „Sicherheitsbedürfnisses“ der simulierten Fahrzeuge noch erhöhen oder reduzieren.

### Wartezeiten

Bei den in der Simulation entstandenen Wartezeiten ist der Einfluss der unterschiedlichen Verkehrsstärken deutlich zu erkennen:

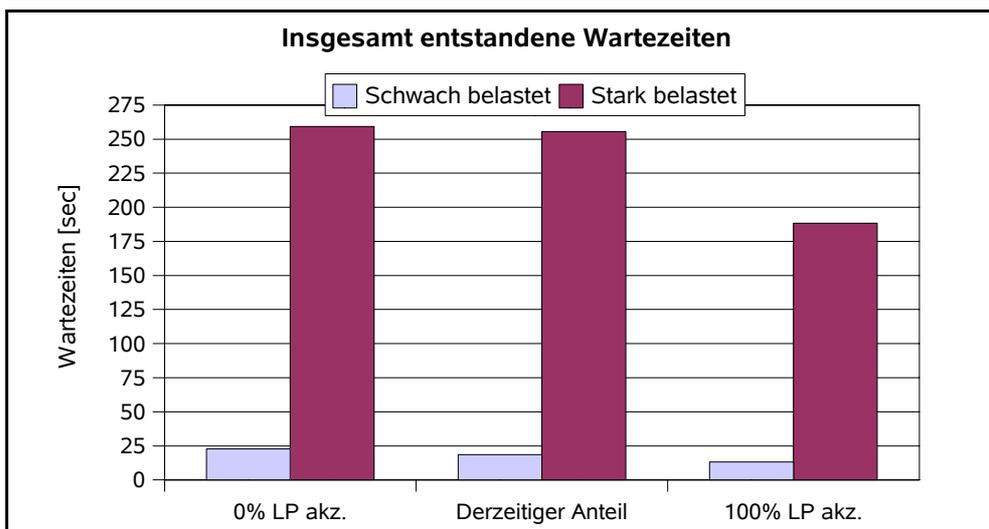


Abbildung 5-2: Insgesamt durch Parkmanöver (rechts und links) verursachte Wartezeiten

Die Belastung der stärker befahrenen Straße ist viermal so hoch wie auf der schwächer belasteten Straße, die Wartezeiten auf der stärker befahrenen Straße fallen mit z.T. dem zehnfachen Wert überproportional hoch aus. Dies lässt sich zum einen Teil dadurch begründen, dass durch das höhere Verkehrsaufkommen zwangsläufig eine höhere Anzahl von Fahrzeugen im fließenden Verkehr betroffen ist. Zum anderen Teil werden durch die höhere Verkehrsbelastung zusätzlich Überholmanöver der betroffenen Fahrzeuge verhindert, so dass zusätzlich Wartezeiten entstehen.

Bezogen auf einzelne Parkmanöver oder Fahrzeuge des fließenden Verkehrs ist jedoch zu erkennen, dass sich der Einfluss von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf

nur in geringen Wartezeiten niederschlägt. Folgende Tabelle zeigt die in Abbildung 5-2 dargestellten Wartezeiten bezogen auf die Anzahl der Parkmanöver und bezogen auf die Fahrzeuge im fließenden Verkehr:

| Wartezeiten [sec]                    | 0% Fahrzeuge akzeptieren Parkstand links | Derzeitige Akzeptanz von Parkständen links | 100% Fahrzeuge akzeptieren Parkstand links |
|--------------------------------------|--|--|--|
| <b>Pro Parkmanöver</b>               |  |  |  |
| Schwach belastet (Q=150)             | 0,142                                    | 0,115 (-19,0%)                             | 0,083 (-41,5%)                             |
| Stark belastet (Q=600)               | 1,621                                    | 1,595 (-1,6%)                              | 1,177 (-27,4%)                             |
| <b>Pro Kfz im fließenden Verkehr</b> |  |  |  |
| Schwach belastet (Q=150)             | 0,019                                    | 0,015 (-21,0%)                             | 0,011 (-42,1%)                             |
| Stark belastet (Q=600)               | 0,054                                    | 0,053 (-1,8%)                              | 0,039 (-27,7%)                             |

*Tabelle 5-1: Wartezeiten pro Parkmanöver bzw. pro Kfz im fließenden Verkehr. Klammerwerte zeigen den Unterschied gegenüber einem Verkehrsablauf ohne Linksparker an.*

#### Parkraumauslastung und Parksuchverkehr

Ein weiteres Simulationsergebnis betrifft Parkraumauslastung und Parksuchverkehr. Es ist zu erkennen, dass die Auslastung des Parkraums mit zunehmendem Linksparkeranteil ebenfalls leicht zunimmt (folgende Abbildung). Dies ist damit zu erklären, dass ein freier Parkstand zu einem früheren Zeitpunkt neu belegt wird, wenn dies auch für Fahrzeuge aus dem Gegenverkehr möglich ist.

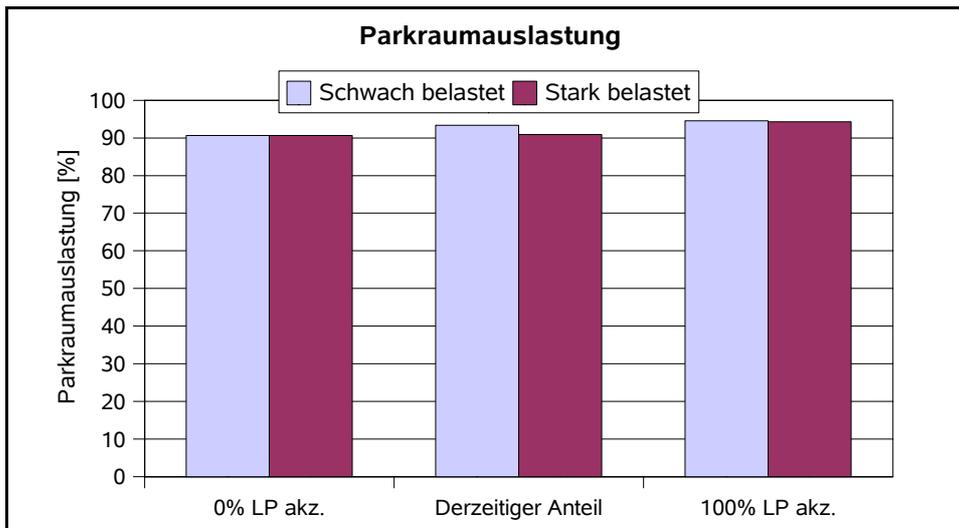


Abbildung 5-3: Simulierte Parkraumauslastung

Mit der höheren Parkraumauslastung geht mit zunehmendem Linksparkeranteil auch ein leicht verringerter Parksuchverkehr einher, da parkplatzsuchende Fahrzeuge etwas schneller einen freien Parkstand finden, als beim ausschließlichen Rechtsparken. Die Unterschiede sind jedoch nur marginal (siehe folgende Abbildung) und werden in der Praxis in Gebieten mit hohem Parkdruck sicherlich nicht zu einer messbaren Entlastung vom Parksuchverkehr führen.

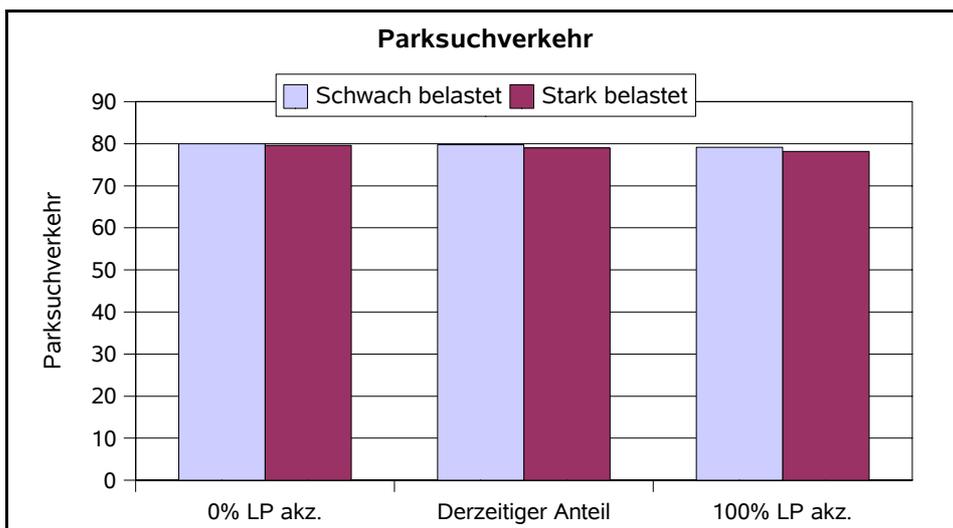


Abbildung 5-4: Simulierter Parksuchverkehr

### **5.3 Fazit der Anwendung von EPAVA**

Die Simulation von drei Szenarien bzgl. des Linksparkeranteils auf zwei unterschiedlich stark befahrenen Straßen hat gezeigt, dass mit zunehmendem Linksparkeranteil die im fließenden Verkehr aufgrund von Ein- und Ausparkmanövern entstehenden Wartezeiten geringfügig reduziert werden können.

Im Vergleich zu den Wartezeiten, wie sie im städtischen Verkehrsgeschehen an Lichtsignalanlagen entstehen, sind die durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten jedoch vernachlässigbar gering (vgl. Kapitel 2.3.4 ab Seite 34).

Weiterhin kann durch Linksparken eine bessere Ausnutzung des Parkraums erreicht werden, da ein freier Parkstand früher wieder belegt werden kann als beim ausschließlichen Rechtsparken. Die damit einhergehende Reduzierung des Parksuchverkehrs ist jedoch nur sehr gering.

## 6 Fazit

In dieser Arbeit wurde der Einfluss von Parkmanövern auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf empirisch untersucht, die relevanten Ergebnisse wurden systematisiert und in einem Simulationsmodell zusammengefasst. Dabei wurde auch berücksichtigt, dass Parkmanöver in manchen Straßen häufig entgegen der Fahrtrichtung durchgeführt werden.

### Verkehrssicherheit

Der Aspekt Verkehrssicherheit konnte im wesentlichen im empirischen Teil behandelt werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Linksparken in städtischen Straßen“ wurden die Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik herangezogen, Befragungen von Ordnungsämtern und Polizeidienststellen durchgeführt und umfangreiche Videoaufzeichnungen von Ein- und Ausparkmanövern analysiert. Dabei ergaben sich folgende Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit:

- Anhand der Unfallstatistiken ist zu erkennen, dass Unfälle im ruhenden Verkehr in den meisten Fällen Bagatellschäden verursachen, bei schweren Unfällen mit Personenschaden spielt der ruhende Verkehr nur eine untergeordnete Rolle. Da in den amtlichen Unfallstatistiken die Unfalltypen nicht detailliert unterschieden werden, ist jedoch anhand der bundesweiten Statistiken keine differenzierte Unterscheidung in die verschiedenen Parkmanöver (vorwärts, rückwärts, rechte Seite, linke Seite, Einparken, Ausparken) möglich.
- Bei der Auswertung der Verkehrsunfallanzeigen der Stadt Kaiserslautern konnten anhand der genauen Angabe des Unfalltyps und anhand der Unfallskizzen der Polizeibeamten zusätzliche Informationen gewonnen werden: So fanden nur 0,12% der Unfälle im ruhenden Verkehr zwischen dem Ein- oder Ausparkenden und einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs statt<sup>55</sup>. Unfälle mit Linksparkern konnten nicht nachgewiesen werden.
- Beim Ausparken von der linken Seite ist die Sicht auf die Fahrbahn für den Fahrer unter Umständen sehr eingeschränkt (siehe Kapitel 2.3.2), so dass in Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von über 30 km/h das Linksparken auch im Falle einer Liberalisierung des Linksparkens in Deutschland weiterhin nicht zugelassen werden sollte<sup>56</sup>.
- In fünf Städten wurden an 22 Erhebungsstellen Videoaufnahmen durchgeführt,

<sup>55</sup> Die Mehrzahl der Unfälle wurde durch fahrende Fahrzeuge verursacht, die ein abgestelltes Fahrzeug beschädigen.

<sup>56</sup> Dies war auch eines der zentralen Ergebnisse des Forschungsprojekts.

wobei über 180 Stunden Bandmaterial aufgezeichnet wurden. Unfälle wurden nicht erfasst, aber es traten acht Konflikte auf (Kap. 2.3.2). Bezogen auf die erhobene Anzahl von ca. 3.400 Konflikten ergibt sich daraus ein Konfliktrisiko von 0,23%. Eine systematische Häufung von Konflikten bei bestimmten Situationen oder Parkmanövern kann schon aufgrund der geringen Anzahl der Konflikte nicht nachgewiesen werden.

→ Der Einfluss von Parkmanövern auf die Verkehrssicherheit ist nur gering und kann nicht systematisiert werden. Bei der Simulation von Parkmanövern werden Unfälle oder Konflikte daher nicht berücksichtigt.

### **Verkehrsablauf**

Durch Rangiermanöver beim Ein- und Ausparken werden häufig Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern hervorgerufen, z.B. in Form von Abbremsen, Ausweichen oder Anhalten. Dem Anhalten kommt eine besondere Bedeutung zu, da hierbei *Wartezeiten* entstehen, welche in der Empirie gut messbar sind und damit ein quantitatives Kriterium zur Beschreibung der Qualität des Verkehrsablaufs darstellen. In der Empirie wurden verschiedene Beobachtungen bzgl. des Einflusses von Parkmanövern auf den Verkehrsablauf gemacht:

- Die längsten Wartezeiten entstehen beim Rückwärtseinparken auf der rechten Seite, weil nachfolgende Fahrzeuge häufig so dicht auf ein einparkendes Fahrzeug auffahren, dass dieses nicht mehr zurückstoßen kann um den Parkstand zu belegen. Ebenso kann das nachfolgende Fahrzeug kein Überholmanöver mehr einleiten ohne zuerst selbst zurückzustößen.
- Obwohl beim Einparken entgegen der Fahrtrichtung der Gegenverkehr gekreuzt werden muss, entstehen beim Linksparken etwas weniger Interaktionen und Wartezeiten als beim Rechtsparken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich ein Linksparker beim rückwärts Einparken von entgegenkommenden Fahrzeugen entfernt (und nicht, wie beim rechts Rückwärtseinparken, auf diese zufährt). Generell wird in den meisten Fällen nur dann links geparkt, wenn dies ohne Begegnung mit dem Gegenverkehr möglich und wenn die Parklücke so groß ist, dass vorwärts eingeparkt werden kann.
- Im Vergleich zu den Wartezeiten an einer Lichtsignalanlage sind die durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten vernachlässigbar gering. So wird der Verkehrsablauf an einer LSA bei einer durchschnittlichen Wartezeit von bis zu 20 Sekunden

pro Fahrzeug immer noch mit der Qualitätsstufe A bezeichnet. Die durch Parkmanöver verursachten Wartezeiten dagegen liegen bei etwa 0,1 Sekunden pro Fahrzeug (des fließenden Verkehrs).

Weiterführende Fragen bzgl. des Parksuchverkehrs oder der Parkraumauslastung konnten anhand der Empirie jedoch nicht beantwortet werden.

### **Simulation des Verkehrsablaufs**

Inwiefern variierende Randbedingungen wie z.B. verschiedene Verkehrsstärken oder ein höherer Anteil an Linksparkern Auswirkungen auf Parkraumauslastung oder Parksuchverkehr haben können, ist anhand von empirischen Erhebungen nicht zu ermitteln. An diesem Punkt setzt das entwickelte Simulationsprogramm EPAVA an.

- Die Auslastung des Parkraums nimmt mit zunehmendem Linksparkeranteil zu, weil ein freier Parkstand durch Fahrzeuge aus beiden Fahrtrichtungen angefahren und damit schneller wieder belegt werden kann. Dieser Effekt verringert sich mit zunehmender Verkehrsbelastung, weil Einparkmanöver auf der linken Seite von entgegenkommenden Fahrzeugen verhindert werden.
- Mit der höheren Auslastung des Parkraums geht eine Reduzierung des Parksuchverkehrs einher. Diese ist jedoch nur marginal und würde in Gebieten mit hohem Parkdruck sicherlich keine spürbare Entlastung vom Parksuchverkehr bedeuten.



## 7 Literatur

**Albers, A.; Schnüll, R.:** „Unterbringung des ruhenden Verkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 566, Bonn Bad Godesberg, 1989

**Angenendt, W.:** „Bemessung von Stadtstraßen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Verkehrsqualitäten bei Beachtung der Auswirkungen auf die Wohnumfeldqualität“, Abschlussbericht zu FA 2.061 S78F des BMV, Aachen, 1983

**Axhausen, K.:** „Eine ereignisorientierte Simulation von Aktivitätenketten zur Parkstandswahl“, Karlsruhe (Selbstverlag), 1989

**Birkner, T.:** „Innerstädtischer Parksuchverkehr - eine unbekannte Größe?“, Straßenverkehrstechnik, Jg.39, Nr.7, S.323-327, Stuttgart, 1995

**Blanke, H.; Brilon, W.; Moritz, A.:** „Ortsdurchfahrt Much, Teil 2: Unfallanalyse und Engstellenuntersuchung“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V7, Bergisch Gladbach, 1993

**Brannolte, U.; Kraus, T.:** „Situationsanalyse über den Stand der Simulationsmodelle im Verkehrswesen“, Schlussbericht zum Forschungsprojekt 19 K 9706 1 des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Weimar, 1998

**Chen, C.; Schonfeld, P.:** „Optimum Stall Angle for Large Parking Lots“, Journal of Transportation Engineering, Jg.114, Nr.5, S.574-583, 1988

**Cremer, M.:** „Der Verkehr auf Schnellstraßen“, Springer Verlag, Berlin, 1979

**Dessouky, Y.; Harris, J.:** „A Simulation Approach for Analyzing Parking Space Availability at a Major University“, Clemson (USA), San Jose (USA), 1997

**Erke, H.; Gstalter, H.; Zimolong, B.:** „Festlegung und Bewertung von gefährlichen Konfliktsituationen im Innerortsverkehr – Die Verkehrskonflikttechnik als Instrument zur qualitativen Kennzeichnung von Verkehrsanlagen: Validierungsstudie im Knoteninnenbereich“, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FP 7615/2 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1978

**Ferber, R.:** "Räumliche und zeitliche Regelmäßigkeiten zellulärer Automaten", Marburg / Lahn, 1988

**Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV):** „Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen“, EAHV 93, Köln, 1993

**FGSV:** „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs“, EAR 91, Köln, 1991

**FGSV:** „Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen EAE 85/95“, Köln, 1995

**FGSV:** Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS, Köln, 2001

- Herz, R.; Schlicher, G.; Siegener, W.:** „Angewandte Statistik für Verkehrs- und Regionalplaner“, Werner Ingenieur Texte, Düsseldorf, 1992
- Hermann, R; Rothery, R.W.:** „Car Following and Steady State Flow“, Proceedings 2<sup>nd</sup> International Symposium Theory of Road Traffic Flow, S. 1-11, OECD Paris, 1963
- Huber-Erler, R.:** „Wirkungsweise flächendeckender Parkraumbewirtschaftung und ihre Wirksamkeit zur Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs“, Dissertation im Fachgebiet Verkehrswesen, Universität Kaiserslautern, 1998
- Hupfer, C.:** „Computergestützte Videobildverarbeitung in der Verkehrssicherheitsarbeit“, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Verkehrswesen, Grüne Reihe Nr. 40, Kaiserslautern, 1997
- Hyden, C.:** „The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique“, Lund Institute of Technology, Department of Traffic Planning and Engineering, Lund, Sweden, 1997
- Kipke, H.:** „Theoretische Überlegungen zum Parksuchverkehr“, Straßenverkehrstechnik, Jg.37, Nr.5, S.246-249, Stuttgart, 1993
- Krause, S.; Kayser, H.:** „Abschätzung des Parksuchverkehrs mit Hilfe der Kennzeichenerfassungsmethode.“, Straßen-Verkehrstechnik, Jg.30, Nr.4, S.158-165, Stuttgart, 1986
- Lighthill, M., Whitham, G.:** „On kinematic waves II: A theory of traffic flow on long crowded roads“, Proceeding Royal Society A, 1955
- Mabry, S.; Gaudiot, J.:** „Distributed Parallel Object-Oriented Environment for Traffic Simulation (POETS)“, Proceedings of the 1994 Winter Simulations Conference ed. J.D. Tew, S. Manivannan, D.A. Sadowski and A.F. Seila, Lake Buena Vista, Florida, 1994
- Montgomery, F. et al.:** „Final Report for Publication“ des SMARTTEST-Programms, Institute for Transport Studies, Leeds, 2000
- Moritz, A.; Rossbander, E.:** „Ortsdurchfahrt Much, Teil 1: Begleituntersuchung zum Umbau der Ortsdurchfahrt“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V7, Bergisch Gladbach, 1993
- National Highway Traffic Safety Administration:** Traffic Safety Facts 1997: A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System, S. 67, Washington DC 20590, 1998
- Page, B.:** „Diskrete Simulation: eine Einführung mit Modula-2“, Berlin-Heidelberg, 1991
- QUADSTONE:** „Paramics V 3.0 System Overview“, Edinburgh, Schottland
- Reinhold, T.:** „Die Bedeutung des Parksuchverkehrs - Eine quantitative Abschätzung

am Beispiel von zwei Stadtgebieten in München“, Internationales Verkehrswesen (51) 6/99, Bergisch Gladbach, 1999

**Reiter, U.:** „Simulation des Verkehrsablaufs mit individuellen Fahrbeeinflussungssystemen“, Schriftenreihe des Institutes für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 53, 1994

**Rekersbrink, A.** „Mikroskopische Verkehrssimulation mit Hilfe der Fuzzy-logic“, Straßenverkehrstechnik 2/95, 68-74, 1995

**Reuschel, A.:** „Fahrzeugbewegungen in der Kolonne bei gleichförmig beschleunigtem oder verzögertem Leitfahrzeug“, Zeitschrift des österreichischen Ingenieur und Architekten-Vereins, Wien, 1950

**Riel, J.:** „Linksparken in städtischen Straßen“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 97, Bergisch Gladbach, 2002

**Sauther, S.:** „Anwendbarkeit von Simulationsprogrammen auf die Untersuchung von Parkmanövern“, Diplomarbeit am Fachgebiet Verkehrswesen, Universität Kaiserslautern, 2002

**Schwerdtfeger, T.; Wiedemann, R.:** „Makroskopisches Simulationsmodell für Schnellstraßennetze mit Berücksichtigung von Einzelfahrzeugen (DYNEMO)“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 500. Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), Bonn-Bad Godesberg, 1987

**White, W.:** „Backward Waves in Highway Traffic Jams“, Proceedings of the IRE 1957, 1957

**Wiedemann, R.:** „Simulation des Verkehrsflusses“, Heft 8 des Institutes für Verkehrswesen, Karlsruhe, 1974

**Wiedemann, W.:** „Verkehrssicherheit von innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen“, Dortmund, 1989

**Weng, T.:** „A Study of Parking Movements in Multi Storey Parking Systems“, Institute of Transport Studies, The University of Sydney and Monash University, 2000

**Wu, J., McDonald, M., Brackstone, M.** A fuzzy logic microscopic simulation model for interurban ATT assessment. Proceedings of 10th European simulation symposium (ESS'98), October 26-28, 1998, Simulation Technology: Science and art, Bargiela A., and Kerckhoffs E., eds., pp. 347-354. Nottingham, 1998

**Wutschka, J.:** „Modellmäßige Beschreibung der Parkraumnachfrage im innerstädtischen Einkaufsverkehr“, Aachen, Selbstverlag, 1989

**Young, W.:** „Modelling Parking“ in Hensher, D.A. and Button, K.J. (eds) Handbook of Transport Modelling (Pergamon Press: Oxford), 2000

**Young, W.:** „Modelling the Circulation of Parking Vehicles – a Feasibility Study“,

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 34, Karlsruhe, 1985

**Young, W.:** „PARKSIM/1 - A Network Model for Parking Facility Design“, Traffic Engineering and Control, Jg.27, Nr.12, S.606-613, 1986

**Zeitvogel, M.:** „Untersuchung über die Verkehrsqualität im Individualverkehr auf Stadtstraßen“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 286, Bonn, 1980

## **8 Anhang**



## Anhang 1: Simulationsmodelle im Überblick (BRANNOLTE/KRAUS, 1998)

| <b>Modell</b>                            | <b>Merkmale</b>   | <b>Beschreibung</b>   |
|--|---|---|
| AS                                       | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch               | Bewertung unterschiedlichen Fahrer-Fahrzeug-Verhaltens auf BAB und im innerstädtischen Verkehr.<br>Längs- und Querbewegungen, Sonderverhalten an LSA und an Konfliktpunkten.<br>Wiedemann-Modell.   |
| BANDO                                    | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>deterministisch            | Beschleunigungsgleichung, geeignet für analytische Untersuchungen.  |
| CASIM / OLSIM                            | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumdiskret<br>stochastisch                      | Fahrzeugefeine Simulation von ausgedehnten Straßennetzen unter Einbeziehung von Online-Zählraten in mehrfacher Echtzeit.<br>Zellular-Automat nach Nagel-Schreckenberg.  |
| FARSI                                    | mikroskopisch (bis bauteilfein)<br>zeitorientiert<br>raumdiskret<br>deterministisch | Simulation wirklichkeitsnaher Verkehrsbedingungen zur Abbildung von Fahrzeugkomponenten.<br>Interaktion mit einem nachfolgenden und bis zu 7 vorausfahrenden Fahrzeugen, Berücksichtigung von Vorfahrtregelung, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverbot.<br>Erweitertes Wiedemann-Modell, Triebstrangmodellierung mit Bewegungsgleichung,     |
| FASTLANE                                 | makroskopisch (fahrzeugfein)<br>zeitorientiert<br>raumdiskret<br>stochastisch       | Dynamische Fahrzeugnavigation<br>Simulation des Autobahnverkehrs in Deutschland in 50-facher Echtzeit   |
| Fluid-dynamisches Makrosimulationsmodell | makroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>deterministisch            | Simulation von Verkehrsinstabilitäten (Stop&Go) auf Strecken und Abbildung der Zuflusssteuerung von Einfahrten oder von Wechselwegweisungen.<br>Beschleunigen auf Wunschgeschwindigkeit, Abbremsen und Einhalten eines Sicherheitsabstands sowie Spurwechsel.<br>Makroskopisches Modell für die Linie auf der Grundlage gaskinetischer Gleichungen. |
| KNOSIMO                                  | mikroskopisch<br>ereignisorientiert<br>ohne Raumbezug<br>stochastisch               | Beurteilung des Verkehrsablaufs an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten.<br>Weiterfahrt abhängig von der Zeitlücke im bevorrechtigten Strom.  |

| <b>Modell</b> | <b>Merkmale</b>   | <b>Beschreibung</b>  |
|---------------|---|--|
| LASI          | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch                                 | Simulation des Verkehrsablaufs auf Landstraßen mit einem Fahrstreifen pro Fahrtrichtung.<br>Berücksichtigung von Überholvorgängen und Geschwindigkeitsbegrenzungen.  |
| MakSi         | makroskopisch<br>ereignisorientiert<br>raumdiskret<br>deterministisch                                 | Simulation dynamischer Routenführungssysteme auf Autobahnen auf Basis von Kontinuitäts- und Beschleunigungsgleichungen.<br>Zellengenaue Berechnung des Verkehrszustands.   |
| MAKSIMOS      | makroskopisch   | Simulation von Verkehr auf Stadtstraßen, Anfahrverhalten an Knotenpunkten, Stausituationen.<br>Makroskopische Modellgleichungen, Cremer-Modell.  |
| MEHRSPUR      | mikroskopisch<br>ereignisorientiert<br>raumdiskret<br>deterministisch                                 | Erzeugung von realistischen Verkehrsabläufen, Abbildung mehrspuriger Richtungsfahrbahnen (auch mit LSA).<br>Berechnung der Beschleunigungen in Bezug auf Wunsch-, Risiko- und Stillstandabstand, Spurwechselentscheidungen   |
| MEMORI        | mesoskopisch<br>zeitorientiert<br>raumdiskret<br>deterministisch                                      | Abbildung gesättigter Stadtstraßennetze.<br>Stark vereinfachte Fahrdynamik mit Geschwindigkeit=0 (Warteschlange) oder 50 km/h (Abfluss mit Sättigungsfluss von 1800 Fz/h)  |
| MIKROSIM      | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch                                 | Simulation von Stadtstraßennetzen bei Abbildung verschiedener verkehrsbeeinflussender Maßnahmen.<br>Beschleunigen auf Wunschgeschwindigkeit, Modellierung des Abstands zum Vordermann und Berücksichtigung der Geschwindigkeit des Vorderfahrzeugs.<br>Wiedemann-Modell. |
| MISSION       | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch                                 | Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen und in innerstädtischen Straßennetzen.<br>Abbildung von Veränderungen im Fahrverhalten.  |
| MOVESIM       | mikroskopisch<br>zeitdiskret-prozessorientiert<br>raumdiskret<br>deterministisch<br>oder stochastisch | Verkehrsflussmodell mit Berücksichtigung des Spurwechselerhaltens und verkehrsbeeinflussender Maßnahmen  |

| <b>Modell</b>     | <b>Merkmale</b>  | <b>Beschreibung</b>   |
|-------------------|--|---|
| OGradess          | makroskopisch<br>oder mikroskopisch<br>ereignisorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch  | Regelung einer unabhängigen Kreuzung aufgrund von Detektorsignalen mit stochastischem Schätzmodell und Schätzung von Warteschlangenlängen vor der Stopp-<br>linie.<br><br>Auffahren, Zusammenfluss, LSA, Haltestelle, Elemente warten auf Aktionen von anderen Elementen.   |
| PERISYS           | makroskopisch<br>zeitkontinuierlich<br>raumkontinuierlich<br>deterministisch<br>oder stochastisch  | Verkehr auf Richtungsfahrbahnen.<br><br>Kontinuumsmodell für den Verkehrsfluss.   |
| PELOPS            | mikroskopisch /<br>submikroskopische<br>Abbildung des<br>Fahrzeugs<br><br>zeitorientiert<br>raumdiskret oder<br>raumkontinuierlich<br><br>deterministisch<br>oder stochastisch | Das Fahrermodell bildet aus Streckenprofil und Ver-<br>kehrsumgebung einen Leistungswunsch, der in<br>fahrzeugseitige Stellgrößen umgewandelt wird. Diese<br>Stellgrößen führen im Fahrzeugmodell<br><br>zu Beschleunigung und Geschwindigkeit, die dann wie-<br>der das Fahrverhalten beeinflussen.                                      |
| PLANSIM-T         | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch  | Dynamische Fahrzeugnavigation, LSA-Steuerung, Echt-<br>zeit-Simulation des Verkehrs auf dem bundesdeutschen<br>Autobahnnetz und Simulation des innerstädtischen Ver-<br>kehrs.<br><br>Quantitativ validierte Weiterentwicklung von Zellularauto-<br>matenmodellen.<br><br>Mikroskopisches Modell auf der Basis minimaler Regel-<br>sätze. |
| SIFA              | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch  | Mehrstreifiger Richtungsverkehr mit Sicherungseinrich-<br>tungen und Assistenzsystemen  |
| SIMCO3++ /<br>EFC | mikroskopisch<br>zeit- / ereignisorien-<br>tiert<br>raumdiskret<br>deterministisch<br>oder stochastisch  | Simulation des Verkehrs (Autobahn und innerstädtisch)<br>zur Untersuchung von Nahbereichskommunikationspro-<br>tokollen.<br><br>Modellierung des Sicherheitsabstands zum Vorderfahr-<br>zeug abhängig von einem fahrzeugspezifischen<br>Risikofaktor.   |
| SIMNET            | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumdiskret oder<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch  | Bewertung von Maßnahmen zur Verkehrssteuerung.<br>Jede Strecke kann wahlweise als Warteschlangen-<br>system oder mikroskopisch nach einem reziproken<br>Abstandsmodell simuliert werden.  |

| <b>Modell</b>                                       | <b>Merkmale</b>  | <b>Beschreibung</b>   |
|---|--|---|
| SIMONE  | makroskopisch<br>zeit- / ereignisorientiert<br>raumdiskret<br>deterministisch                                  | Simulation des Schnellstraßenverkehrs in beliebig komplexen Netzen.<br>Makroskopische Modellgleichungen nach Cremer-Modell.   |
| SIMUCL  | mikroskopisch<br>ereignisorientiert<br>raumkontinuierlich<br>deterministisch oder stochastisch                 | Simulationsmodell zur Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen und deren Auslegung.<br>Modellierung von Zeitlücken und Wahrnehmungsschwellen.   |
| Simulation<br>lichtsignalgeregelter<br>Knotenpunkte | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch  | Simulation des Verkehrsablaufs aller Verkehrsteilnehmergruppen an lichtsignalgeregelter Knotenpunkten.  |
| SIMVAS++  | mikroskopisch<br>ereignisorientiert<br>raumdiskret<br>stochastisch oder deterministisch                        | Nachbildung des Verkehrsablaufs auf Straßenzügen und Straßenknoten unter Berücksichtigung verkehrsabhängiger LSA-Steuerungen. Kombination aus <ul style="list-style-type: none"> <li>– Zeit-Weg-Diagrammen für verschiedene Verkehrssituationen</li> <li>– geschwindigkeitsabhängigen Folgezeitlücken und</li> <li>– Einhaltung der Spurkapazität.</li> </ul> |
| SIM_VLT   | makroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>deterministisch                                       | Schätzung streckenbezogener Verkehrsinformationen.<br>Nachbildung bekannter Phänomene im Verkehr  |
| Soziales Kräftemodell des Verkehrs                  | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>deterministisch oder stochastisch                     | Simulation von Schnellstraßennetzen mit mehreren Fahrstreifen und Geschwindigkeitsbeschränkungen.<br>Bewegungsgleichungen für einspurigen Verkehr, Individualfahrzeuge mit individuellen Parametern<br>Betrachtung des Spurwechselerhaltens als soziale Kräfte.   |
| VERSIM  | mikroskopisch oder mesoskopisch<br>zeitorientiert und ereignisorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch | Simulative Erprobung von LSA-Steuerverfahren.   |
| VERSIMA   | mikroskopisch<br>zeitorientiert und ereignisorientiert<br>stochastisch   | Modellierung des Verkehrsablaufs auf BAB und Landstraßen bei Geschwindigkeitsbegrenzungen und Überholverbieten mit psycho-physischem Modell.<br>Bewegtes Simulationsfenster   |

| <b>Modell</b>     | <b>Merkmale</b>  | <b>Beschreibung</b>  |
|-------------------|--|--|
| VISUM /<br>DYNEMO | mesoskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch                   | Simulation des Verkehrsflusses in großen Stadt- und Schnellstraßennetzen.<br>Festzeitsignalsteuerung, statische und dynamische Wegweisungssysteme mit Befolungsgraden (netzzustandsabhängige Routenaktualisierung).          |
| VISSIM            | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumkontinuierlich<br>stochastisch                  | Abbildung von Festzeit-LSA und Vorfahrtregelung.<br>Psycho-physisches Fahrzeugfolgemodell von Wiedemann mit eigenen Weiterentwicklungen mit der gleichzeitigen Betrachtung mehrerer Fahrzeuge.<br>Fahrstreifenwechselmodell, |
| ZA                | mikroskopisch<br>zeitorientiert<br>raumdiskret<br>deterministisch<br>oder stochastisch | Verkehrssimulation mit zellularem Automaten.<br>Nagel-Schreckenberg-Modell.  |

*Überblick über Simulationsmodelle nach BRANNOLTE/KRAUS, 1998*

## Anhang 2: Einsatzzwecke von Modellen (BRANNOLTE/KRAUS, 1998)

### Simulierbare Objekte

|   |                           |    |                                  |
|---|---------------------------|----|----------------------------------|
| 1 | Wettereinflüsse           | 8  | Störungen im Verkehrsfluss       |
| 2 | Parksuchverkehr           | 9  | ÖPNV                             |
| 3 | Ruhender Verkehr          | 10 | Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung |
| 4 | Detailliertes Motormodell | 11 | Rückstau haltender Fahrzeuge     |
| 5 | Lieferfahrzeuge           | 12 | Verkehrsverflechtung             |
| 6 | Fahr- / Motorräder        | 13 | Kreisverkehr                     |
| 7 | Fußgänger                 |    |                                  |

| Modell-Name | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| CORSIM      |   | X | X |   | X |   | X | X | X |    | X  | X  | X  |
| DRACULA     | X |   |   |   | X |   |   | X | X |    | X  | X  | X  |
| FRESIM      |   |   |   |   | X |   |   | X | X |    | X  | X  |    |
| HUTSIM      |   |   |   |   |   | X | X | X | X | X  | X  | X  | X  |
| INTEGRATION |   |   |   |   | X |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  |
| MITSIM      | X |   | X | X | X |   |   | X |   | X  | X  | X  | X  |
| NEMIS       |   |   |   | X | X |   |   | X | X | X  | X  |    | X  |
| NETSIM      |   | X | X |   | X |   | X | X | X |    | X  | X  |    |
| PADSIM      |   |   | X |   |   |   |   |   |   |    | X  |    | X  |
| PARAMICS    | X | X |   |   | X |   |   | X | X | X  | X  | X  | X  |
| PHAROS      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | X  | X  | X  |
| SHIVA       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | X  |    |
| SIGSIM      |   |   | X |   | X | X |   | X | X |    | X  | X  |    |
| SIMNET      |   |   | X | X |   |   |   | X | X | X  | X  |    | X  |
| SISTM       | X |   |   |   | X |   |   | X |   |    | X  | X  |    |
| SITRAS      |   |   |   |   | X |   |   | X |   |    | X  | X  |    |
| THOREAU     | X |   | X |   |   |   | X | X |   | X  | X  | X  | X  |

Zuordnung von Anwendungszwecken zu Simulationsmodellen nach BRANNOLTE/KRAUS

## Einsatzzwecke von Simulationsmodellen (MONTGOMERY ET AL., 2000)

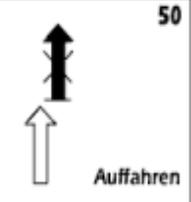
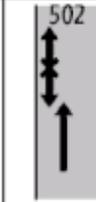
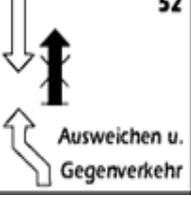
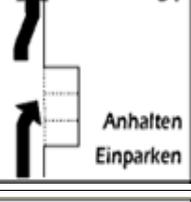
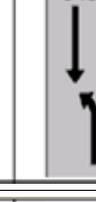
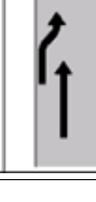
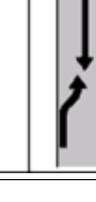
| <i>General features of Urban Models</i> | <b>CASIMIR</b> | <b>DRACULA</b> | <b>HUTSIM</b> | <b>MICSTRA</b> | <b>NEMIS</b> | <b>NETSIM</b> | <b>PADSIM</b> | <b>SIGSIM</b> | <b>SIMNET</b> | <b>SITRA-B+</b> | <b>SITRAS</b> | <b>THOREAU</b> |
|---|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| Co-ordinated traffic signals            |                | X              | X             | X              | X            | X             | X             | X             | X             | X               | X             | X              |
| Adaptive traffic signals                | X              | X              | X             | X              | X            | X             | X             | X             | X             | X               | X             | X              |
| Priority to public transport            |                | X              | X             | X              | X            | X             |               | X             | X             | X               |               |                |
| Ramp metering                           |                |                | X             | X              |              |               |               | X             | X             |                 |               | X              |
| Freeway flow control                    |                |                |               |                |              |               |               | X             |               |                 |               |                |
| Incident management                     |                |                |               |                | X            | X             |               | X             | X             | X               | X             |                |
| Zone access control                     |                |                |               | X              | X            |               | X             |               |               |                 |               |                |
| Variable message signs                  |                |                | X             |                | X            |               |               |               | X             |                 |               | X              |
| Regional traffic information            |                |                |               |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Static route guidance                   |                |                | X             | X              | X            |               |               |               | X             | X               | X             | X              |
| Dynamic route guidance                  |                |                |               | X              | X            |               | X             |               | X             | X               | X             | X              |
| <b>Parking guidance</b>                 |                |                |               | <b>X</b>       |              |               |               |               | <b>X</b>      | <b>X</b>        |               |                |
| Public transport information            |                |                |               |                |              |               |               | X             |               |                 |               |                |
| Automatic debiting & toll plazas        |                |                | X             |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Congestion pricing                      |                | X              |               |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Adaptive cruise control                 |                |                | X             | X              | X            |               | X             | X             | X             |                 |               |                |
| Automated highway system                |                |                |               |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Autonomous vehicles                     |                |                | X             |                |              |               |               | X             |               |                 |               |                |
| Pedestrians and cyclists                |                |                | X             |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Probe vehicles                          |                |                | X             |                | X            |               |               | X             |               | X               |               | X              |
| Vehicle detectors                       | X              | X              | X             | X              | X            | X             | X             | X             | X             | X               | X             | X              |
| Objects & phenomena modelled            |                |                |               |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Weather conditions                      |                | X              |               | X              |              |               |               |               |               |                 |               | X              |
| <b>Searching for parking space</b>      |                |                |               |                |              | <b>X</b>      |               |               |               | <b>X</b>        |               |                |
| <b>Parked vehicles</b>                  |                |                |               | <b>X</b>       |              | <b>X</b>      | <b>X</b>      | <b>X</b>      | <b>X</b>      | <b>X</b>        |               | <b>X</b>       |
| Elaborate engine model                  |                |                |               |                | X            |               |               |               | X             |                 |               |                |
| Commercial vehicles                     |                | X              |               | X              | X            | X             |               | X             |               | X               | X             |                |
| Bicycles / motor cycles                 |                |                | X             |                |              |               |               | X             |               |                 |               |                |
| Pedestrians                             |                |                | X             | X              |              | X             |               |               |               |                 |               | X              |
| Incidents                               |                | X              | X             |                | X            | X             |               | X             | X             | X               | X             | X              |
| Public transport vehicles               |                | X              | X             | X              | X            | X             |               | X             | X             | X               |               |                |
| Traffic calming measures                |                |                | X             |                | X            |               |               |               | X             |                 |               | X              |
| Queue spill back                        |                | X              | X             | X              | X            | X             | X             | X             | X             | X               | X             | X              |
| Weaving                                 |                | X              | X             | X              |              | X             |               | X             |               | X               | X             | X              |
| Roundabouts                             |                | X              | X             |                | X            | X             | X             |               | X             | X               |               | X              |
| Other properties                        |                |                |               |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Runs on a PC                            | X              | X              | X             |                | X            | X             | X             |               |               | X               | X             |                |
| Run on a UNIX machine                   |                |                |               | X              | X            |               | X             | X             | X             | X               |               | X              |
| Graphical Network Builder               | X              |                | X             |                |              |               |               |               |               |                 |               |                |
| Graphical Presentation of Results       |                | X              | X             |                | X            | X             | X             | X             |               | X               | X             | X              |

*Simulationsmodelle im Stadtverkehr (SMARTTEST-Report, MONTGOMERY ET AL., 2000)*

| <b>General Features of Rural Models</b> | <b>AIMSUN2</b> | <b>CORSIM</b> | <b>FLEXYST-II</b> | <b>INTEGRATION</b> | <b>MELROSE</b> | <b>MICROSIM</b> | <b>MITSIM</b> | <b>Params</b> | <b>PLANSIM-T</b> | <b>TRANSIM</b> | <b>VISSIM</b> |
|---|----------------|---------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|---------------|
| Co-ordinated traffic signals            | X              | X             | X                 | X                  | X              |                 | X             | X             | X                |                | X             |
| Adaptive traffic signals                | X              | X             | X                 | X                  | X              | X               | X             | X             | X                |                | X             |
| Priority to public transport            |                | X             | X                 | X                  |                |                 |               |               | X                |                | X             |
| Ramp metering                           | X              | X             | X                 | X                  | X              | X               | X             | X             | X                |                | X             |
| Freeway flow control                    |                | X             | X                 | X                  | X              |                 | X             | X             |                  |                | X             |
| Incident management                     | X              | X             | X                 | X                  |                |                 | X             | X             |                  |                |               |
| Zone access control                     | X              |               | X                 |                    | X              |                 |               | X             | X                |                |               |
| Variable message signs                  | X              |               |                   | X                  |                |                 | X             | X             | X                |                |               |
| Regional traffic information            |                |               |                   |                    |                |                 |               | X             | X                |                |               |
| Static route guidance                   | X              |               |                   | X                  | X              | X               | X             | X             | X                |                |               |
| Dynamic route guidance                  | X              |               |                   | X                  | X              | X               | X             | X             | X                |                |               |
| <b>Parking guidance</b>                 |                |               |                   |                    |                |                 |               |               | <b>X</b>         |                |               |
| Public transport information            |                |               |                   | X                  |                |                 |               |               |                  |                | X             |
| Automatic debiting & toll plazas        | X              |               | X                 | X                  | X              |                 | X             | X             |                  |                |               |
| Congestion pricing                      |                |               |                   | X                  | X              |                 |               | X             | X                |                |               |
| Adaptive cruise control                 |                |               |                   |                    | X              |                 |               |               |                  |                |               |
| Automated highway system                |                |               |                   |                    | X              |                 |               | X             | X                |                |               |
| Autonomous vehicles                     |                |               |                   |                    | X              |                 |               |               |                  |                |               |
| Pedestrians and cyclists                |                |               | X                 |                    |                |                 |               |               |                  |                | X             |
| Probe vehicles                          |                |               |                   | X                  | X              |                 | X             | X             | X                |                | X             |
| Vehicle detectors                       | X              |               | X                 | X                  | X              |                 | X             | X             |                  |                | X             |
| Objects & phenomena modelled            |                |               |                   |                    |                |                 |               |               |                  |                |               |
| Weather conditions                      |                |               |                   |                    |                |                 | X             | X             |                  |                |               |
| <b>Searching for parking space</b>      |                | <b>X</b>      |                   |                    |                |                 |               | <b>X</b>      |                  | <b>X</b>       |               |
| <b>Parked vehicles</b>                  |                | <b>X</b>      |                   |                    | <b>X</b>       |                 | <b>X</b>      |               |                  |                | <b>X</b>      |
| Elaborate engine model                  |                |               |                   |                    |                |                 | X             |               |                  |                | X             |
| Commercial vehicles                     |                | X             | X                 | X                  | X              |                 | X             | X             | X                | X              | X             |
| Bicycles / motor cycles                 |                |               | X                 |                    |                |                 |               |               |                  |                |               |
| Pedestrians                             |                | X             | X                 |                    | X              |                 |               |               |                  |                | X             |
| Incidents                               | X              | X             | X                 | X                  |                |                 | X             | X             |                  |                | X             |
| Public transport vehicles               | X              | X             | X                 | X                  |                |                 |               | X             | X                | X              | X             |
| Traffic calming measures                |                |               | X                 | X                  |                |                 | X             | X             |                  |                | X             |
| Queue spill back                        | X              | X             | X                 | X                  | X              | X               | X             | X             | X                |                | X             |
| Weaving                                 | X              | X             | X                 | X                  | X              |                 | X             | X             | X                |                | X             |
| Roundabouts                             | X              | X             | X                 | X                  |                |                 | X             | X             | X                |                | X             |
| Other properties                        |                |               |                   |                    |                |                 |               |               |                  |                |               |
| Runs on a PC                            | X              | X             | X                 | X                  |                |                 | X             |               |                  |                | X             |
| Runs on a UNIX machine                  | X              |               |                   | X                  | X              | X               | X             | X             | X                | X              | X             |
| Graphical Network Builder               | X              |               | X                 |                    | X              |                 |               |               |                  |                | X             |
| Graphical Presentation of Results       | X              | X             | X                 | X                  | X              | X               | X             | X             | X                | X              | X             |

*Simulationsmodelle für Landstraßen (SMARTTEST-Report, MONTGOMERY ET AL., 2000)*

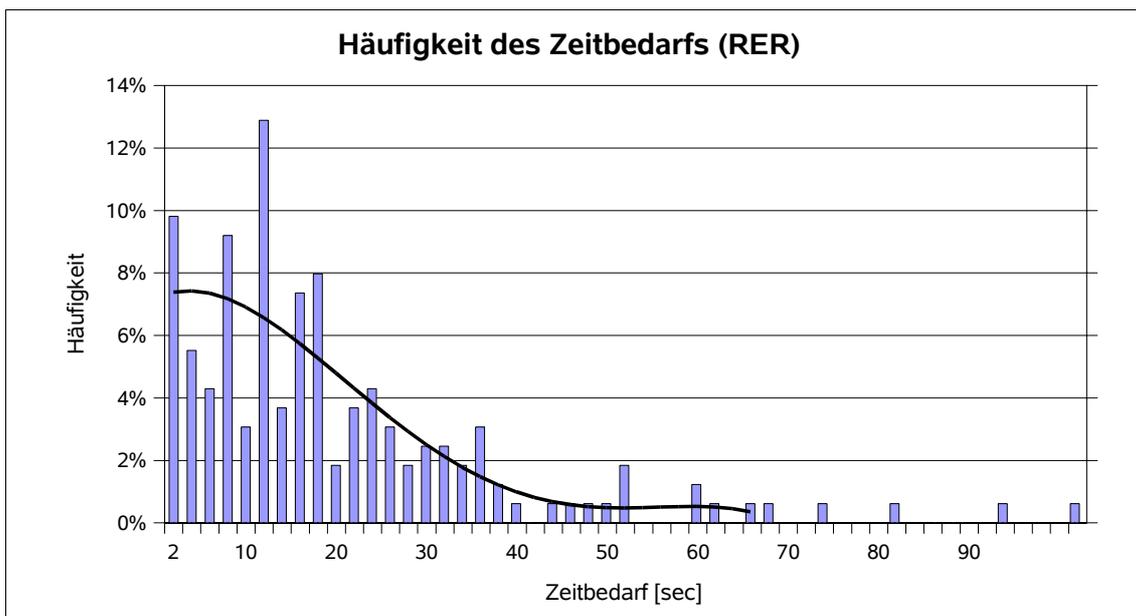
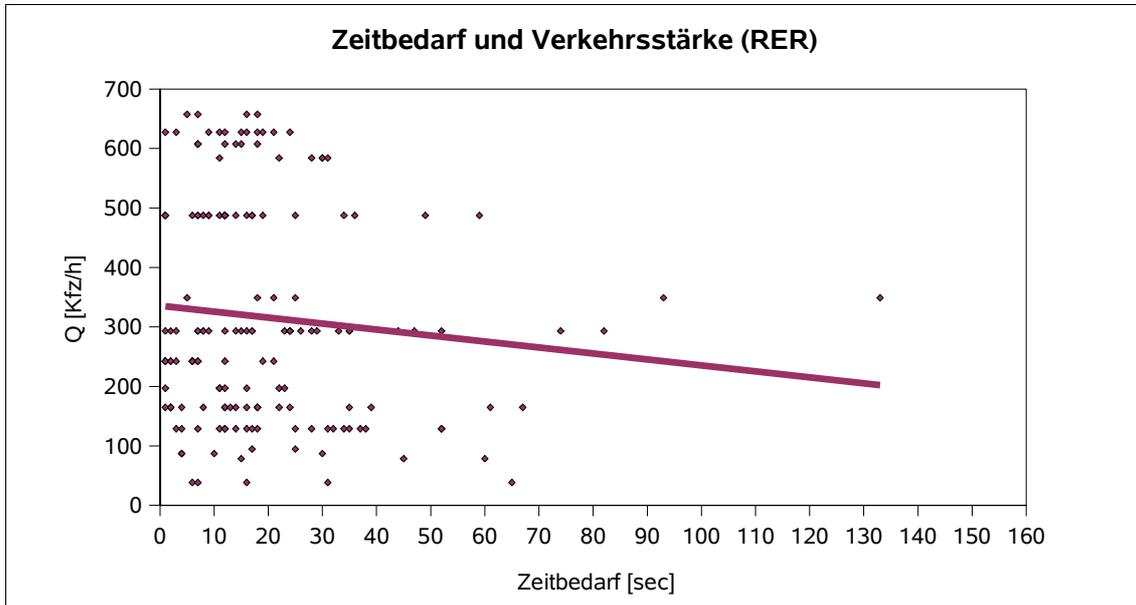
### Anhang 3: Unfalltypen

| Im Zusammenhang mit Parken mögliche Unfalltypen  |  |  |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|---|
| Unfälle des Unfalltyps 5 (Ruhender Verkehr)  |  |  |  |  |  |  |   |
|  <p><b>50</b><br/>Auffahren</p>                                     |  <p>501</p>   |  <p>502</p>   |  |  |  |  | <p>509<br/>Straßenseite<br/>unklar</p>                  |
|  <p><b>51</b><br/>Ausweichen u.<br/>Nachfolgender</p>               |  <p>511</p>   |  <p>512</p>   |  |  |  |  | <p>519<br/>Straßenseite<br/>unklar</p>                  |
|  <p><b>52</b><br/>Ausweichen u.<br/>Gegenverkehr</p>               |  <p>521</p>  |  |  |  |  |  |   |
|  <p><b>53</b><br/>Ausweichen<br/>u. Fußgänger</p>                 |  <p>531</p> |  <p>532</p> |  <p>533</p> |  <p>534</p> |  |  | <p>539<br/>Straßenseite/<br/>Gehrichtung<br/>unklar</p> |
|  <p><b>54</b><br/>Anhalten<br/>Einparken</p>                      |  <p>541</p> |  <p>542</p> |  <p>543</p> |  |  |  | <p>549<br/>Straßenseite/<br/>Richtung B<br/>unklar</p>  |
|  <p><b>55</b><br/>Anfahren<br/>Ausparken<br/>Längsaufstellung</p> |  <p>551</p> |  <p>552</p> |  <p>553</p> |  <p>554</p> |  |  | <p>559<br/>Straßenseite/<br/>Richtung B<br/>unklar</p>  |

| Im Zusammenhang mit Parken mögliche Unfalltypen           |            |            |                                  |            |  |  |   |
|---|------------|------------|----------------------------------|------------|--|--|---|
| <p>56<br/>Ausparken<br/>vorwärts<br/>Queraufstellung</p>  | <p>561</p> | <p>562</p> |                                  |            |  |  | 569<br>Straßenseite<br>unklar                         |
| <p>57<br/>Ausparken<br/>rückwärts<br/>Queraufstellung</p> | <p>571</p> | <p>572</p> |                                  |            |  |  | 579<br>Straßenseite<br>unklar                         |
| <p>58<br/>Tür/<br/>Ein-Aussteigen<br/>Be-Entladen</p>     | <p>581</p> | <p>582</p> | <p>583</p>                       | <p>584</p> |  |  | 589<br>Seite<br>unklar                                |
| <p>59<br/>Abbieger/Einbieger<br/>sonstige</p>             | <p>591</p> | <p>592</p> | <p>593</p>                       | <p>594</p> |  |  | 599<br>sonstige<br>Unfälle durch<br>ruhenden<br>Verk. |
| Weitere Unfalltypen (nicht Unfalltyp 5)                   |            |            |                                  |            |  |  |   |
| <p>70<br/>Parker-Parker</p>                               | <p>701</p> | <p>702</p> | <p>703<br/>auf<br/>Parkplatz</p> |            |  |  | 709<br>unklar ob<br>701-703                           |
| <p>401</p>  |            |            |                                  |            |  |  |   |

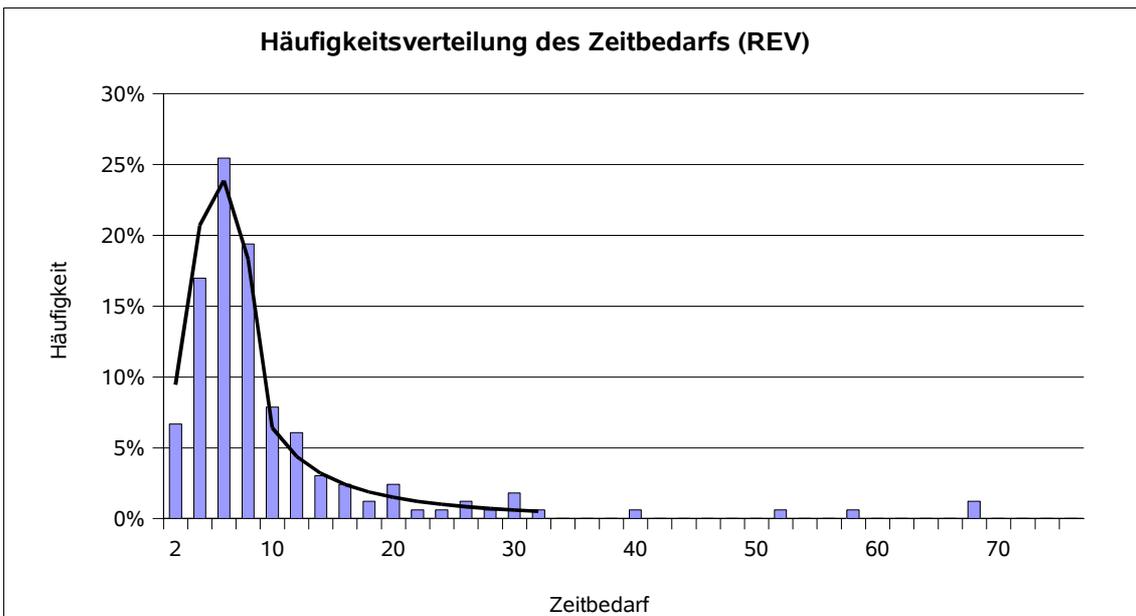
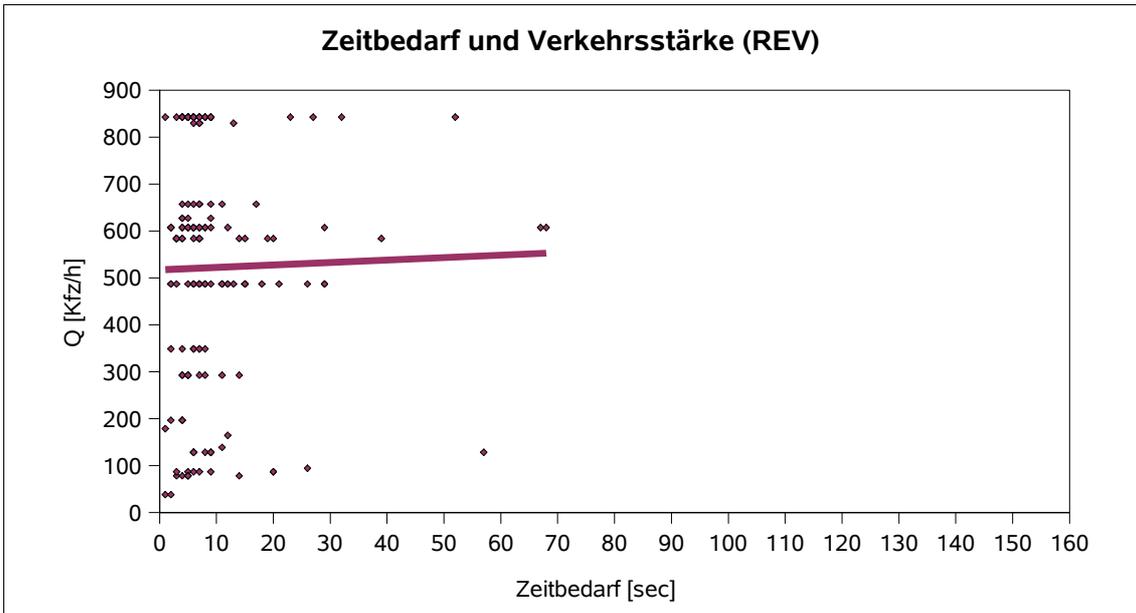
## Anhang 4: Zeitbedarf von Parkmanövern

### Rechtseinparken rückwärts (RER)



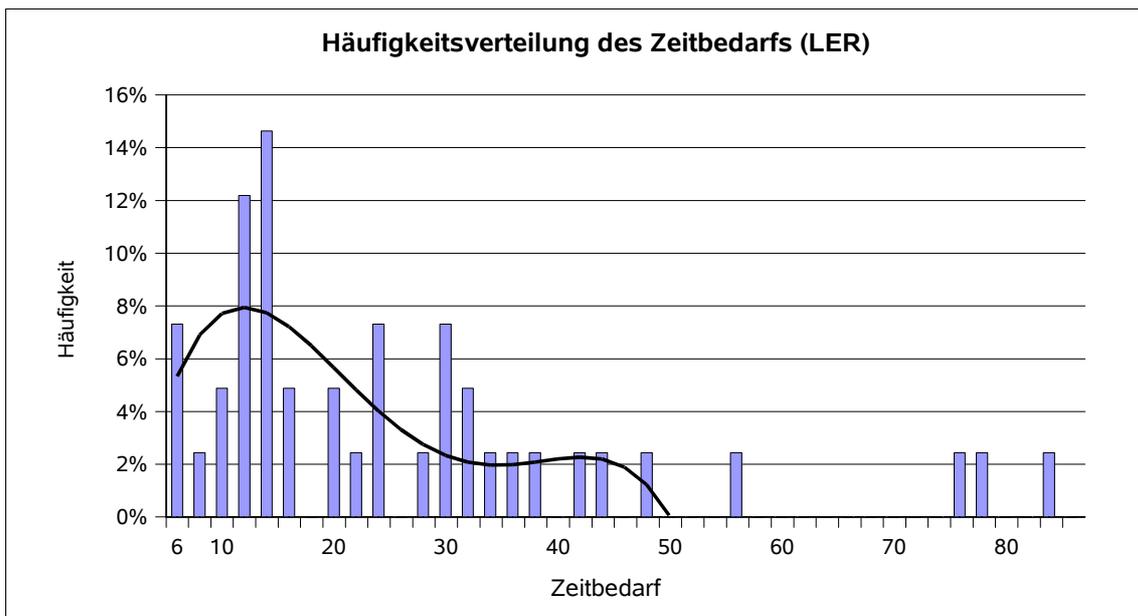
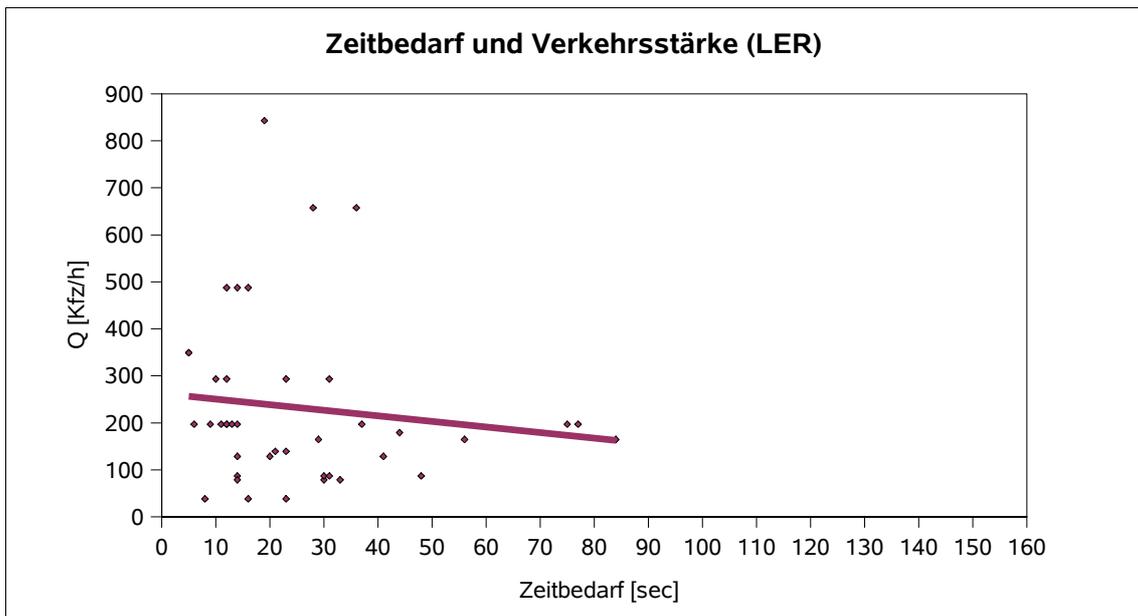
|                      |   |                    |          |
|----------------------|---|--------------------|----------|
| Polynom $x=[2...52]$ | $f(x) = -0,0000047 \cdot x^4 + 0,0007 \cdot x^3 - 0,0335 \cdot x^2 + 0,2208 \cdot x + 11,7$ |                    |          |
| Stichprobenumfang    | n= 163  |                    |          |
| Mittelwert           | 19,8 sec  | Standardabweichung | 18,8 sec |
| „Ausreißer“ ab       | 62 sec  | Anteil Ausreißer   | 3,7 %    |

**Rechteinparken vorwärts (REV)**



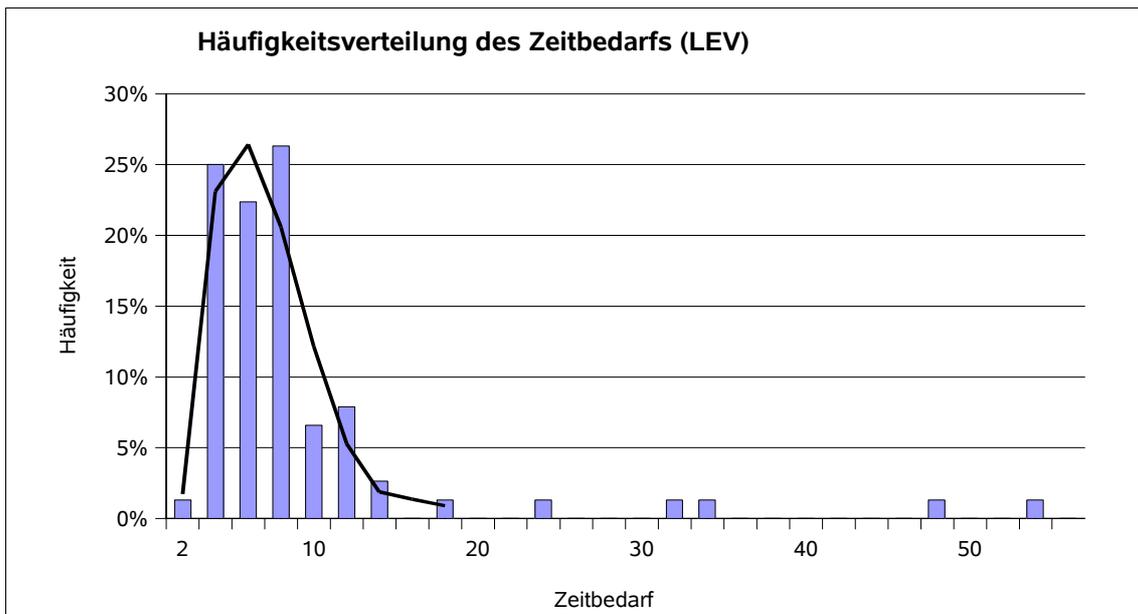
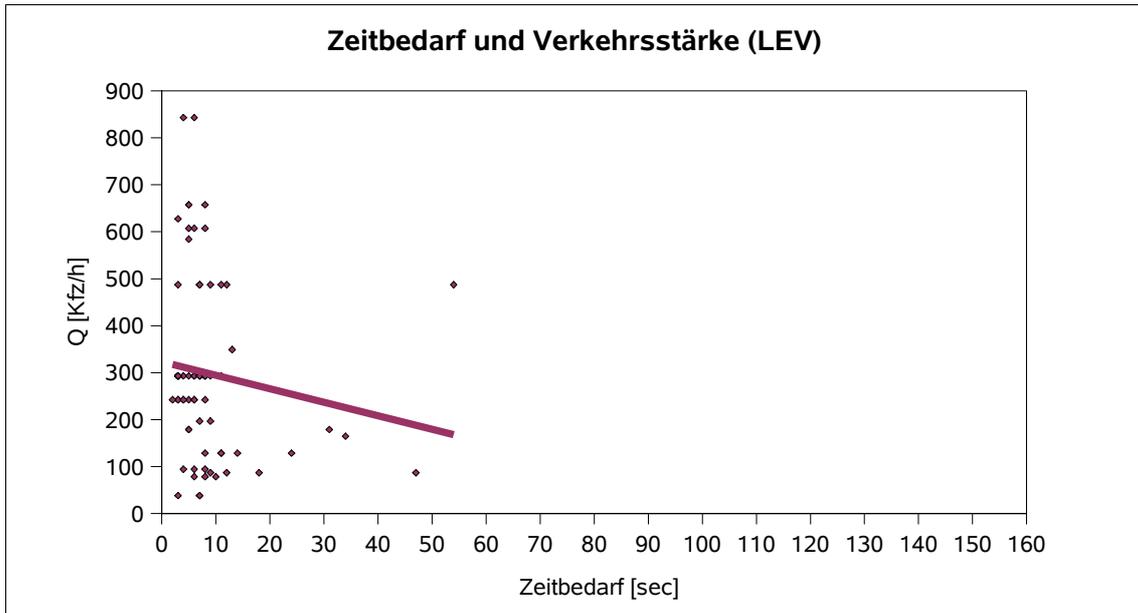
|                       |   |                             |
|-----------------------|---|-----------------------------|
| Polynom $x=[0...8]$ : | $f_1(x) = 0,0394 \cdot x^4 - 0,8107 \cdot x^3 + 4,1125 \cdot x^2 + 2,5676 \cdot x - 0,1419$ |                             |
| Hyperbel $x=[9...32]$ | $f_2(x) = \frac{1100}{x^2} - \frac{3}{x} - 0,1330$  |                             |
| Stichprobenumfang     | 165   |                             |
| Mittelwert            | 9,6 sec   | Standardabweichung 10,3 sec |
| „Ausreißer“ ab        | 34 sec  | Anteil Ausreißer 3 %        |

**Linkseinparken rückwärts (LER)**



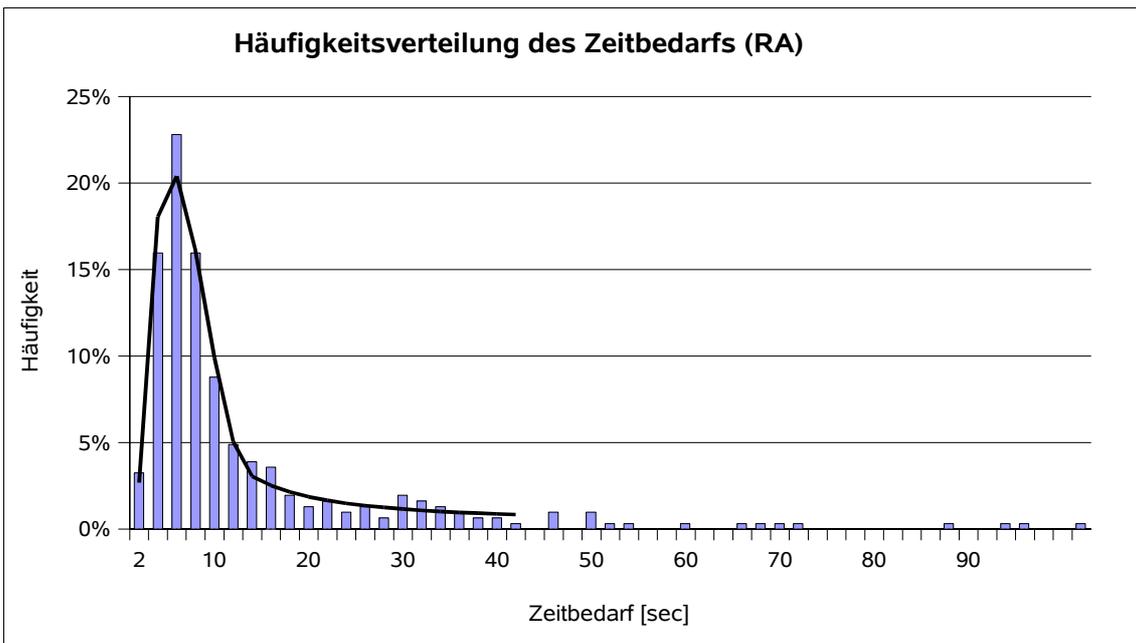
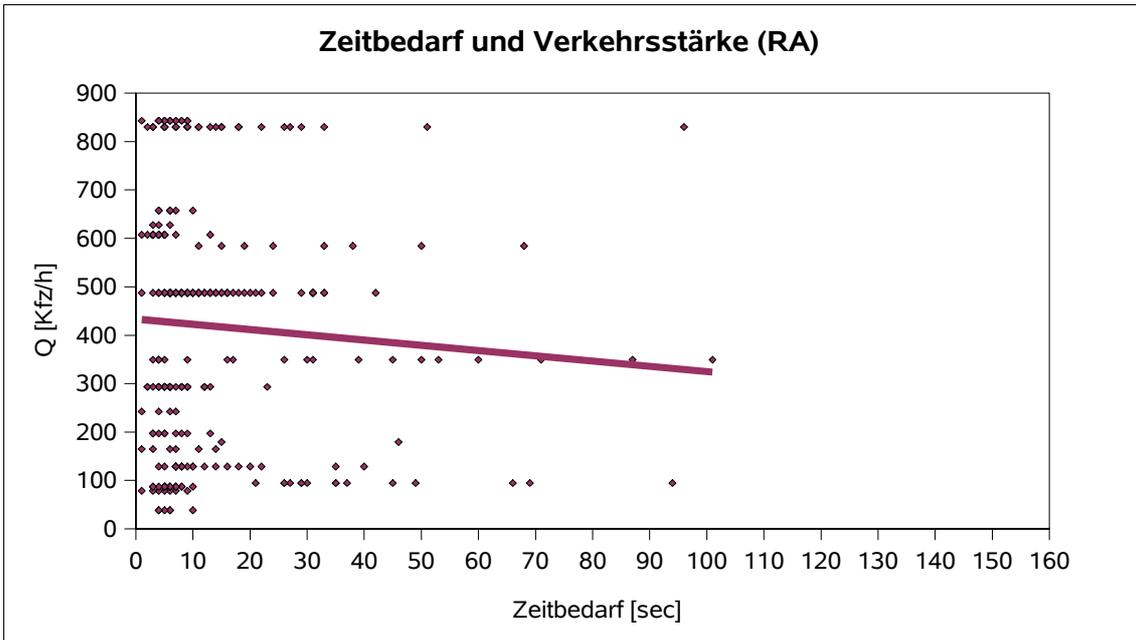
|                        |   |                    |        |
|------------------------|---|--------------------|--------|
| Polynom $x=[6...52]$ : | $f(x) = -0,00016 \cdot x^4 + 0,0019 \cdot x^3 - 0,0787 \cdot x^2 + 1,1569 \cdot x - 2,32$ |                    |        |
| Stichprobenumfang      | 41  |                    |        |
| Mittelwert             | 26 sec  | Standardabweichung | 19 sec |
| „Ausreißer“ ab         | 52 sec  | Anteil Ausreißer   | 9,8 %  |

**Linkseinparken vorwärts (LEV)**



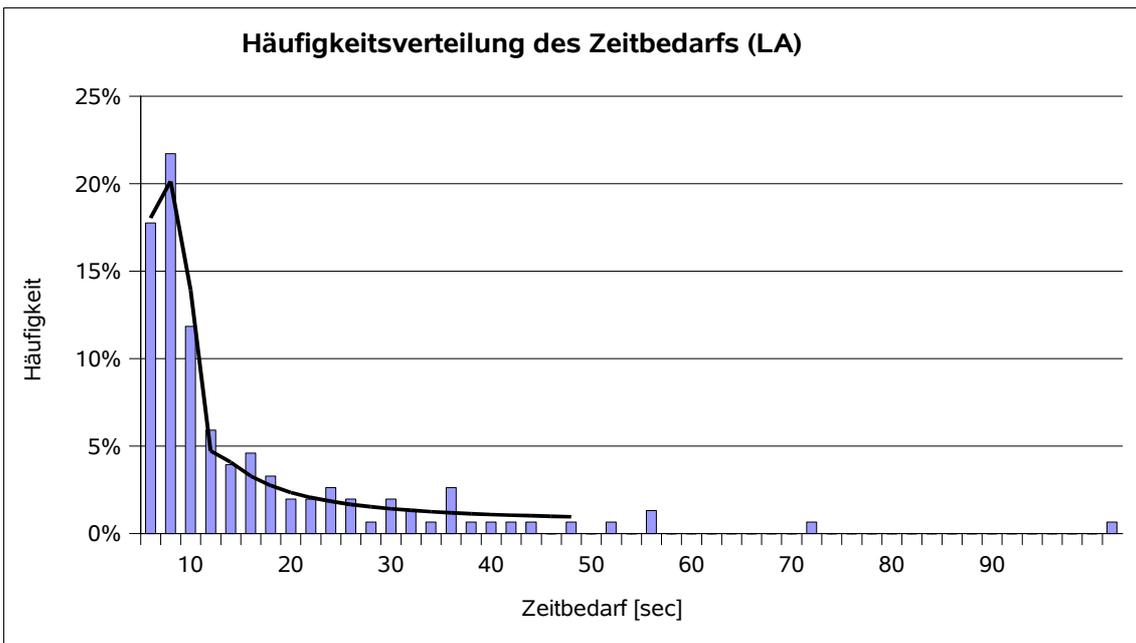
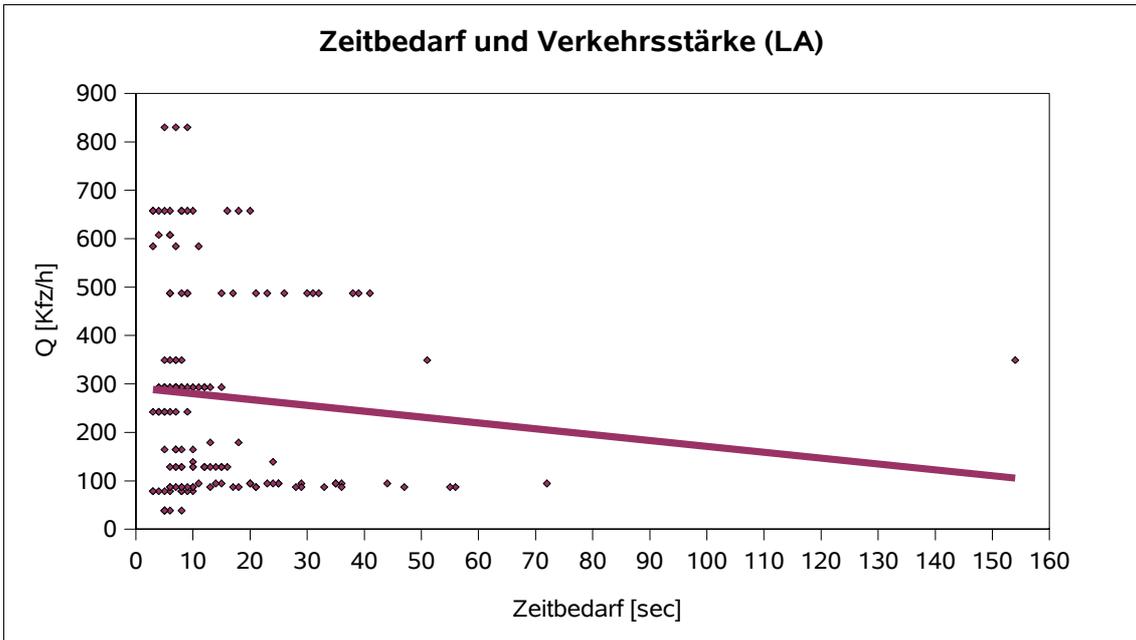
|                      |   |                    |         |
|----------------------|---|--------------------|---------|
| Polynom $x=[2...18]$ | $f(x) = -0,00466 \cdot x^4 + 0,2342 \cdot x^3 - 4,0605 \cdot x^2 + 26,4879 \cdot x - 32,22$ |                    |         |
| Stichprobenumfang    | 76  |                    |         |
| Mittelwert           | 8,7 sec   | Standardabweichung | 8,8 sec |
| „Ausreißer“ ab       | 18 sec  | Anteil Ausreißer   | 6,6 %   |

**Ausparken von rechts (RA)**



|                       |   |                             |
|-----------------------|---|-----------------------------|
| Polynom $x=[2...14]$  | $f_1(x) = -0,0128 \cdot x^4 + 0,6653 \cdot x^3 - 11,7005 \cdot x^2 + 76,7039 \cdot x - 103,4$ |                             |
| Hyperbel $x=[15..42]$ | $f_2(x) = \frac{1050}{x^2} + \frac{43,2}{x} + 0,963$  |                             |
| Stichprobenumfang     | 307   |                             |
| Mittelwert            | 13,3 sec  | Standardabweichung 15,6 sec |
| „Ausreißer“ ab        | 42 sec  | Anteil Ausreißer 5,5 %      |

**Ausparken von links (LA)**



|                           |   |                    |          |
|---------------------------|---|--------------------|----------|
| Polynom $x=[4\dots 18]$   | $f_1(x)=0,0253 \cdot x^4 - 0,7446 \cdot x^3 + 6,4687 \cdot x^2 - 14,2384 \cdot x + 8,0$ |                    |          |
| Hyperbel $x=[19\dots 48]$ | $f_2(x)=\frac{1000}{x^2} + \frac{1,60}{x} + 1,0000$                                     |                    |          |
| Stichprobenumfang         | 152   |                    |          |
| Mittelwert                | 14,7 sec  | Standardabweichung | 16,5 sec |
| „Ausreißer“ ab            | 48 sec  | Anteil Ausreißer   | 3,3 %    |

## Anhang 5: Erhebungsbeispiele

### Ludwigshafen am Rhein, Bismarckstraße



| <b>Situation</b>                       |   |
|--|---|
| Lage                                   | Zentrum, Verlängerung der Fußgängerzone |
| Randnutzungen                          | Handel, Dienstleistung, Wohnen          |
| Charakter der Straße                   | Sehr belebte Hauptgeschäftsstraße       |
| Erhebungszeitraum                      | 9:45 – 17:45 Uhr                        |
| Kfz (während Erhebung)                 | 2.770                                   |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 386                                     |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                    |
| Fußgängerquerungen                     | 530                                     |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                      |

| <b>Parkmanöver</b>                |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 3     |
| Linksparker (Ausparken)           | 3     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 46    |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 49    |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 4     |
| Anteil Linksparker                | 6,00% |

### Ludwigshafen am Rhein, Kaiser Wilhelm Straße



| <b>Situation</b>                       |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Lage                                   | Zentrum, Abschluss der Fußgängerzone |
| Randnutzungen                          | Handel, Dienstleistung, Wohnen       |
| Charakter der Straße                   | Sehr belebte Hauptgeschäftsstraße    |
| Erhebungszeitraum                      | 9:30 – 17:00 Uhr                     |
| Kfz (während Erhebung)                 | 4.304                                |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 638                                  |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                 |
| Fußgängerquerungen                     | 518                                  |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50                                   |

| <b>Parkvmanöver</b>               |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 2     |
| Linksparker (Ausparken)           | 3     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 111   |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 127   |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 4     |
| Anteil Linksparker                | 1,50% |

**Ludwigshafen am Rhein, Welslerstraße**

| <b>Situation</b>                       |                               |
|--|-------------------------------|
| Lage                                   | Zentrumsnahes Wohngebiet      |
| Randnutzungen                          | Wohnen, vereinzelt Versorgung |
| Charakter der Straße                   | Anliegerstraße                |
| Erhebungszeitraum                      | 09:00 – 18:15 Uhr             |
| Kfz (während Erhebung)                 | 794                           |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 154                           |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                          |
| Fußgängerquerungen                     | 396                           |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                            |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 21     |
| Linksparker (Ausparken)           | 24     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 60     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 61     |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 25,00% |

**Metz (Frankreich), Rue Frescaty**

| <b>Situation</b>                       |   |
|--|---|
| Lage                                   | Vorort von Metz                             |
| Randnutzungen                          | Überwiegend Wohnen                          |
| Charakter der Straße                   | Hauptverkehrsstraße,<br>Zubringer nach Metz |
| Erhebungszeitraum                      | 11:15 – 19:00 Uhr                           |
| Kfz (während Erhebung)                 | 5.095                                       |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 909   |
| Ahndung von Linksparken                | Nein  |
| Fußgängerquerungen                     | 235   |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50  |

| <b>Parkmanöver</b>                |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 7     |
| Linksparker (Ausparken)           | 7     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 46    |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 51    |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 3     |
| Anteil Linksparker                | 8,00% |

**Metz (Frankreich), Rue Graouilly**

| <b>Situation</b>                       |                                    |
|--|------------------------------------|
| Lage                                   | Stadtrand                          |
| Randnutzungen                          | Wohnen                             |
| Charakter der Straße                   | Anwohnerstraße mit hohem Parkdruck |
| Erhebungszeitraum                      | 10:15 – 18:00 Uhr                  |
| Kfz (während Erhebung)                 | 600                                |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 109                                |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                               |
| Fußgängerquerungen                     | Sehr wenig                         |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                 |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 30     |
| Linksparker (Ausparken)           | 28     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 45     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 50     |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 40,00% |

**Metz (Frankreich), Rue Petre**

| <b>Situation</b>                       |   |
|--|---|
| Lage                                   | Zentrumsnahes Mischgebiet                 |
| Randnutzungen                          | Vorwiegend Wohnen und Versorgung          |
| Charakter der Straße                   | Belebter Zubringer zu Hauptverkehrsstraße |
| Erhebungszeitraum                      | 10:45 – 18:45 Uhr                         |
| Kfz (während Erhebung)                 | 2.735                                     |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 511                                       |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                      |
| Fußgängerquerungen                     | Fast keine                                |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50  |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 6      |
| Linksparker (Ausparken)           | 7      |
| Rechtsparker (Einparken)          | 49     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 45     |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 11,00% |

**Metz (Frankreich), Rue Sablon**

| <b>Situation</b>                       |  |
|--|--|
| Lage                                   | Zentrumsnah                                |
| Randnutzungen                          | Wohnen, Handel und Gastronomie im EG       |
| Charakter der Straße                   | Belebt, relativ starke Verbindungsfunktion |
| Erhebungszeitraum                      | 10:00 – 18:30 Uhr                          |
| Kfz (während Erhebung)                 | 4.021                                      |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 605  |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                       |
| Fußgängerquerungen                     | 749  |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50   |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 59     |
| Linksparker (Ausparken)           | 55     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 191    |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 187    |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 24,00% |

## Pforzheim, Gymnasiumstraße



| <b>Situation</b>                       |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Lage                                   | Randgebiet                           |
| Randnutzungen                          | Wohnen, Gastronomie, produz. Gewerbe |
| Charakter der Straße                   | Langsam befahren, wenig belastet     |
| Erhebungszeitraum                      | 09:15 – 18:45 Uhr                    |
| Kfz (während Erhebung)                 | 365                                  |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 49                                   |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                 |
| Fußgängerquerungen                     | selten                               |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                   |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 36     |
| Linksparker (Ausparken)           | 37     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 41     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 45     |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 47,00% |

## Pforzheim, Kronprinzenstraße



| <b>Situation</b>                       |   |
|--|---|
| Lage                                   | Zentrumsnah                             |
| Randnutzungen                          | Wohnen, vereinzelt Versorgung / Gewerbe |
| Charakter der Straße                   | Relativ breiter Querschnitt             |
| Erhebungszeitraum                      | 08:45 – 19:00 Uhr                       |
| Kfz (während Erhebung)                 | 970                                     |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 127                                     |
| Ahndung von Linksparken                | Selten                                  |
| Fußgängerquerungen                     | Selten                                  |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                      |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 48     |
| Linksparker (Ausparken)           | 45     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 78     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 85     |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 3      |
| Anteil Linksparker                | 37,00% |

**Saarbrücken, Breite Straße**

| <b>Situation</b>                       |   |
|--|---|
| Lage                                   | Stadtrand                                 |
| Randnutzungen                          | Wohnen, Dienstleistung, Handel,           |
| Charakter der Straße                   | Hauptverkehrsstraße, Zubringer zu Zentrum |
| Erhebungszeitraum                      | 06:30 – 18:45 Uhr                         |
| Kfz (während Erhebung)                 | 10.537                                    |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 1.068                                     |
| Ahndung von Linksparken                | Selten                                    |
| Fußgängerquerungen                     | 523                                       |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50  |

| <b>Parkmanöver</b>                |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 3     |
| Linksparker (Ausparken)           | 2     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 106   |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 120   |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 11    |
| Anteil Linksparker                | 2,50% |

## Saarbrücken, Deutschherrenstraße 1



| <b>Situation</b>                       |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Lage                                   | Stadtrand                            |
| Randnutzungen                          | Wohnen, teilweise Versorgung         |
| Charakter der Straße                   | Hauptverkehrsstraße nach Saarbrücken |
| Erhebungszeitraum                      | 10:45 – 18:45 Uhr                    |
| Kfz (während Erhebung)                 | 4.988                                |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 719                                  |
| Ahndung von Linksparken                | Selten                               |
| Fußgängerquerungen                     | 206                                  |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50                                   |

| <b>Parkmanöver</b>                |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 0     |
| Linksparker (Ausparken)           | 0     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 33    |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 35    |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 4     |
| Anteil Linksparker                | 1,50% |

**Saarbrücken, Deutschherrenstraße 2**



| <b>Situation</b>                       |          |
|--|----------|
| Lage                                   | Wie oben |
| Randnutzungen                          |          |
| Charakter der Straße                   |          |
| Erhebungszeitraum                      |          |
| Kfz (während Erhebung)                 |          |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  |          |
| Ahndung von Linksparken                |          |
| Fußgängerquerungen                     |          |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] |          |

| <b>Parkmanöver</b>                |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 1     |
| Linksparker (Ausparken)           | 1     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 37    |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 38    |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 4     |
| Anteil Linksparker                | 2,50% |

## Saarbrücken, Deutscherrenstraße vor LSA



| <b>Situation</b>                       |          |
|--|----------|
| Lage                                   | Wie oben |
| Randnutzungen                          |          |
| Charakter der Straße                   |          |
| Erhebungszeitraum                      |          |
| Kfz (während Erhebung)                 | 4.890    |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 711      |
| Ahndung von Linksparken                | Selten   |
| Fußgängerquerungen                     | 124      |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50       |

| <b>Parkmanöver</b>                |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 3     |
| Linksparker (Ausparken)           | 4     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 33    |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 41    |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 6     |
| Anteil Linksparker                | 7,00% |

## Saarbrücken, Ludwigstraße



| <b>Situation</b>                       |                                    |
|--|------------------------------------|
| Lage                                   | Stadtrand                          |
| Randnutzungen                          | Wohnen, Versorgung, Dienstleistung |
| Charakter der Straße                   | Relativ belebt                     |
| Erhebungszeitraum                      | 07:15 – 19:30 Uhr                  |
| Kfz (während Erhebung)                 | 3.567                              |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 390                                |
| Ahndung von Linksparken                | Selten                             |
| Fußgängerquerungen                     | 337                                |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                 |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 33     |
| Linksparker (Ausparken)           | 32     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 39     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 41     |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 4      |
| Anteil Linksparker                | 43,00% |

## Salzburg (Österreich), Aiglhofstraße



| <b>Situation</b>                       |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Lage                                   | Stadtrand                           |
| Randnutzungen                          | Wohnen, vereinzelt Versorgung       |
| Charakter der Straße                   | Stark befahrene Hauptverkehrsstraße |
| Erhebungszeitraum                      | 09:45 – 17:30 Uhr                   |
| Kfz (während Erhebung)                 | 6.432                               |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 885                                 |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                |
| Fußgängerquerungen                     | Selten                              |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 50                                  |

| <b>Parkmanöver</b>                |       |
|-----------------------------------|-------|
| Linksparker (Einparken)           | 1     |
| Linksparker (Ausparken)           | 0     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 29    |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 31    |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 1     |
| Anteil Linksparker                | 3,00% |

## Salzburg (Österreich), Auerspergstraße (nord)



| <b>Situation</b>                       |                                    |
|--|------------------------------------|
| Lage                                   | Zentrum                            |
| Randnutzungen                          | Wohnen, Versorgung, Dienstleistung |
| Charakter der Straße                   | Zahlreiche Fußgänger und Radfahrer |
| Erhebungszeitraum                      | 08:45 – 16:45 Uhr                  |
| Kfz (während Erhebung)                 | 1.927                              |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 365                                |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                               |
| Fußgängerquerungen                     | Häufig                             |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                 |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 15     |
| Linksparker (Ausparken)           | 11     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 61     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 63     |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 1      |
| Anteil Linksparker                | 20,00% |

**Salzburg (Österreich), Auerspergstraße (süd)**



| <b>Situation</b>                       |          |
|--|----------|
| Lage                                   | Wie oben |
| Randnutzungen                          |          |
| Charakter der Straße                   |          |
| Erhebungszeitraum                      |          |
| Kfz (während Erhebung)                 |          |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  |          |
| Ahndung von Linksparken                |          |
| Fußgängerquerungen                     |          |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] |          |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 16     |
| Linksparker (Ausparken)           | 16     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 73     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 80     |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 2      |
| Anteil Linksparker                | 18,00% |

**Salzburg (Österreich), Bayernstraße (nord)**

| <b>Situation</b>                       |  |
|--|--|
| Lage                                   | Stadttrand                               |
| Randnutzungen                          | Wohnen                                   |
| Charakter der Straße                   | Anwohnerstraße mit etwas Schleichverkehr |
| Erhebungszeitraum                      | 10:45 17:45 Uhr                          |
| Kfz (während Erhebung)                 | 1.282                                    |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 237                                      |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                     |
| Fußgängerquerungen                     | Selten                                   |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                       |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 7      |
| Linksparker (Ausparken)           | 8      |
| Rechtsparker (Einparken)          | 17     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 17     |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 29,00% |

**Salzburg (Österreich), Bayernstraße (süd)**



| <b>Situation</b>                       |          |
|--|----------|
| Lage                                   | Wie oben |
| Randnutzungen                          |          |
| Charakter der Straße                   |          |
| Erhebungszeitraum                      |          |
| Kfz (während Erhebung)                 |          |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  |          |
| Ahndung von Linksparken                |          |
| Fußgängerquerungen                     |          |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] |          |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 8      |
| Linksparker (Ausparken)           | 10     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 11     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 19     |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 42,00% |

## Salzburg (Österreich), Faberstraße (nord)



| <b>Situation</b>                       |  |
|--|--|
| Lage                                   | Zentrum                                  |
| Randnutzungen                          | Wohnen, Dienstleistung, Verwaltung       |
| Charakter der Straße                   | Stark belebt, viele Fußgänger, Radfahrer |
| Erhebungszeitraum                      | 08:30 – 16:45 Uhr                        |
| Kfz (während Erhebung)                 | 1172                                     |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 210                                      |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                                     |
| Fußgängerquerungen                     | Häufig                                   |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                                       |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 22     |
| Linksparker (Ausparken)           | 21     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 66     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 62     |
| Rechtseinparker nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 22,00% |

## Salzburg (Österreich), Faberstraße (süd)



| <b>Situation</b>                       |                   |
|--|-------------------|
| Lage                                   | Wie oben          |
| Randnutzungen                          |                   |
| Charakter der Straße                   |                   |
| Erhebungszeitraum                      | 08:30 – 16:45 Uhr |
| Kfz (während Erhebung)                 | 1.172             |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 210               |
| Ahndung von Linksparken                | Nein              |
| Fußgängerquerungen                     | Häufig            |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 22     |
| Linksparker (Ausparken)           | 21     |
| Rechtsparker (Einparken)          | 66     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 62     |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 0      |
| Anteil Linksparker                | 25,00% |

## Salzburg (Österreich), Stelzhamer Straße



| <b>Situation</b>                       |                      |
|--|----------------------|
| Lage                                   | Zentrum              |
| Randnutzungen                          | Wohnen               |
| Charakter der Straße                   | Relativ stark belebt |
| Erhebungszeitraum                      | 08:15 – 16:30 Uhr    |
| Kfz (während Erhebung)                 | 1.142                |
| Spitzenstunde [Kfz/h]                  | 257                  |
| Ahndung von Linksparken                | Nein                 |
| Fußgängerquerungen                     | Relativ häufig       |
| Zulässige Höchstgeschwindigkeit [Km/h] | 30                   |

| <b>Parkmanöver</b>                |        |
|-----------------------------------|--------|
| Linksparker (Einparken)           | 10     |
| Linksparker (Ausparken)           | 5      |
| Rechtsparker (Einparken)          | 14     |
| Rechtsparker (Ausparken)          | 15     |
| Rechtseinparken nach Wendemanöver | 3      |
| Anteil Linksparker                | 37,00% |