

# **Verkehrsqualitäts- stufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/ Straßenbahnkörpern**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 182**

**bast**

# Verkehrsqualitäts- stufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/ Straßenbahnkörpern

von

Andreas Sümmermann  
Christian Lank  
Bernhard Steinauer

Institut für Straßenwesen Aachen  
RWTH Aachen

Michael M. Baier  
Reinhold Baier  
Alexandra Klemps-Kohnen

BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung  
Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 182

**bast**

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.476/2003:**  
Verkehrsqualität städtischer Hauptverkehrsstraßennetze  
(Teil 1)

### Projektbetreuung

Markus Lerner

### Herausgeber

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

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-86509-914-2

Bergisch Gladbach, Juni 2009

## Kurzfassung – Abstract

### **Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern**

Hauptverkehrsstraßen sind in der Regel Bestandteil überörtlicher Straßennetze, bilden aber gleichzeitig auch wichtige städtebauliche und stadtverkehrliche Achsen und befinden sich somit in einem Spannungsfeld zwischen den Funktionen aus dem Verbindungsbedarf von Orten und Ortsteilen und der Erschließungsfunktion aus dem städtebaulichen Zusammenhang mit angrenzenden baulichen und sonstigen Umfeldnutzungen. Für die Netzkapazität sind in erster Linie die Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen maßgebend, da hier Straßen mit gleicher Verbindungsbedeutung und entsprechend hohen Verkehrsstärken zusammentreffen. Die Qualität des Verkehrsablaufs auf den Streckenabschnitten zwischen diesen Knotenpunkten ist dagegen in starkem Maße durch die im Straßenraum jeweils festzustellenden Nutzungsbilder geprägt. Die Verkehrs- und die Verbindungsqualität innerörtlicher Hauptverkehrsstraßenzüge und damit auch -netze sind somit nicht nur von den Knotenpunkten, deren Abständen sowie dem Ausbau und der Lichtsignaltechnischen Steuerung (besonders bedeutsam ist in diesem Zusammenhang deren Koordinierungsqualität), sondern auch von den dazwischenliegenden Streckenabschnitten und deren Erschließungsfunktion abhängig.

Zielsetzungen dieses Forschungsvorhabens sind

- zum einen die Erarbeitung differenzierter Qualitätsstufenkonzepte für den Kraftfahrzeug- und den Stadt-/Straßenbahnverkehr zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern (Teil 1) und
- zum anderen die Ermittlung eines Verfahrens zur Bestimmung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten in städtischen Hauptverkehrsstraßenzügen unter Berücksichtigung der Verkehrsqualitäten der Einzelanlagen und eventueller Netzeffekte (Teil 2).

Im hier vorliegenden Teil 1 wird das bereits in vorhergehenden Forschungsvorhaben entwickelte Verfahren zur Bewertung der Kraftfahrzeugverkehrsqualität in Streckenabschnitten auf Abschnitten mit straßenbündigen Bahnkörpern erweitert. Des

Weiteren wird ein Verfahren zur Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf Mischverkehrsstrecken entwickelt. Die Verfahren erlauben unterschiedliche Entwurfsvarianten sowie verkehrsorganisatorische Maßnahmen in Streckenabschnitten im Zuge der Neu- bzw. Umgestaltung von Hauptverkehrsstraßen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Verkehrsqualität zu bewerten.

Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Fortschreibung des HBS, die für das Jahr 2009 vorgesehen ist. Gleichzeitig stellen sie einen erforderlichen Input für die Bearbeitung des Teils 2 dar, da erst mit dieser Ergänzung alle relevanten Fahrbahnquerschnitte städtischer Hauptverkehrsstraßen abgedeckt sind, die eine entsprechend umfassende übergreifende Betrachtung des Verkehrsablaufs erlaubt.

Der Originalbericht enthält als Anhänge die Geschwindigkeitsprofile der empirisch untersuchten Straßen (Anhang 1), die Überprüfung des Bestimmungsverfahrens der Einflussbereiche von Knotenpunkten (Anhang 2), Bewertungs- und Simulationsergebnisse (Anhang 3 und 4) sowie zusätzliche Diagramme zur Ermittlung der Qualität des Kraftfahrzeug- und des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs (Anhang 5). Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

### **Staged traffic quality concepts for main roads with metropolitan / commuter railway systems bordering on the road**

Main roads usually are a component of regional road networks but concurrently represent important urbanistic and urban traffic axes. That is why they are between the priorities of connectivity requirements of localities and districts and the development function of the urbanistic context with the neighbouring architectural and other use of environment. In first place, the junctions of coequal main roads are decisive for the network capacity because here roads with the same importance of development and complying high traffic flow meet.

Whereas, the quality of traffic flow on the road sections between these junctions is mainly characterized by the utilisation profiles of the road space, which have to be determined. Therefore, the traffic quality and quality of development in urbanistic main road segments and so also in main road networks do not depend only on the junctions, their distance and the structure of the traffic lights (especially the connection of the quality of coordination) but also on the road sections between and their development function.

Two objectives were monitored in this research project:

- On the one hand, the definition of differentiated concepts of quality levels for motor vehicle and commuter rail/streetcar traffic for the evaluation of traffic flow on main roads with railway constructions flush with the street (Part 1) and
- on the other hand, definition of methods for determination of traffic and connectivity qualities in segments of urban main roads considering the traffic qualities of the individual systems and possible network effects (Part 2).

In Part 1, which you are reading, the method for assessing traffic quality on road segments developed in previous research projects has been extended for road segments with track centres flush with the street. In addition, a method for assessing the commuter rail/streetcar traffic flow on mixed traffic segments was developed. The method enables to rate different draft alternatives as well as traffic organisational measures on road segments in the course of new or redevelopment of main roads concerning their effect on the traffic quality.

The results are used as the basis for up-dating HBS expected for 2009. Concurrently they represent a necessary input to the work on Part 2, because only with this complement all relevant roadway profiles can be considered and only then a broad overall view on the traffic flow is possible.

The original report contains the appendices with the speed profiles for the empirically investigated roads (Appendix 1), the investigation into the procedure for determining the influence areas of intersections (Appendix 2), the evaluation and simulation results (Appendix 3 and 4), as well as additional diagrams for determining the quality of the vehicle and the municipal/commuter railway traffic (Appendix 5). These appendices have not been included in this

publication. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to the appendices in the body of the report were retained for the information of the reader.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Zielsetzung</b> . . . . .	11	6.3	Erkenntnisse zum Verkehrsablauf aus den empirischen Untersuchungen . . . . .	32
<b>2</b>	<b>Untersuchungsansatz</b> . . . . .	12	6.3.1	Einfluss der Querschnittsaufteilung und -nutzung . . . . .	33
2.1	Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen . . . . .	13	6.3.2	Einfluss von Erschließungsvorgängen . . . . .	33
2.2	Überlagerung der Nutzungsansprüche aus Verbindungs- und Erschließungsfunktion . . . . .	14	6.3.3	Einfluss der Lichtsignalsteuerung . . . . .	34
2.3	Prinzip und Aufbau der Qualitätsstufenkonzepte . . . . .	15	<b>7</b>	<b>Bestimmung der Streckenabschnitte</b> . . . . .	34
2.3.1	Konzept zur Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs . . . . .	15	7.1	Analyse von Geschwindigkeitsprofilen zur Ermittlung der Streckenabschnittslängen . . . . .	36
2.3.2	Konzept zur Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs . . . . .	17	7.2	Ableitung eines Verfahrens zur Bestimmung der Einflussbereiche von Knotenpunkten . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Vorgehensweise</b> . . . . .	17	<b>8</b>	<b>Qualitätskriterien und Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs</b> . . . . .	41
<b>4</b>	<b>Relevante Fahrbahnquerschnitte</b> . . . . .	19	8.1	Qualitätskriterium und -stufen des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs . . . . .	41
4.1	Zweistreifige Fahrbahnen . . . . .	19	8.1.1	Überprüfung und Festlegung des Qualitätskriteriums . . . . .	42
4.2	Vierstreifige Fahrbahnen . . . . .	19	8.1.2	Ableitung der Qualitätsstufenstruktur . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Einflussgrößen auf den Verkehrsablauf</b> . . . . .	21	8.2	Qualitätskriterium und -stufen des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs . . . . .	45
5.1	Ablauf des Kraftfahrzeugverkehrs . . . . .	23	8.2.1	Überprüfung und Festlegung des Qualitätskriteriums . . . . .	45
5.2	Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs . . . . .	26	8.2.2	Ableitung der Qualitätsstufenstruktur . . . . .	46
5.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen . . . . .	26	<b>9</b>	<b>Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums</b> . . . . .	53
<b>6</b>	<b>Empirische Untersuchungen des Verkehrsablaufs an ausgewählten Fallbeispielen</b> . . . . .	27	9.1	Grundlagen des eingesetzten Simulationsmodells . . . . .	53
6.1	Auswahl der Fallbeispiele . . . . .	27	9.2	Grundlagen der Kalibrierung und Validierung . . . . .	54
6.1.1	Straßenzüge mit zweistreifiger Fahrbahn mit straßenbündigen Bahnkörpern . . . . .	28	9.3	Netzgeometrien . . . . .	55
6.1.2	Straßenzüge mit vierstreifiger Fahrbahn mit straßenbündigen Bahnkörpern . . . . .	29	9.4	Grundannahmen zur Abbildung von Erschließungsvorgängen . . . . .	56
6.2	Durchführung und Auswertung der empirischen Untersuchungen . . . . .	31	9.5	Belastungsfälle . . . . .	58
			9.5.1	Kraftfahrzeugverkehrsstärken . . . . .	58

9.5.2	Quantifizierung relevanter Erschließungsvorgänge .....	58	10.4.3	Zusammenfassende Beurteilung des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt .....	79
9.5.3	Belastungszustände aus Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus Verbindungs- und Erschließungsfunktion .....	62	10.5	Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs .....	79
9.6	Auswertung der Simulationen .....	64	10.5.1	Qualitätskriterium und Qualitätsstufen .....	79
9.7	Erkenntnisse zum Verkehrsablauf aus den Simulationsuntersuchungen .....	65	10.5.2	Bewertung einzelner Teilabschnitte .....	80
9.7.1	Grundsätzliche Auswirkungen der Mischverkehrsführung auf den Kraftfahrzeugverkehr .....	66	10.5.3	Zusammenfassende Beurteilung des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt .....	81
9.7.2	Grundsätzliche Auswirkungen der Mischverkehrsführung auf den Stadt-/ Straßenbahnverkehr .....	67	<b>11</b>	<b>Ergebnisbetrachtung</b> .....	81
9.7.3	Auswirkungen von Störeinflüssen auf den MIV und den ÖPNV .....	67	11.1	Einsatzgrenzen straßenbündiger Stadt-/Straßenbahnkörper .....	82
9.7.4	Schlussfolgerungen für die Qualitätsstufenkonzepte .....	69	11.2	Anwendungsmöglichkeiten der Qualitätsstufenkonzepte .....	82
<b>10</b>	<b>Darstellung der Qualitätsstufenkonzepte</b> .....	75	11.3	Offene Fragen und weiterer Untersuchungsbedarf .....	83
10.1	Anwendungsbereich und Einsatzgrenzen .....	75	11.3.1	Quantifizierung der Nutzungsansprüche aus der Erschließungsfunktion bezogen auf typische Entwurfsituationen .....	83
10.2	Einflussgrößen und Bewertungsgrundlagen .....	76	11.3.2	Konkretisierung und Erweiterung der teilabschnittsbezogenen Bewertungsgrundlagen .....	83
10.2.1	Linienführung .....	76	11.3.3	Erweiterung der Bewertungskriterien für den ÖPNV auf Mischverkehrsstrecken .....	84
10.2.2	Fahrbahnquerschnitt .....	76	<b>12</b>	<b>Fazit</b> .....	85
10.2.3	Steuerungsbedingungen .....	76	<b>Literatur</b> .....	85	
10.2.4	Bemessungsverkehrszustände .....	76			
10.3	Festlegung von Streckenabschnitten .....	77			
10.3.1	Ermittlung der Einflussbereiche von Knotenpunkten .....	78			
10.3.2	Bildung von Teilabschnitten .....	78			
10.4	Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs .....	78			
10.4.1	Qualitätskriterium und Qualitätsstufen .....	78			
10.4.2	Bewertung einzelner Teilabschnitte .....	78			

## Glossar

$B_{FS}$	Fahrstreifenbreite [m]	$L'_{KE,Aus}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Ausfahrt, bezogen auf die Haltelinie [m]
$b_{SV}$	Schwerverkehrsanteil [%]	$L_{KE,Zu}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Zufahrt, bezogen auf die Knotenpunktmitte [m]
$C$	Kapazität [Kfz/h] bzw. [Kfz/(h x Ri)]	$L'_{KE,Zu}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Zufahrt, bezogen auf die Haltelinie [m]
$C_S$	Kapazität des Streckenabschnitts [Kfz/(h x Ri)]	$L_{KE,Zu,b}$	Länge des Annäherungsbereichs mit Geschwindigkeitsverzögerung [m]
$C_T$	Kapazität des Teilabschnitts [Kfz/(h x Ri)]	$L_{KI}$	Abstand von der Haltelinie bis Knotenpunktmitte [m]
$f_{\ddot{O}V,LSA}$	Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen [-]	$L_{\ddot{O}V}$	Länge der betrachteten ÖV-Strecke von Haltestelle bis Haltestelle [m]
$f_{\ddot{O}V,LSA,S}$	Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen im Streckenabschnitt [-]	$L_S$	Länge des Streckenabschnitts außerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen [m]
$l_{\ddot{O}V}$	Beförderungsgeschwindigkeitsindex [-]	$L_{SE}$	nutzbare Länge des Streckenabschnitts [m]
Kfz	Kraftfahrzeug	$L_T$	Länge des Teilabschnitts [m]
$k$	(mittlere) Dichte [Pkw-E/(km x Ri)]	$L_{T,min}$	Mindestlänge eines Teilabschnitts [m]
$k_i$	Dichte innerhalb des Zeitintervalls $\Delta T_i$ [Kfz/km]	$L_{TE}$	nutzbare Länge des Teilabschnitts [m]
$k_m$	momentan erfasste Dichte zum Zeitpunkt $t_m$ [Pkw-E/(km x Ri)]	Lkw	Lastkraftwagen
$\bar{k}_m$	Mittelwert der fortlaufend momentan erfassten Dichten $k_m$ [Pkw-E/(km x Ri)]	LSA	Lichtsignalanlage
$k_{max}$	maximale Dichte [Pkw-E/(km x Ri)]	MIV	motorisierter Individualverkehr
$k_s$	(mittlere) Dichte auf einem Streckenabschnitt [Pkw-E/(km x Ri)]	$n_{FG}$	Anzahl der Anforderungen an bedarfs-gesteuerten Fußgängerfurten [Anf.]
$k_T$	räumlich-zeitliche Dichte im Teilabschnitt [Kfz/km] bzw. mittlere Dichte im Teilabschnitt [Pkw-E/(km x Ri)]	$n'_{FG}$	Anzahl der Anforderungen an bedarfs-gesteuerten Fußgängerfurten pro 3 Umläufe [Anf./3 U]
$L_H$	(mittlerer) Haltestellenabstand [m]	$n'_{FG,S}$	Anzahl der Anforderungen an bedarfs-gesteuerten Fußgängerfurten im Streckenabschnitt pro 3 Umläufe [Anf./3 U]
$L_K$	Knotenpunktabstand, bezogen auf die Knotenpunktmitte [m]	$n'_{FG,T}$	Anzahl der Anforderungen an bedarfs-gesteuerten Fußgängerfurten im Teilabschnitt pro 3 Umläufe [Anf./3 U]
$L'_K$	Knotenpunktabstand als Abstand von Haltelinie zu Haltelinie [m]	$n_{FS,S}$	Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen im Querschnitt des betrachteten Streckenabschnitts [-]
$L_{KE}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts [m]		
$L_{KE,Aus}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Ausfahrt, bezogen auf die Knotenpunktmitte [m]		

$n_{FS,S,kr}$	Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen im Querschnitt auf der Strecke der kreuzenden Hauptverkehrsstraße [-]	$n'_{PV}$	Einparkvorgänge je 100 m nutzbarer Länge [Kfz/(h x 100 m)]
$n_H$	Anzahl der Haltestellen [-]	$n_{PV,SE}$	Einparkvorgänge im Streckenabschnitt [Kfz/(h x Ri)]
$n_{H,S}$	Anzahl der Haltestellen im Streckenabschnitt [-]	$n'_{PV,SE}$	Einparkvorgänge je 100 m nutzbarer Länge im Streckenabschnitt [Kfz/(h x 100 m)]
$n_{HV}$	Haltevorgänge auf der Fahrbahn [Kfz/(h x Ri)]	$n_{PV,T}$	Einparkvorgänge im Teilabschnitt [Kfz/(h x Ri)]
$n'_{HV}$	Haltevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge [Kfz/(h x 100 m)]	ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
$n_{HV,SE}$	Haltevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge im Streckenabschnitt [Kfz/(h x 100 m)]	Pkw	Personenkraftwagen
$n_{HV,T}$	Haltevorgänge auf der Fahrbahn im Teilabschnitt [Kfz/(h x Ri)]	Pkw-E	Pkw-Einheit
$n'_{LA}$	Linksabbiegeranteil [%]	QSV	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs
$n'_{LA,S}$	Linksabbiegeranteil an Anschlussknotenpunkten im Streckenabschnitt [%]	QSV <sub>K</sub>	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs an einem Knotenpunkt
$n'_{LA,T}$	Linksabbiegeranteil an Anschlussknotenpunkten im Teilabschnitt [%]	QSV <sub>S</sub>	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt
$n_{LSA}$	Anzahl der Lichtsignalanlagen mit potenziellem Einfluss auf den ÖPNV auf der ÖV-Strecke [-]	q	Verkehrsstärke [Kfz/h] bzw. [Kfz/(h x Ri)]
$n'_{LSA}$	relative Anzahl von Lichtsignalanlagen, bezogen auf die betrachtete ÖV-Strecke [LSA/km]	q <sub>B</sub>	Bemessungsverkehrsstärke [Kfz/(h x Ri)]
$n_{LV}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn [Kfz/(h x Ri)]	q <sub>G</sub>	Gegenverkehrsstärke [Kfz/(h x Ri)]
$n'_{LV}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge [Kfz/(h x 100 m)]	RBL	rechnergestütztes Betriebsleitsystem
$n_{LV,SE}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn im Streckenabschnitt [Kfz/(h x Ri)]	S-Nr.	Streckenabschnitt-Nummer
$n'_{LV,SE}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge im Streckenabschnitt [Kfz/(h x 100 m)]	Strab	Stadt-/Straßenbahn
$n_{LV,T}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn im Teilabschnitt [Kfz/(h x Ri)]	s	Längsneigung [%]
$n'_{LV,TE}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge im Teilabschnitt [Kfz/(h x 100 m)]	T	Betrachtungszeitraum [s]
$n_{ÖV}$	Stadt-/Straßenbahnfrequenz [Strab/h]	$\Delta T_i$	Zeitintervall mit konstanter Dichte $k_i$ [s]
$n_{PV}$	Einparkvorgänge [Kfz/(h x Ri)]	$t_i$	Zeit, die das Fahrzeug i innerhalb der betrachteten Weg-Zeit-Fläche verbringt [Kfz x s]
		$t_r$	Räumzeit [s]
		$t_{Ab}$	Abgangszeit [min]
		$t_B$	Zeitbedarfswert [s/Kfz]
		$t_F$	(mittlere) Fahrzeit als Zeit über den zurückgelegten Weg einschließlich aller Zeitverluste gegenüber einer freien, unbehinderten Fahrt [s] oder [h]
		$t_F$	Freigabezeit, hier für den maßgebenden Hauptverkehrsstrom in der betrachteten Knotenpunktzufahrt (in der Regel der Geradeausverkehr) [s]

$t_{F,\ddot{O}V}$	Fahrtzeit über betrachtete $\ddot{O}V$ -Strecke bzw. über mittleren Haltestellenabstand mit $V_{zul}$ [s]	$V_{\ddot{O}V}$	(mittlere) Beförderungsgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ [km/h]
$t_{F,\ddot{O}V,T}$	Durchfahrtzeit des $\ddot{O}PNV$ durch den Teilabschnitt [s]	$V_{\ddot{O}V,ideal}$	ideale Beförderungsgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ [km/h]
$t_{H,\ddot{O}V}$	(mittlere) Haltestellenaufenthaltszeit [s]	$V'_{\ddot{O}V,ideal}$	angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ [km/h]
$t_{H,\ddot{O}V,a}$	(mittlere) Verlustzeit bei der Haltestellenabfahrt [s]	$V_{\ddot{O}V,ideal,S}$	ideale Beförderungsgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ auf dem Streckenabschnitt [km/h]
$t_{H,\ddot{O}V,b}$	(mittlere) Verlustzeit bei der Haltestellenanfahrt [s]	$V'_{\ddot{O}V,ideal,S}$	angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ auf dem Streckenabschnitt [km/h]
$t_{HV}$	Haltezeit auf der Fahrbahn [s]	$V'_{\ddot{O}V,max}$	maximale Beförderungsgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ [km/h]
$t_{LV}$	Liefer-/Ladezeit auf der Fahrbahn [s]	$V_{\ddot{O}V,T}$	mittlere Beförderungsgeschwindigkeit auf dem Teilabschnitt [km/h]
$t_{\ddot{O}V}$	(gesamte) Beförderungszeit im $\ddot{O}PNV$ [s]	$V_R$	(mittlere) Reisegeschwindigkeit aus der Fahrtzeit über den zurückgelegten Weg zuzüglich Zu- und Abgangszeiten $t_{Zu}$ und $t_{Ab}$ sowie Parksuchzeiten $t_{PS}$ [km/h]
$t_{PS}$	Parksuchzeit [min]	$V_{zul}$	zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]
$t_{PV}$	Zeit (mit potenziellem Störeinfluss) eines Einparkvorgangs [s]	VQS	Verbindungsqualitätsstufe
$t_R$	(mittlere) Reisezeit als Fahrtzeit über den zurückgelegten Weg zuzüglich Zu- und Abgangszeiten $t_{Zu}$ und $t_{Ab}$ sowie Parksuchzeiten $t_{PS}$ [s] oder [h]	$\sigma_{V,\ddot{O}V}$	Standardabweichung der Beförderungsgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ [km/h]
$t_S$	Sperrzeit [s]		
$t_U$	Umlaufzeit [s]		
$t_V$	Verlustzeit [s]		
$t_{V,H}$	Verlustzeit durch Haltestellen [s]		
$t_W$	(mittlere) Wartezeit [s]		
$t_Z$	Zwischenzeit [s]		
$t_{Zu}$	Zugangszeit [min]		
$\tau$	Messintervall [s]		
U	Umlauf		
V	Geschwindigkeit [km/h]		
$V_{15}$	Geschwindigkeit, die von 85 % der Fahrzeuge überschritten wird [km/h]		
$V_{85}$	Geschwindigkeit, die von 85 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird [km/h]		
$V_F$	(mittlere) Fahrgeschwindigkeit aus der Zeit über den zurückgelegten Weg einschließlich aller Zeitverluste gegenüber einer freien, unbehinderten Fahrt [km/h]		
$V_{F,\ddot{O}V}$	Fahrgeschwindigkeit des $\ddot{O}PNV$ [km/h]		
$V_M$	mittlere Geschwindigkeit [km/h]		



## 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Hauptverkehrsstraßen sind in der Regel Bestandteil überörtlicher Straßennetze, bilden aber gleichzeitig auch wichtige städtebauliche und stadtkverkehrliche Achsen und befinden sich somit in einem Spannungsfeld zwischen den Funktionen aus dem Verbindungsbedarf von Orten und Ortsteilen und der Erschließungsfunktion aus dem städtebaulichen Zusammenhang mit angrenzenden baulichen und sonstigen Umfeldnutzungen. Für die Netzkapazität sind in erster Linie die Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen maßgebend, da hier Straßen mit gleicher Verbindungsbedeutung und entsprechend hohen Verkehrsstärken zusammen treffen. Die Qualität des Verkehrsablaufs auf den Streckenabschnitten zwischen diesen Knotenpunkten ist dagegen in starkem Maße durch die im Straßenraum jeweils festzustellenden Nutzungsbilder geprägt. Die Verkehrs- und die Verbindungsqualität (zur Definition siehe LANK et al., 2008) innerörtlicher Hauptverkehrsstraßenzüge und damit auch -netze sind somit nicht nur von den Knotenpunkten, deren Abständen sowie dem Ausbau und der lichtsignaltechnischen Steuerung (besonders bedeutsam ist in diesem Zusammenhang deren Koordinierungsqualität), sondern auch von den dazwischenliegenden Streckenabschnitten und deren Erschließungsfunktion abhängig.<sup>1</sup>

Mit den Verfahren des HBS (2001/2005) kann der Verkehrsablauf an Einzelanlagen im Netz, nach Qualitätsstufen differenziert, sachgerecht bewertet werden. Für innerörtliche Straßenverkehrsanlagen sind hierin bezogen auf den Kraftfahrzeugverkehr bislang nur Verfahren für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage enthalten. Maß der Verkehrsqualität für den Kraftfahrzeugverkehr ist hier jeweils die mittlere Wartezeit  $t_W$  (in s).<sup>2</sup>

Für Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen wurde von BAIER et al. (2003) ein erster Ansatz für ein praxistaugliches Qualitätsstufenkonzept zur Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs abgeleitet. Dieser wurde von BAIER (2006) für vierstreifig befahrene Straßen weiterentwickelt und konkretisiert. Maß der Verkehrsqualität für den Kraftfahrzeugverkehr ist die richtungsbezogene Dichte  $k$  in Pkw-E/(km x Ri). Die Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs erfolgt dabei in Abhängigkeit von der Kraftfahrzeugverkehrsstärke sowie unterschiedlicher Ausprägungen von Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion, wie Linksabbieger (an Knotenpunkten mit nachrangigen Erschließungs-

straßen und an Grundstückszufahrten), Einparkvorgänge oder Halte-, Liefer-/Ladevorgänge und Bushalte auf der Fahrbahn. Das Verfahren ermöglicht bislang für fünf relevante, zwei- und vierstreifige Fahrbahnquerschnitte die differenzierte Bewertung verkehrsplanerischer Maßnahmen in Streckenabschnitten. Neben z. B. verkehrsorganisatorischen bzw. -technischen Eingriffen können hiermit auch unterschiedliche Entwurfsvarianten im Zuge der Neu- und Umgestaltung von Hauptverkehrsstraßen – Wahl bzw. Dimensionierung des Fahrbahnquerschnitts (Anzahl und Breite der Fahrstreifen), erforderliche Anordnung von Liefer- und Ladeflächen im Straßenraum, Haltestellenausbildung usw. – hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Qualität im Kraftfahrzeugverkehrsablauf ermittelt werden.

Für Hauptverkehrsstraßen mit Stadt-/Straßenbahnen auf straßenbündigen Bahnkörpern konnte bislang noch kein schlüssiges Qualitätsstufenkonzept abgeleitet werden.<sup>3</sup> Gerade in angebauten Hauptverkehrsstraßen mit Stadt-/Straßenbahntrassen ohne räumliche Trennung der Verkehrsarten (also mit straßenbündigen, vom Kraftfahrzeugverkehr mitbenutzten Bahnkörpern) hat der Stadt-/Straßenbahnverkehr Auswirkungen auf den Ablauf des MIV, dessen Anforderungen an die Verbindungs- und auch an die Erschließungsfunktion sich mit denen des ÖPNV überlagern. In diesem Zusammenhang sind die Haltestellen der Stadt-/Straßenbahnen von besonderer Bedeutung. Gleichmaßen hat aber auch der Kraftfahrzeugverkehr einen Einfluss auf den Stadt-/Straßenbahnverkehr.

<sup>1</sup> Als „Straßenzug“ wird hier die Folge von Streckenabschnitten und Knotenpunkten verstanden (zur Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen siehe Kapitel 2.1). Häufig wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff der „Strecke“ verwendet, um aber Verwechslungen mit der „freien Strecke“ – die dem Streckenabschnitt außerhalb des Einflussbereichs von Knotenpunkten entspricht – zu vermeiden, erscheint die Bezeichnung aufeinanderfolgender Streckenabschnitte und Knotenpunkte als „Straßenzug“ sinnvoller, zumal der Begriff des „Streckenzugs“ ebenfalls ungeeignet erscheint (BAIER, 2008).

<sup>2</sup> Die mit den Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs verknüpften Aussagen zu mittleren Wartezeiten – hier anders als im HBS (2001/2005) mit  $t_W$  bezeichnet (siehe auch Kapitel 8.2.2) – weisen bei Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage unterschiedliche Bezüge auf (SCHUCKLIEß/BAIER/BAUR, 2003); inwieweit sich diese Differenzen letztendlich auf die Bewertung auswirken, bleibt zu überprüfen, dies ist jedoch nicht Gegenstand der folgenden Betrachtungen.

<sup>3</sup> Im Weiteren wird durchgängig der in der Praxis gebräuchliche Oberbegriff der „Stadt-/Straßenbahnen“ verwendet, auch wenn nach dem PBefG nur „Straßenbahnen“ definiert sind.

In den meisten der vorliegenden Untersuchungen zu Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern standen der Ablauf und die Beschleunigung des ÖPNV im Vordergrund (vgl. z. B. SCHNÜLL/STRAUBE, 1993, ALBERS, 1996, und KLOPPE, 2000). Die hieraus abgeleiteten Kriterien zum Einsatz straßenbündiger Bahnkörper berücksichtigen den Kraftfahrzeugverkehr nur als Störgröße für den ÖPNV und konzentrieren sich auf zweistreifige Straßen mit Mischverkehr.

Die Qualität des Ablaufs im Kraftfahrzeug- und im Stadt-/Straßenbahnverkehr ist, wie auch die Untersuchungen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) zeigen, insbesondere für vierstreifig befahrbare Straßenquerschnitte differenzierter zu betrachten. Hier sind bezogen auf den MIV z. B. auch Störungen aus Halte- und Liefer-/Ladevorgängen auf der Fahrbahn („in 2. Reihe“) zu berücksichtigen, die in zweistreifigen Straßen mit überfahrbaren Bahnkörpern häufig durch Haltverbot mit Zeichen 286 StVO straßenverkehrsrechtlich unterbunden werden bzw. aufgrund des durch die Stadt-/Straßenbahn erzeugten „Fahrdrucks“ erheblich seltener oder gar nicht vorkommen.

Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussungen verlangt die Kombination von Stadt-/Straßenbahnen und Kraftfahrzeugverkehr in einem gemeinsamen Verkehrsraum eine Abwägung, die sowohl die Qualitätsanforderungen des ÖPNV als auch des MIV berücksichtigt. Geeignete Bewertungsverfahren hierzu liegen nicht vor.

Des Weiteren erfolgt mit den Verfahren des HBS (2001/2005) für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage sowie mit dem von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) entwickelten Verfahren für Streckenabschnitte lediglich die Beurteilung der Verkehrsqualität einzelner Straßenverkehrsanlagen, also für Streckenabschnitte und Knotenpunkte getrennte Bewertungen. Diese stellen noch keine Verknüpfung mit der verbindungsbezogenen Betrachtung nach den neuen RIN (2008) her.<sup>4</sup>

Mit diesem Forschungsvorhaben wurden deshalb zwei Zielsetzungen verfolgt. Teil 1 dient der Erarbeitung differenzierter Qualitätsstufenkonzepte für den Kraftfahrzeug- und den Stadt-/Straßenbahnverkehr zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern, Teil 2 der Entwicklung von Verfahren zur Bestimmung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten innerörtlicher Hauptverkehrsstraßenzüge unter Berücksichtigung der Verkehrsqualitäten der Einzelanlagen und eventueller Netzeffekte.

Die Ergebnisse des hier vorliegenden Teils 1 sollen, zusammen mit den Ergebnissen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006), als Grundlage zur Fortschreibung des HBS, die für das Jahr 2009 vorgesehen ist, dienen. Gleichzeitig stellen sie einen erforderlichen Input für die Bearbeitung des Teils 2 dar, da erst mit dieser Ergänzung alle relevanten Fahrbahnquerschnitte städtischer Hauptverkehrsstraßen abgedeckt sind, die eine entsprechend umfassende übergreifende Betrachtung des Verkehrsablaufs erlaubt (siehe LANK et al., 2008).

Die beiden Teile wurden dabei teilweise parallel bearbeitet und somit sich ergebende Synergieeffekte genutzt. Kernpunkte der methodischen Vorgehensweise sind in beiden Fällen empirische Untersuchungen des Verkehrsablaufs u. a. zur Ermittlung qualitätsrelevanter Kenngrößen und Abhängigkeiten sowie hierauf aufbauende mikroskopische Verkehrsflusssimulationen zur Erweiterung des jeweiligen Daten- und Aussagenspektrums. Durch die vorgenommene Trennung ergeben sich zwangsläufig inhaltliche Redundanzen (z. T. identische Textpassagen), die beiden Berichte sind somit aber unabhängig voneinander lesbar.

## 2 Untersuchungsansatz

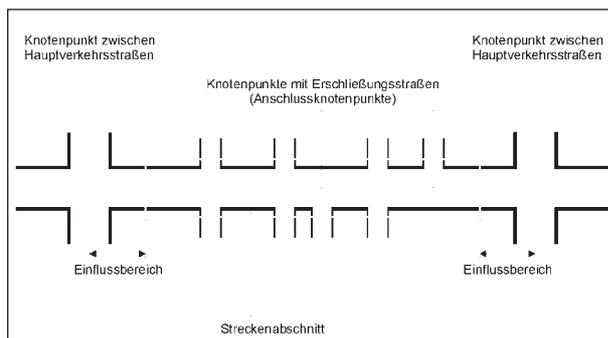
Die Möglichkeit, den Verkehrsablauf hinreichend genau zu beschreiben, ist grundsätzlich bei allen Straßenverkehrsanlagen die Voraussetzung, um diese aus verkehrstechnischer Sicht bemessen und die unter den gegebenen Randbedingungen erzielbare Verkehrsqualität bewerten zu können. Die verkehrstechnische Dimensionierung von Straßenverkehrsanlagen leitet sich dabei, analog dem Vorgehen in der Statik, aus der Gegenüberstellung der maßgebenden Verkehrsstärke (auch als Bemessungsverkehrsstärke  $q_B$  bezeichnet) und der Kapazität der Anlage ab. Zur Verkehrsqualitätsbewertung wurde im HBS (2001/2005) das international

<sup>4</sup> Die RIN (2008) ersetzen die RAS-N (1988), auf deren Ansätzen sie methodisch basieren, erweitert um Aspekte des öffentlichen Verkehrs sowie des Rad- und Fußgängerverkehrs. Während der Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens lagen verschiedene Entwurfsfassungen der RIN vor, alle weiteren Bezüge beziehen sich dennoch im Wesentlichen auf die Endfassung der RIN (Stand: 17. Oktober 2008), andernfalls wird die jeweilige Entwurfsfassung explizit benannt.

gebräuchliche sechsstufige Konzept (unterteilt in Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs von A bis F) übernommen. Die Stufe E bedeutet dabei die Obergrenze des Leistungsvermögens einer Straße (vgl. auch BRILON/WEISER, 2004), bei der ständige gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern auftreten, deren Bewegungsfreiheit nur in sehr geringem Umfang gegeben ist. Der Verkehr bewegt sich somit im Bereich zwischen Stabilität und Instabilität, die Kapazität wird erreicht. Die Qualitätsstufeneinteilung unterhalb der Kapazität ermöglicht eine Beurteilung für alle Verkehrszustände, insbesondere auch bei schwacher Auslastung.

Zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen sind zunächst eine Differenzierung der Netzfunktion von Knotenpunkten und die Definition der Streckenabschnitte notwendig; dies erfolgt in Kapitel 2.1. Qualitätsmaß für den Kraftfahrzeugverkehr im Streckenabschnitt ist, wie die Ergebnisse von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) eindeutig gezeigt haben, die richtungsbezogene Dichte  $k$  in Pkw-E/(km x Ri).

Kriterium für die Qualität des Ablaufs im ÖPNV ist entsprechend dem HBS (2001/2005) die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  in km/h (siehe auch Kapitel 8.2.1). Die Betrachtung des Stadt-/Straßenbahnverkehrs ist somit stärker verbindungsbezogen und bezieht sich letztendlich auf „Strecken“ zwischen zwei oder mehreren Haltestellen.<sup>5</sup> Die Geschwindigkeit der Nahverkehrsfahrzeuge wird maßgeblich von Zeitverlusten an Knotenpunkten und an Haltestellen (die sowohl an den Knotenpunkten als auch in den Streckenabschnitten liegen können) bzw. den dort gegebenenfalls bestehenden Bevorrechtigungen sowie von Zeitverlusten auf der „freien Strecke“ durch z. B. einparkende oder abbiegende Kraftfahrzeuge beeinflusst. Deshalb ist die Verkehrsqualitätsbewertung im ÖPNV einer-



**Bild 1:** Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen nach BAIER (2006)

seits auf Knotenpunkte und andererseits auf Streckenabschnitte zu beziehen, wobei innerhalb dieser eine gesonderte Betrachtung von Haltestellen erforderlich werden kann.

## 2.1 Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen

Nahezu alle Autoren, die sich mit dem Kraftfahrzeugverkehrsablauf auf innerörtlichen Straßenzügen auseinandersetzen, z. B. MARTIN (1979), SCHNABEL et al. (1998) und BRILON/SCHNABEL (2003), verweisen darauf, dass die Kapazität von Hauptverkehrsstraßen maßgeblich durch die lichtsignalgesteuerten Knotenpunkte beschränkt wird, ohne dabei zwischen Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen und solchen von Hauptverkehrsstraßen mit nachgeordneten Erschließungsstraßen zu differenzieren. Eine derartige Differenzierung ist jedoch erforderlich:

- Die Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen bestimmen im Allgemeinen die Netzkapazität, da hier Straßen mit gleicher Netzfunktion respektive Verbindungsbedeutung und oft entsprechend hohen Verkehrsstärken zusammentreffen. Infolgedessen stehen hier im Signalprogramm jeder Zufahrt ähnlich lange, im Idealfall gleiche Freigabezeiten zur Verfügung, die bei Berücksichtigung der erforderlichen Zwischenzeiten jeweils nur geringer als die Hälfte der gesamten Freigabezeit sein können (AHN, 1987).<sup>6</sup>
- Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten von Hauptverkehrs- mit Erschließungsstraßen hingegen sind in der Regel so ausgelegt, dass dem Verkehr auf der Hauptverkehrsstraße ein deutlich größerer Freigabezeitanteil als dem Verkehr in den Zufahrten der nachgeordneten Straßen zur Verfügung steht. Diese Knotenpunkte – im Weiteren in Anlehnung an MAIER (1984) auch

<sup>5</sup> Diese „Strecken“ zwischen Haltestellen des ÖPNV sind nicht identisch mit den definierten Streckenabschnitten, die im Kraftfahrzeugverkehrsablauf zu betrachten sind (siehe Kapitel 2.1).

<sup>6</sup> Bei den hier betrachteten Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern stellt die Anlage von Kreuzungen/Einmündungen mit Vorfahrtregeln der Beschilderung oder von kleinen Kreisverkehren zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen auch bei zweistreifigen Fahrbahnquerschnitten die Ausnahme dar.

als Anschlussknotenpunkte bezeichnet – sind somit nicht maßgebend für die Kapazität eines Hauptverkehrsstraßenzugs (vgl. BAIER, 2006).

Bei der Betrachtung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßenzügen ist deshalb eine Differenzierung von Knotenpunkten anhand ihrer Netzfunktion und des sich hieraus ergebenden Einflusses auf die Kapazität einer Hauptverkehrsstraße notwendig. Hieraus ergibt sich auch die Definition der Streckenabschnitte: Diese werden definiert als diejenigen Abschnitte außerhalb der Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen Hauptverkehrsstraßen, jedoch einschließlich der Knotenpunkte mit nachgeordneten Straßen (Bild 1), unabhängig von deren Verkehrsregelung (mit oder ohne Lichtsignalanlage).

Dies begründet sich wie folgt: Die Knotenpunkte mit dem nachgeordneten Straßennetz dienen der Erschließung der angrenzenden Gebiete, d. h., die dort ab- und einbiegenden Verkehre resultieren aus der Erschließungsfunktion der Hauptverkehrsstraße. Diese und die sich hieraus gegebenenfalls ergebenden Störeinflüsse auf den Verkehrsablauf „gehören“ zum Streckenabschnitt. Die Anschlussknotenpunkte müssen auch nicht zwangsläufig maßgebend für die Kapazität der Abschnitte sein, da beispielsweise die aus Liefer- und Ladevorgängen auf der Fahrbahn resultierenden Kapazitätsreduzierungen ähnliche Größenordnungen annehmen können (vgl. AHN, 1987). Die Ergebnisse von BAIER (2006) haben bestätigt, dass die aus der Erschließungsfunktion der Hauptverkehrsstraße resultierenden Störungen die zur Verfügung stehende Kapazität eines Streckenabschnitts deutlich herabsetzen und darüber hinaus gegenüber der Beeinträchtigung durch die Lichtsignalsteuerung an Knotenpunkten mit nachgeordneten Straßen maßgebend für die Verkehrsqualität im Streckenabschnitt werden können.

Insofern ist ein derartiger Abschnitt – unter der Voraussetzung gleich bleibender städtebaulicher und verkehrlicher Funktion im Straßennetz sowie gleich bleibender Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen für den Kraftfahrzeugverkehr – als homogen anzusehen und nicht nur beim Entwurf, sondern auch im Rahmen einer Verkehrsqualitätsbewertung gesondert zu betrachten. Streckenabschnitte mit wechselnden Eigenschaften, z. B. hinsichtlich der Verkehrsbelastung, werden in Teilabschnitte eingeteilt.

## 2.2 Überlagerung der Nutzungsansprüche aus Verbindungs- und Erschließungsfunktion

In Hauptverkehrsstraßen, vor allem in hochbelasteten Straßenzügen, treten die maximalen Größen der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion meist nicht gleichzeitig auf. Die Tagesganglinien des (durchgehenden) Kraftfahrzeugverkehrs und der verschiedenen Ziel-/Quellverkehre – insbesondere die hieraus resultierenden Ein- und Ausparkvorgänge sowie Liefer-/Ladevorgänge – können durchaus unterschiedlich verlaufen. In diesen Situationen werden, auch in Abhängigkeit der Flächenverfügbarkeit, oftmals Parken oder Liefern und Laden straßenverkehrsrechtlich unterbunden, wenn die Verbindungsfunktion für den Kraftfahrzeugverkehr oder auch den ÖPNV als vorrangig eingestuft wird (SCHNÜLL et al., 1999). Dies kann zeitlich begrenzt erfolgen: So werden z. B. während der morgendlichen Spitzenstunden Haltevorgänge am Fahrbahnrand häufig durch temporäres Haltverbot mit Zeichen 283 StVO und Zusatzzeichen 1040 StVO (zeitliche Beschränkung) ausgeschlossen. Auch treten Einparkvorgänge während dieser Zeiten selten auf, teils weil Geschäfte noch nicht geöffnet haben, teils weil der „Fahrdruck“ Einparkwillige eher davon abhält, als Störfall aufzufallen.<sup>7</sup> Ähnliches Verhalten ist auf zweistreifigen Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern aufgrund des durch die Stadt-/Straßenbahn erzeugten „Fahrdrucks“ zu beobachten (vgl. Kapitel 1).

Dennoch erscheint es notwendig, die Verbindungs- und Erschließungsansprüche auch in ihren jeweiligen maximalen Ausprägungen zu untersuchen und zu überlagern. Dies begründet sich wie folgt:

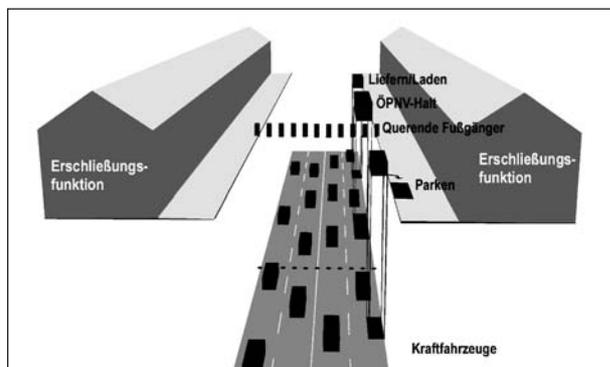
- Es sind Tendenzen festzustellen, dass beispielsweise im tageszeitlichen Aufkommen des Liefer- und Ladeverkehrs Verschiebungen auftreten (vgl. BAIER, 2006), wodurch es vermehrt zur Überlagerung von maximalen Größen der Kraftfahrzeugverkehrsstärke und der Erschließungsverkehre kommt; dies führt zu durchaus relevanten Störungen des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs.

<sup>7</sup> Bei geringen Verkehrsbelastungen ist dagegen teilweise das genaue Gegenteil festzustellen: Hier wird das „Blockieren“ des rechten Fahrstreifens bei der Parkplatzsuche anscheinend für zumutbar gehalten (vgl. SCHNÜLL/ALBERS, 1989).

- Diese Überlagerung ist – und dies ist entscheidend – als Grundlage für den Straßenraumwurf von Hauptverkehrsstraßen im Hinblick auf deren „Belastbarkeit“ bzw. Flexibilität (erforderliche Anordnung von Liefer- und Ladeflächen im Straßenraum, Haltestellenausbildung usw.) und die sich hieraus ergebenden Qualitäten des Verkehrsablaufs notwendig.
- Letzteres ist auch für den Stadt-/Straßenbahnverkehr von Bedeutung, da dieser zum einen aufgrund seiner Spurbundenheit per se stör anfälliger ist, zum anderen im ÖPNV über den ganzen Tag und nicht nur während der Nachfragespitzen ein störungsfreier Ablauf zur Einhaltung des Fahrplans erforderlich ist.

Für die Qualitätsbewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen sind demnach, im Gegensatz zur Betrachtung anderer Straßenverkehrsanlagen, nicht nur die Bemessungsverkehrsstärke  $q_B$  (Stärke des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs), sondern auch die jeweiligen Ausprägungen der verkehrlichen Erschließungsvorgänge zugrunde zu legen. Der sich aus der Überlagerung von Verbindungs- und Erschließungsansprüchen jeweils ergebende Bemessungsverkehrszustand ist somit maßgebend für die Qualität des Verkehrsablaufs. Dies gilt in ähnlicher Weise für den Ablauf der Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr: Hier sind die Verbindungsansprüche des ÖPNV mit denjenigen des MIV und darüber hinaus auch mit den aus der Erschließungsfunktion resultierenden Ansprüchen zu überlagern.

Der gewählte Untersuchungsansatz basiert deshalb auf einer Überlagerung unterschiedlicher Aus-



**Bild 2:** Untersuchungsansatz mit Überlagerung der Nutzungsansprüche aus Verbindungsfunktion und Erschließungsfunktion nach BAIER (2006)

prägungen von Verbindungs- und Erschließungsansprüchen (Bild 2), beides wiederum bezogen auf bestimmte, typische Querschnittsausbildungen, differenziert durch die Fahrstreifenanzahl und straßenverkehrsrechtliche Bestimmungen für eine flexible Nutzung der straßenbündigen, vom Kraftfahrzeugverkehr überfahrbaren Bahnkörper. Durch diese Kombinationen ergeben sich Verkehrszustände im jeweiligen Fahrbahnquerschnitt, die so zu Erkenntnissen über Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs bzw. Grenzen der Belastbarkeit führen.

Betrachtet werden dabei ausschließlich zwei- und vierstreifige Fahrbahnquerschnitte mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern ohne räumliche Trennung in angebauten Straßen innerhalb bebauter Gebiete. Diese entsprechen der Straßenkategorie C III der RAS-N (1988) bzw. den Kategorien HS III und HS IV der RIN (2008).

## 2.3 Prinzip und Aufbau der Qualitätsstufenkonzepte

Ziel ist die Entwicklung praxistauglicher Verfahren zur Bewertung der Qualität des Kraftfahrzeug- und des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf zwei- und vierstreifigen Straßen mit überfahrbaren Bahnkörpern. Hierbei ist neben der Aufteilung und Nutzung des Fahrbahnquerschnitts die Funktion der Hauptverkehrsstraße für die verkehrliche Verbindung und Erschließung zu betrachten.

### 2.3.1 Konzept zur Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs

Das Prinzip des Qualitätsstufenkonzepts zur Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf zwei- und vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern beruht auf folgenden Überlegungen bzw. Feststellungen, die auf den Erkenntnissen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) beruhen:

- Es ist eine differenzierte Bewertung unterschiedlicher Fahrbahnquerschnitte erforderlich, da die Querschnittsaufteilung und die damit einhergehende Nutzung einen Einfluss auf den Verkehrsablauf haben können.
- Zeitlich veränderliche verkehrliche Effekte aus der Erschließungsfunktion haben einen maßgeblichen Einfluss auf den Verkehrsablauf.

- Die richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k$  in der Einheit Pkw-E/(km x Ri) ist das maßgebende Kriterium zur Bewertung des Verkehrsablaufs; diese ist abhängig vom vorhandenen bzw. nutzbaren Fahrbahnquerschnitt, der Kraftfahrzeugverkehrsstärke selbst sowie der Häufigkeit und Dauer von Erschließungsvorgängen.<sup>8</sup>

Hieraus ergibt sich der in Bild 3 dargestellte Aufbau des Qualitätsstufenkonzepts: Eingangsgröße ist die Kraftfahrzeugverkehrsstärke (Bemessungsverkehrsstärke  $q_B$ ), für die in Abhängigkeit unterschiedlicher Störeinflüsse bzw. Kombinationen von Störeinflüssen die Dichte  $k$  und damit die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs ermittelt werden. Die Ermittlung der Verkehrsqualität sollte dabei für diejenigen Stunden erfolgen, für die – bezogen auf die Überlagerung der Verkehrsstärke  $q$  und einzelner bzw. mehrerer Störeinflüsse – maximale Belastungszustände ermittelt wurden oder zu erwarten sind. Nach diesem Konzept wurden von BAIER et al. (2003) bereits entsprechende Zusammenhänge für zwei- und vierstreifige, ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahrene Streckenabschnitte abgeleitet, die für vierstreifig befahrene Hauptverkehrsstraßen von BAIER (2006) konkretisiert wurden.

Bild 4 zeigt beispielhaft ein Diagramm zur Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen mit vier normalbreiten Fahrstreifen. Die dargestellten Zusammenhänge gelten für ausschließlich vom Kraftfahrzeugverkehr befahrene Hauptverkehrsstraßen mit Schwerverkehrsanteilen  $b_{SV}$  bis 10 %. Das Verfahren ist für Strecken mit einer Längsneigung  $s \leq 5 \%$  gültig. Dabei werden gute Sichtverhältnisse, d. h. Tageslicht, und eine trockene Fahrbahn vorausgesetzt.<sup>9</sup> Weitere Randbedingungen

8 Die Dichte  $k$  – im Weiteren auch als  $k_S$  bezeichnet – bezieht sich immer auf einen gesamten Streckenabschnitt, im Gegensatz zur  $k_T$ , die sich nur auf einen Teilabschnitt der Länge  $L_T$  eines Streckenabschnitts der Länge  $L_S$  bezieht.

9 Bei dem (im Verhältnis zu Außerortsstraßen) niedrigen Geschwindigkeitsniveau auf Stadtstraßen können kaum witterungsbedingte Einflüsse auf den Verkehrsablauf festgestellt werden, auch Auswirkungen der Lichtverhältnisse sind wegen der in der Regel vorhandenen Beleuchtung nicht feststellbar (HOFFMANN et al., 1984). Insofern können die in Bild 4 dargestellten Zusammenhänge grundsätzlich auch für abweichende Wetter- und Straßenverhältnisse gelten. Lediglich bei extremen Bedingungen, wie z. B. Schnee, ist eine Veränderung des Geschwindigkeitsniveaus feststellbar (HERKT, 1986), die sich dann gegebenenfalls auch auf die Qualität des Verkehrsablaufs auswirken kann.

sind eine zulässige Höchstgeschwindigkeit  $V_{ZUL}$  von 50 km/h sowie (koordiniert gesteuerte) Lichtsignalanlagen mit Umlaufzeiten  $t_U$  zwischen 60 s und 120 s.

Streng genommen gelten diese Zusammenhänge nur für Teilabschnittslängen  $L_T$  von 300 m einer Strecke mit der Länge  $L_S$  von 600 m. Die in Bild 4 angegebenen absoluten Störgrößen beziehen sich dabei auf eine in diesem Fall nutzbare Länge  $L_{SE}$  von 500 m. Die von BAIER et al. (2003) ermittelten Zusammenhänge für zweistreifige Hauptverkehrs-

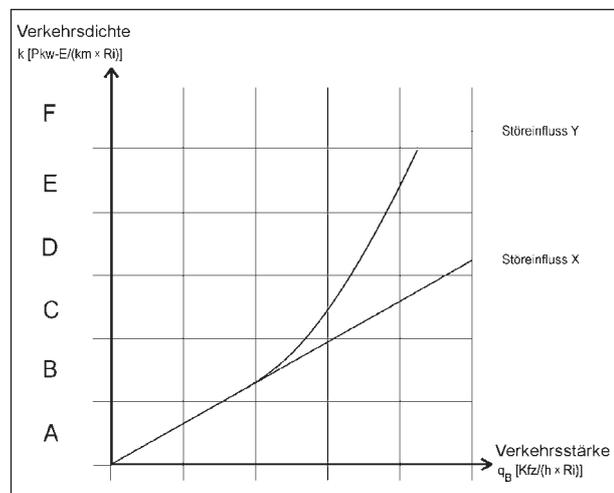


Bild 3: Aufbau des Qualitätsstufenkonzepts zur Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs in Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen

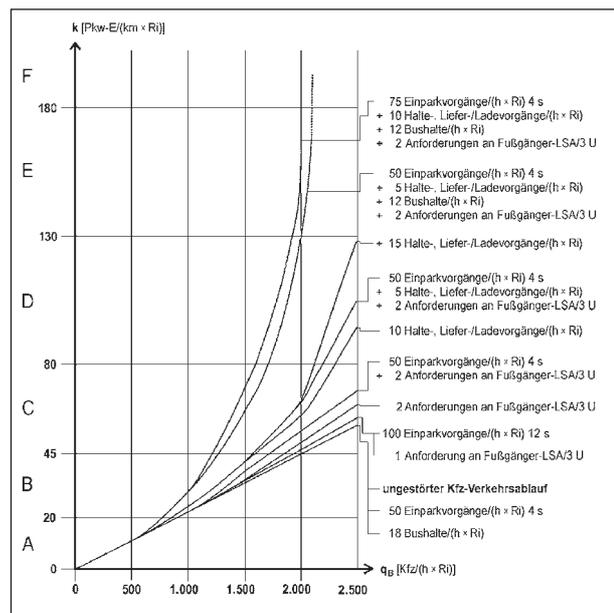


Bild 4: Dichte K und resultierende Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen mit vier Fahrstreifen in Abhängigkeit der Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q_B$  und verschiedenen Störeinflüssen (BAIER, 2006)

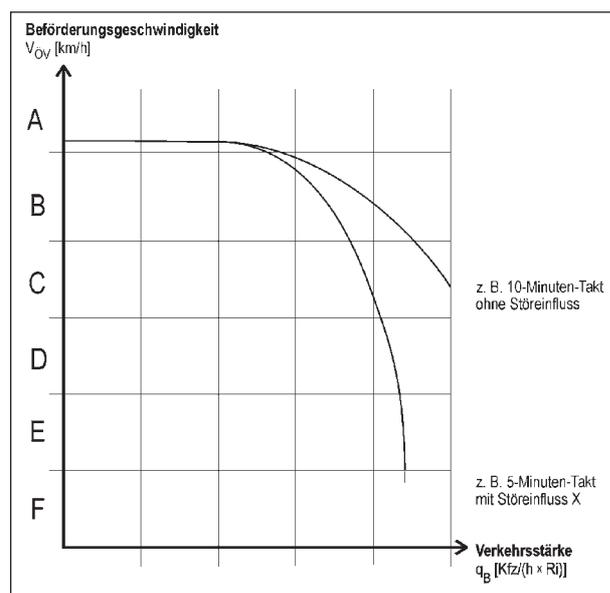
straßen gelten für Teilabschnittslängen  $L_T$  von 200 m. Hintergrund ist, dass bislang nur für Abschnitte dieser Längen die erforderlichen Simulationsuntersuchungen durchgeführt wurden.<sup>10</sup>

Inwieweit eine Übertragbarkeit auf kürzere bzw. längere Abschnitte möglich ist, wird in Kapitel 9.7.4 diskutiert. Darüber hinaus soll diese auch im Teil 2 des Forschungsvorhabens (vgl. LANK et al., 2008) mituntersucht werden.

### 2.3.2 Konzept zur Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs

Der Aufbau des Qualitätsstufenkonzepts zur Bewertung des Ablaufs von Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr beruht ebenfalls auf einer differenzierten Betrachtung unterschiedlicher Fahrbahnquerschnitte und der Berücksichtigung zeitlich veränderlicher verkehrlicher Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion. Darüber hinaus sind die sich aus dem fließenden Kraftfahrzeugverkehr ergebenden Einflüsse zu berücksichtigen.

Aus diesen Überlegungen ist der in Bild 5 dargestellte Konzeptaufbau abgeleitet, der im Weiteren zu konkretisieren ist: Für die bemessungsrelevante Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q_B$  werden in Abhängigkeit des Fahrplantakts und einzelner oder mehrerer Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{ÖV}$  und damit die Verkehrsqualitätsstufe ermittelt.



**Bild 5:** Aufbau des Qualitätsstufenkonzepts zur Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten mit Mischverkehr

Dabei erfolgt hier die ausschließliche Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten zwischen Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen, die jedoch im Kontext mit der übergreifenden Betrachtung von Straßenzügen zu sehen ist (siehe Kapitel 8.2). Letztere wird vertiefend im Teil 2 des Forschungsvorhabens behandelt (vgl. LANK et al., 2008).

## 3 Vorgehensweise

In Hauptverkehrsstraßen tritt im Allgemeinen kein ungestörter, stationärer Verkehrsfluss auf (vgl. MAIER, 1986, oder SCHNÜLL/ALBERS, 1989). Hierin liegt eine bzw. die besondere Problematik in der Interpretation des städtischen Kraftfahrzeugverkehrsablaufs. Gerade wegen dieser Komplexität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen mit Störungen, die häufig weder genau lokalisiert noch quantifiziert werden können (HÖFLER, 1994), und der sich hieraus ergebenden Instationaritäten über Zeit und Weg bietet sich die Anwendung von mikroskopischer Verkehrsflusssimulation als die geeignete Methode an. Diese ermöglicht die räumlich-zeitliche Erfassung des Verkehrsflusses auf der Basis einer Einzelfahrzeugbetrachtung, die bei realen Messungen aufgrund des sehr hohen Aufwands in der Regel kaum realisierbar ist (vgl. MARTIN, 1979, und HÖFLER, 1994).

Des Weiteren erlaubt nur die Simulation eine systematische Variation der Verkehrsnachfrage (Kraftfahrzeugverkehrsstärke, Stadt-/Straßenbahntakt) und der aus der Erschließungsfunktion resultierenden verkehrlichen Effekte. Dadurch können einerseits die Auswirkungen einzelner Störeinflüsse, andererseits auch empirisch nicht beobachtete bzw. nicht beobachtbare Nutzungskonstellationen untersucht werden, und zwar jeweils unter Ceteris-paribus-Bedingungen. Somit ist die Anwendung mikroskopischer Verkehrsflusssimulationen vor dem Hintergrund des gewählten Untersuchungsansatzes (vgl. Kapitel 2.1) folgerichtig und notwendig (siehe BAIER et al., 2003, und BAIER, 2006).

Die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs sollen gemäß der Zielsetzung des HBS (2001/2005) eine nutzerorientierte Bewertung gewährleisten. Des-

<sup>10</sup> Zur Notwendigkeit simulativer Verkehrsablaufuntersuchungen bei der Betrachtung städtischer Straßen siehe Kapitel 3.

halb ist es erforderlich, sowohl das maßgebliche Qualitätskriterium als auch eine geeignete Stufenstruktur aus Sicht der Verkehrsteilnehmer festzulegen. Methodisch bieten sich hierzu situative Bewertungen von realen Verkehrszuständen an. Diese ermöglichen, durch die subjektive Beurteilung von Verkehrssituationen die Kriterien und Maßzahlen (Grenzwerte einzelner Stufen) für eine nutzerorientierte Verkehrsqualitätsbewertung abzuleiten.

Als Qualitätskriterium für den Ablauf des Kraftfahrzeugverkehrs auf ausschließlich von diesem befahrenen Streckenabschnitten wurde von BAIER et al. (2003) die mittlere Dichte  $k$  in der Einheit  $\text{Pkw-E}/(\text{km} \times \text{Ri})$  definiert; diese wurde durch zusätzliche Untersuchungen von BAIER (2006) eindeutig bestätigt. Insofern ist für die hier betrachteten Streckenabschnitte mit Kraftfahrzeugen und Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr zu prüfen, ob die Dichte  $k$  ebenfalls als Bewertungskriterium für den MIV geeignet ist. Ist dies der Fall, ist zu prüfen, ob für Mischverkehrsstrecken eine andere Qualitätsstufeneinteilung erforderlich ist.

Das Qualitätskriterium für den Ablauf im ÖPNV ist dessen Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$ . Für diese sind im HBS (2001/2005) Grenzwerte der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs angegeben (siehe auch Kapitel 8.2.2), die hinsichtlich ihrer Eignung zur Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf straßenbündigen, von Kraftfahrzeugen mitgenutzten Bahnkörpern zu überprüfen sind.

Angewandte Instrumentarien sind somit Simulation und situative Verkehrszustandsbewertungen, beides basierend auf empirischen Grundlagen. Die auf ausgewählte, praxisrelevante Untersuchungsfälle beschränkte Empirie dient dabei der Klärung grundsätzlicher Fragestellungen, und zwar

- der Ableitung der Streckenabschnittslängen,
- der Erfassung von Tagesganglinien des MIV und der Frequenz des ÖPNV (Fahrplankontakt der Stadt-/Straßenbahn) als Größen des Nutzungsanspruchs aus der Verbindungsfunktion sowie
- der Ermittlung und Quantifizierung der Einflussgrößen aus der Erschließungsfunktion (Häufigkeit und Dauer).

Darüber hinaus sollen durch die Empirie die vorhandenen, in Kapitel 5 dargestellten Erkenntnisse zum Verkehrsablauf auf Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern ergänzt werden, insbesondere

hinsichtlich gegenseitiger Beeinflussungen von Kraftfahrzeugen und Stadt-/Straßenbahnen. Zusätzlich stellen die empirischen Befunde die wesentliche und notwendige Validierungsgrundlage für die mikroskopische Verkehrsflusssimulation sowie für die Festlegung der maßgebenden, in den Simulationsuntersuchungen zu betrachtenden Belastungsfälle dar.

Das methodische Vorgehen ist in Bild 6 im Zusammenhang dargestellt. Arbeitsschritte waren:

- Festlegung relevanter Fahrbahnquerschnitte für Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern und Auswahl geeigneter Fallbeispiele,
- Durchführung empirischer Untersuchungen zum Verkehrsablauf zur Ergänzung der vorhandenen Erkenntnisse und zur Ableitung der Streckenabschnitte und deren Längen sowie zur Quantifizierung der relevanten Erschließungsvorgänge mit Einfluss auf den Verkehrsablauf als notwendige Datengrundlagen für die nachfolgenden Schritte,
- Überprüfung der Qualitätskriterien und Ableitung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs sowohl für den Kraftfahrzeug- als auch den Stadt-/Straßenbahnverkehr mittels situativer Bewertungen von Verkehrszuständen,

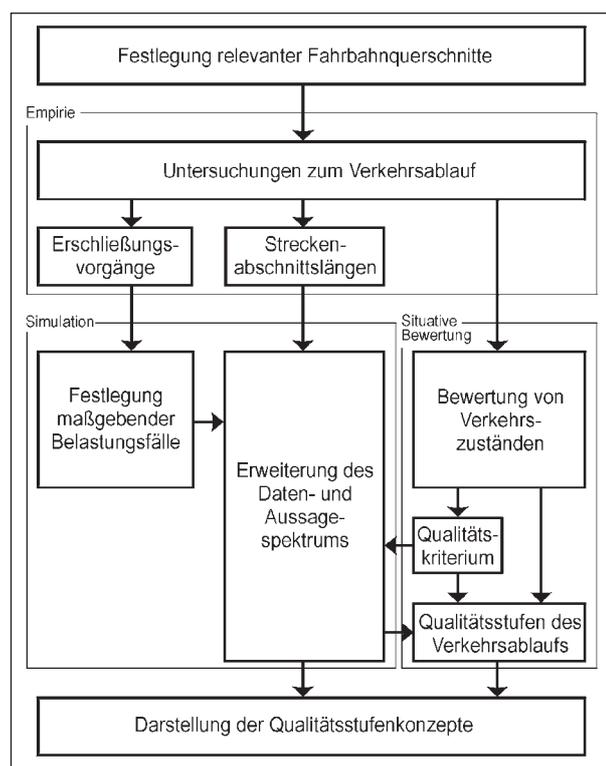


Bild 6: Untersuchungsablauf

- Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums der empirischen Untersuchungen mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulationsuntersuchungen und
- Darstellung differenzierter Qualitätsstufenkonzepte zur Bewertung des Ablaufs im Kraftfahrzeug- und im Stadt-/Straßenbahnverkehr.

Diese Vorgehensweise entspricht im Wesentlichen derjenigen, die bereits von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) zur Ableitung des Qualitätsstufenkonzepts für ausschließlich vom Kraftfahrzeugverkehr befahrenen Straßen erfolgreich angewendet wurde.

## 4 Relevante Fahrbahnquerschnitte

Stadt-/Straßenbahnen zählen in vielen Städten zu den tragenden Säulen des ÖPNV. Die Integration ihrer Trassen und Haltestellen in Stadtbild und Verkehrsraum stellt eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Oftmals ist in Hauptverkehrsstraßen mit hoher Verbindungsfunktion und gleichzeitig hohen Nutzungsansprüchen aus der Erschließungsfunktion die räumliche Trennung von ÖPNV und MIV aufgrund der Flächenverfügbarkeit problematisch oder aber gar nicht möglich (vgl. ALBERS, 1996, und SCHNÜLL, 1997), sodass die Anlage von straßenbündigen Bahnkörpern erforderlich wird.

Straßenbündige Bahnkörper sind nach § 16 Abs. 5 BOStrab mit ihren Gleisen in die Fahrbahn eingebettet und sollten nach den EAHV (1993) bzw. den nunmehr geltenden RASSt (2006)<sup>11</sup> bei Mitnutzung durch andere Verkehre, also ohne räumliche Trennung, in der Regel in einem anderen Material als die danebenliegenden Fahrstreifen ausgeführt und durch Leitlinien (Zeichen 340 StVO) von diesen abgegrenzt werden. Auf straßenbündigen Bahnkörpern nehmen die Stadt-/Straßenbahnen gemäß § 55 Abs. 1 BOStrab am Straßenverkehr teil und unterliegen damit den Vorschriften der StVO.

Die Anlage straßenbündiger Stadt-/Straßenbahnkörper ohne räumliche Trennung der Verkehrsarten erfordert eine gewisse Flexibilität aller Verkehrsvorgänge. Die RASSt (2006) geben für zweistreifige Fahrbahnen mit straßenbündigen Bahnkörpern

Belastungsklassen von 400 bis 1.000 Kfz/h bzw. 800-1.800 Kfz/h, für vierstreifige Fahrbahnen von 1.600 bis 2.600 Kfz/h an (jeweils querschnittsbezogen). Nach SCHNÜLL/JOHANNISMEIER (1998) sind straßenbündige Bahnkörper bei Kraftfahrzeugstärken bis zu 900 Kfz/(h x Ri) für zwei Fahrstreifen bzw. bis zu 1.600 Kfz/(h x Ri) bei vier Fahrstreifen zu bevorzugen. Bei Einsatz dynamischer Straßenraumfreigaben ist ein Mischverkehr von Stadt-/Straßenbahnen und MIV nach KLOPPE (2000) auch bei höheren Kraftfahrzeugverkehrsstärken möglich (siehe hierzu auch Kapitel 5).

In angebauten Hauptverkehrsstraßen hängen die Aufteilung des Straßenraums und damit auch die Wahl des Fahrbahnquerschnitts wesentlich von den örtlichen Gegebenheiten und der Abwägung der Nutzungsansprüche aus Verbindung, Erschließung und Aufenthalt ab. Die RASSt (2006) empfehlen für insgesamt zwölf typische Entwurfsituationen, mit denen ein Großteil der in der Praxis auftretenden Entwurfsaufgaben abgedeckt wird (vgl. auch BAIER, 2005), in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen (Nutzungsansprüche, Bedeutung im ÖPNV, Kraftfahrzeugverkehrsstärke und verfügbare Straßenraumbreite) geeignete Straßenquerschnitte.

### 4.1 Zweistreifige Fahrbahnen

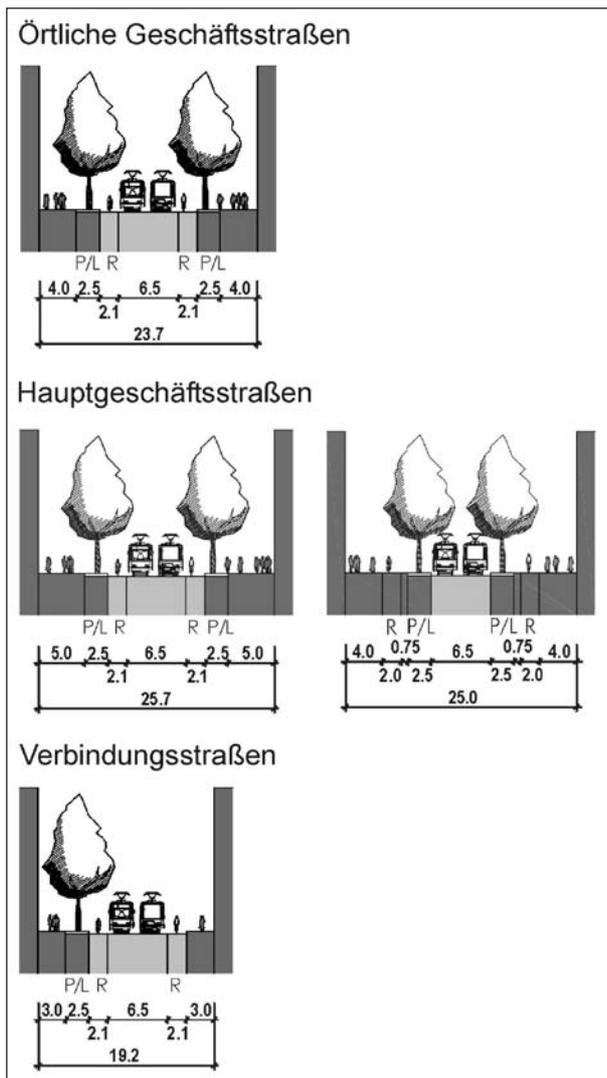
Zweistreifige Fahrbahnen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern sind nach den RASSt (2006) in örtlichen Geschäftsstraßen, Hauptgeschäftsstraßen und Verbindungsstraßen anwendbar. An Geschäftsstraßen sind die Erschließungsansprüche in der Regel sehr hoch, an Verbindungsstraßen dagegen eher gering.

In Bild 7 sind die in den RASSt (2006) empfohlenen Querschnitte für zweistreifige Fahrbahnen mit straßenbündigen Bahnkörpern dargestellt. Die Fahrbahnquerschnitte mit Radfahrstreifen sind bei Verkehrsstärken von 400 bis 1.000 Kfz/h geeignet, bei höheren Verkehrsstärken von 800 bis 1.800 Kfz/h (jeweils querschnittsbezogen) ist der Radverkehr auf straßenbegleitenden Radwegen im Seitenraum zu führen.

### 4.2 Vierstreifige Fahrbahnen

Typische Entwurfsituationen für die Anwendung vierstreifiger Fahrbahnquerschnitte mit straßenbündigen, vom Kraftfahrzeugverkehr überfahrbaren

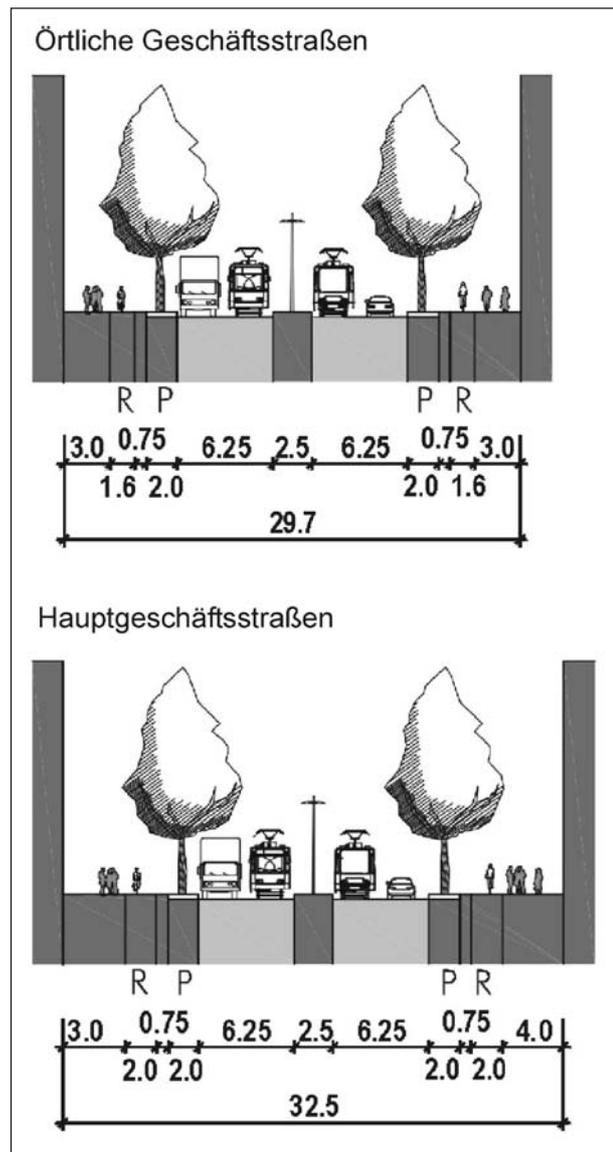
<sup>11</sup> Die RASSt (2006) ersetzen die EAE (1985/1995) und die EAHV (1993).



**Bild 7:** Empfohlene Querschnitte für zweistreifige Fahrbahnen mit straßenbündigen Bahnkörpern (RASt, 2006)

Stadt-/Straßenbahnkörpern sind örtliche Geschäftsstraßen und Hauptgeschäftsstraßen. An diesen bestehen in der Regel aufgrund der Randnutzungen sehr hohe Ansprüche aus der Erschließungsfunktion. Bei den empfohlenen Querschnitten in Bild 8 sind nur Fahrbahnen mit baulicher Richtungstrennung (Mittelstreifen, z. T. auch Mittelinseln) dargestellt. Diese Querschnittsaufteilungen sollen nach den RASSt (2006) abschnittsweise mit dem entsprechenden Querschnitt ohne bauliche Richtungstrennung kombiniert werden.

Bei den vierstreifigen Fahrbahnen mit straßenbündigen Bahnkörpern werden im Weiteren ausschließlich Streckenabschnitte mit vier durchgehend vom Kraftfahrzeugverkehr nutzbaren Fahrstreifen betrachtet, bei denen an den Haltestellen die Haltefläche der Stadt-/Straßenbahn in der Fahrbahnmitte auf dem jeweils linken Fahrstreifen und

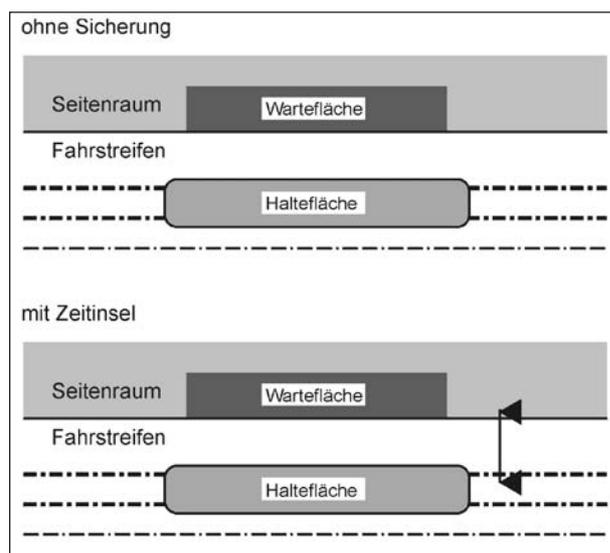


**Bild 8:** Empfohlene Querschnitte für vierstreifige Fahrbahnen mit straßenbündigen Bahnkörpern (RASt, 2006)

die Wartefläche getrennt von dieser am Fahrbahnrand angeordnet sind (Bild 9). D. h., die Fahrgäste müssen den rechten Fahrstreifen beim Ein- und Aussteigen überqueren.

Der Fahrgastwechsel kann dabei ungesichert (es gilt dann § 20 StVO) oder signaltechnisch gesichert (mit Zeitinsel; vgl. hierzu z. B. SCHNÜLL et al., 1999) erfolgen. Hauptverkehrsstraßen mit Haltestellen in Mittellage mit Anhebung des rechten Fahrstreifens werden nicht betrachtet, da diese nur bei Fahrbahnen mit räumlicher bzw. baulicher (z. B. mit halbhohen Borden) Trennung von ÖPNV und MIV geeignet sind (ANGENENDT et al., 2002).

Bei vierstreifigen Fahrbahnen mit überfahrbaren, vom MIV mitgenutzten Stadt-/Straßenbahnkörpern



**Bild 9:** Stadt-/Straßenbahnhaltestellen in Mittellage einer vierstreifigen Fahrbahn mit straßenbündigen Bahnkörpern

sind Haltestellen in Mittellage ohne signaltechnische Sicherung des Fahrgastwechsels nach SCHNÜLL et al. (1999) sowie ANGENENDT et al. (2002) als die traditionelle Haltestellenform anzusehen. Aus Verkehrssicherheitsgründen sind diese jedoch laut SCHNÜLL (1997) schon bei mittleren Kraftfahrzeugverkehrsstärken problematisch und sollten nicht mehr zum Regelausbau gehören (SCHNÜLL et al., 1999). Neuere Unfalluntersuchungen verschiedener Haltestellenformen von BAIER et al. (2007) bestätigen dies jedoch nicht.

Im Hinblick auf die Auswirkungen auf den Kraftfahrzeug- wie den Stadt-/Straßenbahnverkehrsablauf sind beide Haltestellenformen zu betrachten. Für den Kraftfahrzeugverkehr stellt sich beispielsweise die Frage, ob durch die Lichtsignalsteuerung an Zeitinseln maßgeblich größere Zeitverluste entstehen als an ungesicherten Haltestellen nach § 20 StVO (siehe hierzu auch Kapitel 5).

## 5 Einflussgrößen auf den Verkehrsablauf

Bei der Betrachtung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen ist zum einen die Funktion dieser für die verkehrliche Verbindung und Erschließung, zum anderen deren infrastrukturelle Dimensionierung (hierzu gehören neben dem Fahrbahnquerschnitt auch die Abstände und die Lichtsignalsteuerung der Knotenpunkte) zu berücksichtigen. Zur Bewertung des Verkehrsablaufs ist somit

die Überlagerung der verkehrlichen Effekte aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion – bzw. der hieraus resultierenden Verkehrszustände – bezogen auf den jeweiligen Fahrbahnquerschnitt maßgebend.

Die Verbindungsfunktion von Hauptverkehrsstraßen wird bestimmt durch die Entfernung der Quellen und Ziele, die verbunden werden, und durch die Stärke der Verkehrsbeziehungen. Bestimmungsgrößen sind die Verkehrsstärken im Kraftfahrzeugverkehr (gegebenenfalls unter besonderer Berücksichtigung des Schwerverkehrs)<sup>12</sup> und im straßengebundenen ÖPNV sowie auch im Radverkehr, die deren jeweiligen Verbindungsansprüche beschreiben.

Die Erschließungsfunktion wird bestimmt durch Art und Maß der städtebaulichen Umfeldnutzungen (Nutzungen der erschlossenen Grundstücke) und der sich daraus ergebenden Zahl der Wege, die dort beginnen oder enden. Zu den hieraus resultierenden verkehrlichen Effekten gehören neben z. B. auf der Fahrbahn haltenden Liefer-/Ladeverkehren auch die an den Knotenpunkten mit dem nachgeordneten Straßennetz abbiegenden Kraftfahrzeuge, die für den fließenden Verkehr potenzielle Störungen darstellen. Den Einfluss dieser Störungen auf den Ablauf des Kraftfahrzeug- als auch des Stadt-/Straßenbahnverkehrs gilt es insbesondere zu betrachten.

Darüber hinaus haben auch die Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen einen Einfluss auf den Verkehrsablauf in den Streckenabschnitten, wie beispielsweise die Zeitlückenverteilung der ankommenden Kraftfahrzeuge, die sich aus den Umlaufzeiten an den stromaufwärts gelegenen Lichtsignalanlagen ergeben, oder Vorsortierungseffekte, die je nach Ausbildung des stromabwärts liegenden Knotenpunkts und den an diesem auftretenden Abbiegebeziehungen schon frühzeitig innerhalb eines Streckenabschnitts auftreten können. Als weitere mögliche Einflussgrößen sind deshalb die Lichtsignalsteuerung der Knotenpunkte, insbesondere deren Koordinierung, sowie in diesem Zusammenhang u. a. die Knotenpunktabstände und die sich hieraus ergebenden

<sup>12</sup> Nach ANGENENDT et al. (1983) hat der Schwerverkehr innerorts jedoch keinen relevanten Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufs in Streckenabschnitten.

Verkehrsqualitäten der einzelnen Knotenpunkte zu betrachten.<sup>13</sup>

Die straßenverkehrsrechtlichen Maßnahmen im Streckenabschnitt (Verkehrsregelung) sind ebenfalls zu betrachten. Dies gilt vor allem für die zulässige Höchstgeschwindigkeit, da diese gegebenenfalls die Intensität der Auswirkungen einzelner Erschließungsvorgänge, wie Halte und Liefer-/Ladetätigkeiten auf der Fahrbahn oder Einparkvorgänge, auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf beeinflusst (vgl. hierzu LEUTZBACH/SCHMIDT, 1987, HÖFLER, 1994, sowie SCHLEICHER-JESTER, 1996). Da einerseits Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 30 km/h oder 40 km/h auf Hauptverkehrsstraßen bislang eher die Ausnahme sind und andererseits laut SCHNABEL/LÄTZSCH (2002) mit einer höheren zulässigen Geschwindigkeit von 60 km/h keine nennenswerten Verbesserungen im Verkehrsablauf und damit höhere Fahrgeschwindigkeiten zu erreichen sind, werden im Weiteren ausschließlich Straßen mit einer  $V_{zul}$  von 50 km/h (als der Regelfall bei angebauten Hauptverkehrsstraßen) betrachtet.

Bei Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern kommt es durch die gemeinsame Nutzung eines, für die Stadt-/Straßenbahn spurgebundenen, Fahrwegs zwangsläufig zu gegenseitigen Beeinflussungen im Verkehrsablauf (vgl. auch SCHUBERT, 1961). Nach DÜRR (2002) wird der Ablauf im Mischverkehr vor allem durch gegenseitige Behinderungen im Bereich von Haltestellen und an Knotenpunkten beeinflusst. Die entscheidenden entwerfs- und steuerungstechnischen Faktoren für mögliche Zeitverluste des Stadt-/Straßenbahnverkehrs bei einer gemeinsamen Führung von ÖPNV und MIV auf der Fahrbahn – die ihrerseits wiederum den Ablauf des Kraftfahrzeugverkehrs im Streckenabschnitt beeinflussen und deshalb auch für diesen relevant sind – sind nach LENK/THEURICH (1980):

- Knotenpunktform, insbesondere Führung des ÖPNV im Knotenpunktbereich,
- Art der Lichtsignalsteuerung (Festzeitsteuerung oder verkehrsabhängige Steuerung, Einzelsteuerung oder Koordinierung, aber auch Umlaufzeit und Freigabezeitanteil) und
- Lage der Haltestelle.

Eine geeignete Maßnahme, um Behinderungen der Stadt-/Straßenbahn durch Abbiegevorgänge usw. des Kraftfahrzeugverkehrs zu unterbinden, ist nach

ALBERS (1996) die zeitliche Trennung der Verkehrsarten durch eine dynamische Straßenraumfreigabe. Hierdurch wird für den ÖPNV auch ohne eine räumliche Trennung der Verkehrsarten eine Priorisierung angestrebt (vgl. neben ALBERS, 1996, auch SCHNÜLL/JOHANNISMEIER, 1998, KLOPPE, 2000, und KRUG, 2000). Dabei fungiert die Stadt-/Straßenbahn – gesteuert durch entsprechende Lichtsignalprogramme an den Knotenpunkten und Haltestellen (mit Zeitinsel)<sup>14</sup> – als Pulkführer im weiteren Verlauf des Straßenzugs.

Die EAHV (1993) und auch die RASt (2006) empfehlen den Einsatz dynamischer Straßenraumfreigaben insbesondere für die Stadt-/Straßenbahn, wenn Kraftfahrzeuge den Bahnkörper als Linksabbieger im Streckenabschnitt mitnutzen. Spezielle Einsatzbereiche der dynamischen Straßenraumfreigabe werden u. a. von ALBERS (1996) und KLOPPE (2000) genannt:

- Nach ALBERS (1996) sind diese gegeben, wenn die Nahverkehrsfahrzeugfolge 12 Bahnen je Stunde und Richtung nicht übersteigt (dies entspricht einem 5-Minuten-Takt), die Kraftfahrzeugverkehrsstärken unterhalb von etwa 1.500 Kfz/h bei zweistreifigen Fahrbahnen bzw. etwa 3.000 Kfz/h bei vierstreifigen Fahrbahnen liegen (jeweils bezogen auf den Querschnitt) und in den Knotenpunktbereichen erforderliche Aufstellflächen für Abbiegeströme angelegt werden.
- Nach KLOPPE (2000) ist der Einsatz straßenbündiger Bahnkörper mit dynamischer Straßenraumfreigabe in zweistreifigen Hauptverkehrsstraßen bis zu einer Verkehrsbelastung von 1.100 Kfz/(h x Ri), in Hauptverkehrsstraßen mit vier Fahrstreifen bei Verkehrsstärken bis zu 1.750 Kfz/(h x Ri) möglich.

<sup>13</sup> Dies bezieht sich auf die Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen, da diese im Allgemeinen für die Netzkapazität maßgebend sind (vgl. Kapitel 2.1) und somit zum einen den Zufluss in den Streckenabschnitt dosieren, zum anderen auch den Abfluss bestimmen, was sich beides auf den Verkehrsablauf im Streckenabschnitt auswirken kann. Diese Einflüsse sind so weit als möglich zu eliminieren, da definitionsgemäß Streckenabschnitte außerhalb der Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen Hauptverkehrsstraßen (vgl. ebenfalls Kapitel 2.1) betrachtet werden.

<sup>14</sup> Zeitinseln können an Haltestellen sowohl auf der freien Strecke als auch an Knotenpunkten eingesetzt werden.

Teilweise werden für vierstreifige Hauptverkehrsstraßen auch höhere Einsatzgrenzen genannt, von KRUG (1999) beispielsweise 2.500 Kfz/(h x Ri), einschließlich 12 bis 16 Bahnen pro Stunde und Richtung, in einer weiteren Veröffentlichung nennt KRUG (2000) sogar noch weit darüber hinausgehende Einsatzbelastungen. Diese werden von MÜLLER-EBERSTEIN/WORTMANN (2000) als nicht praktikabel angesehen; tatsächlich sind diese vollkommen unrealistisch, da derartige stündliche Kraftfahrzeugverkehrsstärken selbst in hochbelasteten Verbindungsstraßen mit ausgeprägten Belastungsspitzen, bedingt durch die Kapazität der Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen, kaum erreicht werden (vgl. BAIER, 2006).

Die dynamische Straßenraumfreigabe als Beschleunigungsmaßnahme für den ÖPNV beeinflusst gleichzeitig den Kraftfahrzeugverkehrsablauf – inwieweit lässt sich jedoch bislang nicht quantifizieren, da die bisherigen Arbeiten hierzu (z. B. von SCHNÜLL/STRAUBE, 1993, ALBERS, 1996, SCHNÜLL et al., 1999, und KLOPPE, 2000) in erster Linie den Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs betrachten. Nach BAIER (2006) sind sowohl positive als auch negative Effekte auf den Kraftfahrzeugverkehr denkbar: einerseits kann die erforderliche, von der Stadt-/Straßenbahn angeforderte Räumerschaltung an Knotenpunkten auch für die vorausfahrenden Kraftfahrzeuge eine Beschleunigung erwirken (die Bahn „schiebt“ diese quasi vor sich her), andererseits müssen die Kraftfahrzeuge hinter der Bahn an signaltechnisch gesicherten Haltestellen während des gesamten Haltevorgangs stehen bleiben. Ob hierdurch größere Zeitverluste und damit höhere Qualitätseinbußen für den Kraftfahrzeugverkehrsablauf als an ungesicherten Haltestellen nach § 20 StVO entstehen, bleibt zu prüfen (siehe hierzu auch Kapitel 9.7.4).

## 5.1 Ablauf des Kraftfahrzeugverkehrs

Neben der Stärke des Kraftfahrzeugverkehrs selbst haben die Querschnittsaufteilung und -nutzung, die zulässige Höchstgeschwindigkeit (wobei hier ausschließlich Straßen mit  $V_{zul} = 50$  km/h betrachtet werden), die Lichtsignalsteuerung und die verkehrlichen Effekte aus der Erschließungsfunktion einen Einfluss auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf. Bezogen auf Letztere sind vor allem folgende Einflussgrößen zu berücksichtigen (vgl. BAIER et al., 2003, und BAIER, 2006):

- Abbiegevorgänge an Einmündungen bzw. Kreuzungen nachgeordneter Straßen sowie an hochfrequentierten Grundstückszufahrten,
- Einparkvorgänge sowie Parksuchverkehr (langsam fahrende Fahrzeuge),
- Halte-, Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn,
- Bus- und Stadt-/Straßenbahnhalte auf der Fahrbahn,
- querende Fußgänger an bedarfsgesteuerten Fußgängerlichtsignalanlagen.

Diese treten zwar im Allgemeinen punktuell und häufig nur kurzzeitig auf, führen aber dennoch zu Störungen des Verkehrsablaufs und infolgedessen zu Stauerscheinungen bzw. Dichteveränderungen (vgl. HÖFLER, 1994). Die Störungsintensität der einzelnen Einflussgrößen ist hierbei einerseits abhängig von deren Häufigkeit, Dauer und Verlauf sowie auch der räumlichen Verteilung im Streckenabschnitt und andererseits von der Kraftfahrzeugverkehrsstärke in der betrachteten Fahrtrichtung. Dabei kommt es häufig zu Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Einflüssen (KNOFLACHER, 1970), sodass Wirkungsüberlagerungen grundsätzlich nicht auszuschließen sind (vgl. ZEITVOGEL, 1980, und HAUGER, 1997).

Bei den hier betrachteten Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern und Kraftfahrzeugen und Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr kommt es sowohl bei zweistreifigen als auch bei vierstreifigen Fahrbahnen mit überfahrbarem Stadt-/Straßenbahnkörper in Mittellage an Haltestellen zwangsläufig zu Behinderungen des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs. Bei Letzteren ist dies zunächst unabhängig davon, ob der Fahrgastwechsel nach § 20 StVO ungesichert oder mit einer Zeitinsel signaltechnisch gesichert erfolgt.

Nach § 20 Abs. 1 StVO darf an Stadt-/Straßenbahnen, die an Haltestellen (beschildert mit Zeichen 224 StVO) halten, grundsätzlich vorsichtig vorbeigefahren werden. § 20 Abs. 2 StVO erlaubt, dass rechts an haltenden Bahnen, jedoch nur mit Schrittgeschwindigkeit, vorbeigefahren werden darf, wenn Fahrgäste ein- oder aussteigen; wenn nötig, muss der Kraftfahrzeugverkehr anhalten. DITTEMER (1990) stellte fest, dass bei etwa 28 % der Haltestellenaufenthalte mit Fahrgastwechsel ein Kraftfahrzeug rechts an der stehenden Bahn vorbeifuhr, LINNENBERG (1989) kam sogar auf einen Wert von über 40 %. Untersuchungen von HUHN (2001)

zeigten, dass die durchschnittliche Haltezeit des (jeweils unmittelbar) nachfolgenden Kraftfahrzeugs um etwa ein Drittel kürzer ist als die Haltezeit der Bahn.<sup>15</sup> Er stellte darüber hinaus fest, dass der Einfluss des Stadt-/Straßenbahnhalts auf den Kraftfahrzeugverkehr nicht ausschließlich von der Haltestellenaufenthaltszeit der Bahn, sondern auch von anderen Faktoren abhängt. So beeinflusst auch das Verkehrsgeschehen vor der haltenden Stadt-/Straßenbahn das Verhalten der Kraftfahrzeugführer, d. h. diese warten teilweise vor der Weiterfahrt hinter der Haltestelle ab, bis sich beispielsweise eine Stauung vor der Haltestelle, die aufgrund einer nahe liegenden Lichtsignalanlage entstanden ist, aufgelöst hat.

Bei Sicherung des Fahrgastwechsels durch Zeitinseln, die vor lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten und auf der freien Strecke eingesetzt werden können (vgl. z. B. ALBERS, 1996, SCHNÜLL et al., 1999, und ANGENENDT et al., 2002), wird der Kraftfahrzeugverkehr durch ein am Beginn der Haltestelle angeordnetes, von der Bahn ausgelöstes Vorsignal angehalten. Dieses wird nach Ablauf einer für den Fahrgastwechsel erforderlichen Mindestzeit oder durch Abmeldung seitens der Bahn wieder abgeschaltet. In letzterem Fall wird der fließende Kraftfahrzeugverkehr bei jedem Stadt-/Straßenbahnhalt während dessen gesamter Dauer, gegebenenfalls zuzüglich erforderlicher Zwischenzeiten zum Anfahren und Verlassen der Haltestelle, angehalten. Nach HOFFMANN/POTT (1997) können Behinderungen für den MIV bei Optimierung der dynamischen Haltestellenanlage jedoch auf ein Minimum reduziert werden.

Maßgebend für die Auswirkungen auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf ist die Haltestellenaufenthaltszeit der Stadt-/Straßenbahnen. Diese wird wesentlich bestimmt durch die Fahrgastwechselzeit, die wiederum von der Anzahl der Ein- und Aussteiger abhängig ist (LEHNHOFF/JANSSEN, 2003).<sup>16</sup>

Nach den EAÖ (2003) liegen die Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\text{ÖV}}$  im Allgemeinen zwischen 15 s und 30 s. Im Hinblick auf die hieraus resultierenden Auswirkungen auf den Kraftfahrzeugverkehr ist jedoch eine differenziertere Betrachtung für unterschiedliche Haltestellenformen erforderlich.

ANGENENDT et al. (2002) haben  $t_{H,\text{ÖV}}$  an Stadt-/Straßenbahnhaltestellen von im Mittel zwischen rund 14 s und fast 26 s ermittelt, die dazugehörigen 85%-Werte liegen zwischen etwa 17 s und 37 s.<sup>17</sup> Deutlich ist dabei die Diskrepanz zu den benötigten

Fahrgastwechselzeiten: Diese liegen im Mittel zwischen 4 s und 10 s, die zugehörigen 85%-Werte zwischen 8 s und etwa 15 s. Insgesamt liegen die mittlere Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\text{ÖV}}$  bei rund 22 s (85%-Wert: 28 s), die mittlere Fahrgastwechselzeit bei 7 s (85%-Wert: 12 s). Auch an anderer Stelle wird die Größenordnung von 20 s bis 30 s für die Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\text{ÖV}}$  genannt (z. B. von KRUG, 1999 und 2000).

Im Hinblick auf die Stördauer für den Kraftfahrzeugverkehr durch den Fahrgastwechsel bei ungesicherten Haltestellen sind die Überquerungen des rechten Fahrstreifens zu berücksichtigen bzw. aufgrund der Regelungen des § 20 Abs. 2 StVO maßgebend. Nach ANGENENDT et al. (2002) liegt der Mittelwert der Einstiegsvorgänge je nach Haltestelle zwischen 6 s und 12 s nach Stillstand der Bahn, der Ausstiegsvorgang endet im Mittel zwischen 7 s bis 14 s nach Stillstand der Bahn.<sup>18</sup>

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass selbst bei Haltestellen ohne Zeitinsel die Einsteiger die Fahrbahn oftmals vorzeitig betreten, also noch während der Einfahrt der Bahn in den Haltestellenbereich (vgl. HUHN, 2001, und ANGENENDT et al., 2002). Nach ANGENENDT et al. (2002) betreten die Fahrgäste im Mittel bereits 4 s bis teilweise sogar 12 s vor Stillstand der Stadt-/Straßenbahn den rechten Fahrstreifen, ein Drittel davon mehr als 10 s, bevor die Bahn steht.

<sup>15</sup> Als Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\text{ÖV}}$  ist in Anlehnung an TOPP et al. (1994) die Zeit des Haltevorgangs (zum Zweck des Fahrgastwechsels) zwischen den Zeitpunkten „Bahn steht“ bis „Bahn fährt an“ definiert. Zusätzlich zur Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\text{ÖV}}$  treten weitere Zeitverluste durch Bremsen  $t_{H,\text{ÖV},b}$  und Anfahren  $t_{H,\text{ÖV},a}$  auf (vgl. auch LENK/THEURICH, 1980).

<sup>16</sup> Als Fahrgastwechselzeit ist die Zeit zwischen Beginn und Beendigung des Ein- und Ausstiegs definiert (vgl. hierzu auch ANGENENDT et al., 2002).

<sup>17</sup> ANGENENDT et al. (2002) untersuchten zwar ausschließlich Haltestellen mit Anhebung des rechten Fahrstreifens und einstreifiger Führung des Kraftfahrzeugverkehrs (je Richtung), die Fahrbahnanhebung führt jedoch „lediglich“ zu einer Komfortverbesserung für die Fahrgäste; eine schnellere Abwicklung der Ein- und Aussteigevorgänge ist kaum nachweisbar. Insofern sind die Erkenntnisse von ANGENENDT et al. (2002) hinsichtlich der Haltestellenaufenthalts- und Fahrgastwechselzeiten durchaus von Interesse und im Weiteren zu berücksichtigen.

<sup>18</sup> Der Einstiegsvorgang endet dabei zu dem Zeitpunkt, an dem der letzte Fahrgast in die Stadt-/Straßenbahn einsteigt, der Ausstiegsvorgang endet mit dem Erreichen des Fahrbahnrandes nach Überquerung des rechten Fahrstreifens (ANGENENDT et al., 2002).

Einen entscheidenden Einfluss auf den Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs an Haltestellen hat nach KÖRSTEN (1977) und ALBERS (1996) die Lage der Haltestelle bezüglich eines Knotenpunkts mit Lichtsignalanlage. Die Erkenntnisse über den Stadt-/Straßenbahnverkehrsablauf lassen dabei auch logische Schlüsse über die entsprechenden Auswirkungen auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf zu, da diese schließlich einander bedingen (HUHN, 2001). Liegt die Haltestelle vor einem Knotenpunkt, kann die Stadt-/Straßenbahn bei der Anforderung bedarfsgesteuerter Räumerschaltungen auch für die vorausfahrenden Kraftfahrzeuge eine Beschleunigung erwirken. Für die nachfolgenden Kraftfahrzeuge kann es dagegen zu Benachteiligung kommen, wenn der Stadt-/Straßenbahnhalt innerhalb der Freigabezeit des Verkehrs in Fahrtrichtung der Bahn durchgeführt wird. Bei einer hinter dem Knotenpunkt gelegenen Haltestelle können prinzipiell ähnliche Effekte auftreten.<sup>19</sup>

An einer Haltestelle auf der Strecke zwischen zwei Knotenpunkten hat ein Stadt-/Straßenbahnhalt dagegen ausschließlich einen Einfluss auf den nachfolgenden Kraftfahrzeugverkehr. Bei nach § 20 StVO geregelten Haltestellen richtet sich das Ausmaß dieser Auswirkungen dabei auch nach dem Verhalten der einzelnen Kraftfahrzeugführer, das wiederum von der jeweiligen Position im Fahrzeugpulk und der Ankunft an der Haltestelle in Bezug auf die Stadt-/Straßenbahn beeinflusst wird und nicht immer den StVO-Regelungen entspricht (vgl. HUHN, 2001). Bei Haltestellen mit Zeitinsel bestimmt die Lichtsignalsteuerung (Sperrzeit) die Auswirkungen auf den Kraftfahrzeugverkehr.

<sup>19</sup> Neben den in Fahrtrichtung der Stadt-/Straßenbahn fahrenden Kraftfahrzeugen kann eine Haltestelle im Bereich eines Knotenpunkts zudem über die Beeinflussung der Lichtsignalsteuerung auch Auswirkungen auf den Gegenverkehr sowie den Querverkehr haben (vgl. HUHN, 2001).

<sup>20</sup> FRIEDRICH/FISCHER (2002) beziehen ihre Aussage über die Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf die Wartezeiten an den lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten, KNOTE et al. (1999) auf die Fahrgeschwindigkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs  $V_F$  über einen Straßenzug. Die Fahrgeschwindigkeit  $V_F$  ergibt sich bezogen auf die Länge  $L_F$  eines zurückgelegten Wegs aus der dazu benötigten Fahrzeit  $t_F$  einschließlich aller Zeitverluste (gegenüber einer freien, unbehinderten Fahrt); in der Literatur wird diese z. T. auch als Reisegeschwindigkeit bezeichnet (vgl. hierzu STEIERWALD/HEINZ, 1984), so auch von KNOTE et al. (1999), die Reisegeschwindigkeit  $V_R$  ergibt sich nach den RIN (2008) aber als verbindungsbezogene Größe aus der Reisezeit  $t_R$  (= Fahrzeit  $t_F$  über den Weg  $L_F$  zuzüglich Zu- und Abgangszeiten  $t_{Zu}$  und  $t_{Ab}$  sowie Parksuchzeiten  $t_{PS}$ ).

Der Einfluss von Stadt-/Straßenbahnhalten auf der Fahrbahn auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf hängt demnach von mehreren Faktoren ab, und zwar von

- der Lage der Haltestelle im Bezug auf Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage,
- der Haltedauer der Stadt-/Straßenbahn (Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,ÖV}$ ) und
- bei nach § 20 StVO geregelten Haltestellen von der Dauer des Fahrgastwechsels innerhalb der Türöffnungszeit der Bahn und dem Verhalten der Kraftfahrzeugführer bzw.
- bei Haltestellen mit Zeitinsel von der sich aus der Lichtsignalsteuerung ergebenden Sperrzeit  $t_S$  für die nachfolgenden Kraftfahrzeuge.

Bei Straßen mit vom Kraftfahrzeugverkehr überfahrbaren Stadt-/Straßenbahnkörpern ergeben sich für diesen neben Störungen an den Haltestellen auch Behinderungen im fließenden Verkehr auf der Strecke. Durch die gemeinsame Nutzung eines, für die Stadt-/Straßenbahn spurgebundenen, Fahrwegs kommt es zwangsläufig zur gegenseitigen Beeinflussung im Verkehrsablauf: Behinderungen der Stadt-/Straßenbahn durch beispielsweise links abbiegende, zwangsläufig auf dem Bahnkörper abbremsende oder (in Abhängigkeit vom Gegenverkehr) wartende Kraftfahrzeuge wirken sich ihrerseits auch auf den Ablauf des nachfolgenden Kraftfahrzeugverkehrs aus. BAIER (2006) vermutet, dass diese aufgrund der Spurgebundenheit und des Längenanspruchs der Stadt-/Straßenbahn gegebenenfalls sogar stärker sind als die Störung durch Linksabbieger bei ausschließlichem Kraftfahrzeugverkehr. Diese Hypothese gilt es im Rahmen der weiteren Betrachtungen zu überprüfen.

Auch die Lichtsignalsteuerung, insbesondere die Koordinierung innerhalb des Straßenzugs, ist zu betrachten. Wie BRENNER/SIEGLOCH (1981) oder ALBERTI et al. (1982) bereits aufgezeigt haben, ist es durchaus möglich, Stadt-/Straßenbahnen in grünen Wellen mitzuführen und auch zu priorisieren. Dies führt laut FRIEDRICH/FISCHER (2002) zu einer, wenn auch geringen, Verschlechterung der Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs; nach KNOTE et al. (1999) lässt sich dagegen für Priorisierungen des ÖPNV keine verringerte Wirkung auf die Kraftfahrzeugverkehrsqualität nachweisen.<sup>20</sup> Darüber hinaus bieten neuere Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen (siehe z. B. FRIEDRICH, 2000) inzwischen die Möglich-

keit, Beschleunigungsmaßnahmen für den ÖPNV zu integrieren, ohne dass sich die Verkehrsqualität anderer Verkehrsarten signifikant verschlechtert, z. T. können diese sogar auch Verbesserungen für ÖPNV und MIV bewirken (vgl. DÜRR, 2002).

## 5.2 Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs

Störungen im Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs auf Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern werden im Wesentlichen von Behinderungen durch den Kraftfahrzeugverkehr hervorgerufen. Die Ursachen hierbei liegen in den meisten Fällen in nicht rechtzeitig abfließenden Kraftfahrzeugen an Knotenpunkten und Liefer-/Lade- sowie Parkvorgängen auf der Strecke (SCHNÜLL/STRAUBE, 1993, ALBERS, 1996, DRÖGE, 1997, und SCHNÜLL/JOHANNISMEIER, 1998). Besonders negativ wirken sich Abbiegevorgänge an Kreuzungen und Einmündungen aus (vgl. hierzu auch BERENDS/OVERKAMP/WAPPLER, 1997).

Allerdings führt selbst bei einem vermehrten Auftreten von Interaktionen zwischen Stadt-/Straßenbahn- und Kraftfahrzeugverkehr nur ein Teil dieser zu merklichen Störungen im ÖPNV. Viele Interaktionen führen nur zu sehr geringen Störungen, die sich wiederum auch nur geringfügig auf den Fahrtablauf der Stadt-/Straßenbahnen auswirken (vgl. ALBERS, 1996, SCHNÜLL, 1997, und KAPPEL, 1999). Die Anzahl von Interaktionen ist auf zweistreifigen Straßen höher als in vierstreifigen Straßen, auch die hieraus resultierenden Störungen für den Stadt-/Straßenbahnverkehr sind größer.

Die Geschwindigkeiten der Stadt-/Straßenbahnen auf straßenbündigen, vom Kraftfahrzeugverkehr mitgenutzten Bahnkörpern sind jedoch selbst bei zweistreifigen Straßen nicht zwangsläufig deutlich niedriger als bei einer räumlichen Trennung der Verkehrsarten, vor allem, wenn eine dynamische Straßenraumfreigabe realisiert ist (vgl. SCHNÜLL, 1997, WILMS, 1998, und KLOPPE, 2000). KRUG (1999) geht sogar davon aus, dass bei richtiger Organisation im ÖPNV keine Unterschiede in den Beförderungsgeschwindigkeiten im Vergleich zu einer prinzipiellen Trennung der Verkehrsarten auftreten.

Entscheidenden Einfluss auf den Ablauf im ÖPNV hat die Lichtsignalsteuerung, insbesondere das Vorhandensein eventueller Priorisierungsmaßnahmen. In diesen Zusammenhang sind u. a. auch die

Lage und Ausgestaltung der Haltestellen für den Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs von Bedeutung (vgl. KÖRSTEN, 1977, und ALBERS, 1996). Liegt die Haltestelle beispielsweise unmittelbar hinter einem Knotenpunkt, und bietet deren Gestaltung keine Überholmöglichkeit für den MIV, wird während des Fahrgastwechsels ein Zeitfenster geschaffen, in dem der Kraftfahrzeugverkehr vor der Bahn abfließen und der entsprechende Streckenabschnitt geräumt werden kann, sodass die Stadt-/Straßenbahn diesen anschließend unbehindert durchfahren kann.

## 5.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen ist es notwendig, Streckenabschnitte außerhalb der Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen, jedoch einschließlich der Anschlussknotenpunkte mit dem nachgeordneten Erschließungsstraßennetz, als homogene Straßenverkehrsanlagen zu betrachten. Neben infrastrukturellen Randbedingungen ist dabei eine Vielzahl verkehrlicher Einflussfaktoren, insbesondere aus der Erschließungsfunktion der Straße, zu berücksichtigen.

Maßgebenden Einfluss auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf auf Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern haben die Haltevorgänge der Stadt-/Straßenbahnen auf der Fahrbahn. Zeitverluste für den Kraftfahrzeugverkehr setzen sich aus der gesamten Haltestellenaufenthaltszeit, Verlusten aufgrund von Beschleunigung und Verzögerung der Stadt-/Straßenbahn und Zeitverlusten, die beim weiteren Folgen der Bahn auftreten, zusammen (vgl. auch ARNOLD et al., 1996).

Die Auswirkungen auf den Kraftfahrzeugverkehr sind dabei auf zweistreifigen Straßen wesentlich höher einzustufen als im Zuge vierstreifiger Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern in Mittellage (KLOPPE, 2000). Bei fehlenden Überholmöglichkeiten innerhalb eines Straßenzugs, was vor allem auf zweistreifigen Straßen der (Regel-) Fall ist, summieren sich die Zeitverluste für den Kraftfahrzeugverkehr an jeder weiteren Haltestelle auf. Bei einer dynamischen Straßenraumfreigabe sind jedoch vergleichbare Fahrgeschwindigkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs wie bei einer räumlichen Trennung von MIV und ÖPNV erreichbar.

Der Stadt-/Straßenbahnverkehrsablauf im Mischverkehr wird maßgeblich von Störungen durch den MIV beeinflusst. Diese können an Knotenpunkten, aber auch auf der Strecke u. a. durch abbiegende oder einparkende Kraftfahrzeuge hervorgerufen werden. Durch eine dynamische Straßenraumfreigabe mit Priorisierungen an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten und Haltestellen (die dann mit Zeitinseln ausgeführt sind) kann der Ablauf im ÖPNV jedoch verbessert und optimiert werden.

Die Festlegung allgemeingültiger Einsatzbereiche bzw. -grenzen für die Führung von Kraftfahrzeugen und Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr ist laut HINTERMEISTER et al. (2002) nicht möglich. Insbesondere Hinweise zu verträglichen Verkehrsmengen lassen sich schwierig ableiten, da diese sehr stark von den jeweiligen Randbedingungen (insbesondere den Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion) abhängen. Hier können bislang lediglich Erfahrungswerte aus realisierten Anwendungsfällen herangezogen werden, die jedoch in der Regel nur eingeschränkt übertragbar sind.

Insgesamt bestehen im Hinblick auf eine quantifizierbare Qualitätsbewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern noch offene Fragen. Diese betreffen insbesondere die Auswirkungen gegenseitiger Beeinflussungen von MIV und ÖPNV sowie die Überlagerung dieser mit den Nutzungsansprüchen aus der Erschließungsfunktion.

## 6 Empirische Untersuchungen des Verkehrsablaufs an ausgewählten Fallbeispielen

Die empirischen Untersuchungen qualitätsrelevanter Kenngrößen des Ablaufs im Kraftfahrzeugverkehr und im Stadt-/Straßenbahnverkehr sollen auf praxisrelevante Fälle fokussiert werden. Deshalb erfolgt zunächst eine begründete Auswahl geeigneter Fallbeispiele von Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern. Insgesamt sollen zwei Straßenzüge mit zweistreifigen und zwei Straßenzüge mit vierstreifigen Fahrbahnquerschnitten, jeweils mit zwei bis drei Streckenabschnitten mit möglichst unterschiedlichen Randnutzungen und hieraus resultierender verkehrlicher Effekte mit potenziellen Störeinflüssen für den MIV und den ÖPNV sowie verschiedenen Lagen und Ausgestal-

tungen der Stadt-/Straßenbahnhaltestellen, untersucht werden.

Die Empirie dient zur Abklärung grundlegender Fragen, wie z. B. zur Ableitung der Länge von definierbaren Streckenabschnitten unter Ausschluss der jeweiligen Knotenpunkteinflüsse, der Quantifizierung auftretender Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion und der Ausprägungen gegenseitiger Beeinträchtigungen von Kraftfahrzeug- und Stadt-/Straßenbahnverkehr. Des Weiteren stellen die empirischen Befunde die wesentlichen Grundlagen für die situativen Verkehrszustandsbewertungen zur Überprüfung der Qualitätskriterien und Ableitung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs sowie für die mikroskopischen Verkehrsflusssimulationsuntersuchungen dar.

### 6.1 Auswahl der Fallbeispiele

Wesentliche Kriterien für die Auswahl der zu untersuchenden Straßenzüge sind entsprechend dem in Kapitel 2 dargestellten Untersuchungsansatz neben dem Fahrbahnquerschnitt

- ausreichend große Abstände zwischen Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen,
- dazwischenliegende Abschnitte mit einer (weitgehend) einheitlichen Streckencharakteristik,
- ein möglichst breites, über den gesamten Straßenzug konstantes Belastungsspektrum in der Kraftfahrzeugverkehrsstärke,
- über den gesamten Straßenzug verkehrende Stadt-/Straßenbahnlinien und
- unterschiedliche Nutzungsansprüche aus der Erschließungsfunktion in den einzelnen Abschnitten.

Im Hinblick auf die Zielsetzung des Teils 2 dieses Forschungsvorhabens, einer übergreifenden Bewertung von Verkehrs- und Verbindungsqualitäten in Hauptverkehrsstraßenzügen unter Berücksichtigung von Netzeffekten (siehe LANK et al., 2008), ist ein weiteres Kriterium für die Fallbeispielauswahl, dass in den ausgewählten Straßenzügen planerische Maßnahmen angedacht, geplant bzw. zumindest plausibel unterstellbar sind. Darüber hinaus sollten eventuelle Netzeffekte analysierbar und mit verfügbaren makroskopischen Verkehrsmodellen quantifizierbar sein.

### 6.1.1 Straßenzüge mit zweistreifiger Fahrbahn mit straßenbündigen Bahnkörpern

Als Fallbeispiele für Hauptverkehrsstraßenzüge mit zweistreifigem Fahrbahnquerschnitt und straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern ausgewählt wurden

- die Derendorfer Straße und die an diese anschließende Schlossstraße und Sommerstraße in Düsseldorf (nachfolgend verkürzt als Derendorfer Straße bezeichnet) und
- die Zülpicher Straße in Köln.

Die Derendorfer Straße (Bild 10) verbindet den im Norden von Düsseldorf gelegenen Stadtteil Derendorf sowie die östlichen Gebiete des Stadtteils Pempelfort mit der Stadtmitte (und im weiteren Verlauf über die Pempelforter Straße und die Kölner Straße u. a. auch mit dem Hauptbahnhof). Der relevante Bereich des Straßenzugs mit zweistreifigem Fahrbahnquerschnitt mit straßenbündigen Bahnkörpern zwischen der Münsterstraße und der Bagelstraße (Bild 11) ist rund 1.400 m lang.

Der Straßenzug ist durch überwiegende Wohnnutzung geprägt. Teilweise befinden sich Geschäfte und Gastronomien in den Erdgeschossen, die in den beiden Abschnitten zwischen der Jülicher Straße und der Moltkestraße sowie der Moltkestraße und der Bagelstraße konzentriert vorhanden sind. Neben der Funktion als innerörtliche Verbindungsstraße hat der betrachtete Bereich der Derendorfer Straße somit zusätzlich die Funktion einer örtlichen Geschäftsstraße.

Die Derendorfer Straße ist mit bis zu 700 Kfz/h im Querschnitt insgesamt eher niedrig belastet. Das Radverkehrsaufkommen beträgt bis zu 60 Rad/h



Bild 10: Derendorfer Straße in Düsseldorf

(im Querschnitt), wobei der Radverkehr auf der Fahrbahn geführt wird.

Das Parkgeschehen wird durch die Anwohner sowie die Einkaufenden bestimmt. Aus dem vorhandenen Geschäftsbesatz resultiert ein entsprechendes Liefer- und Ladeverkehrsaufkommen.

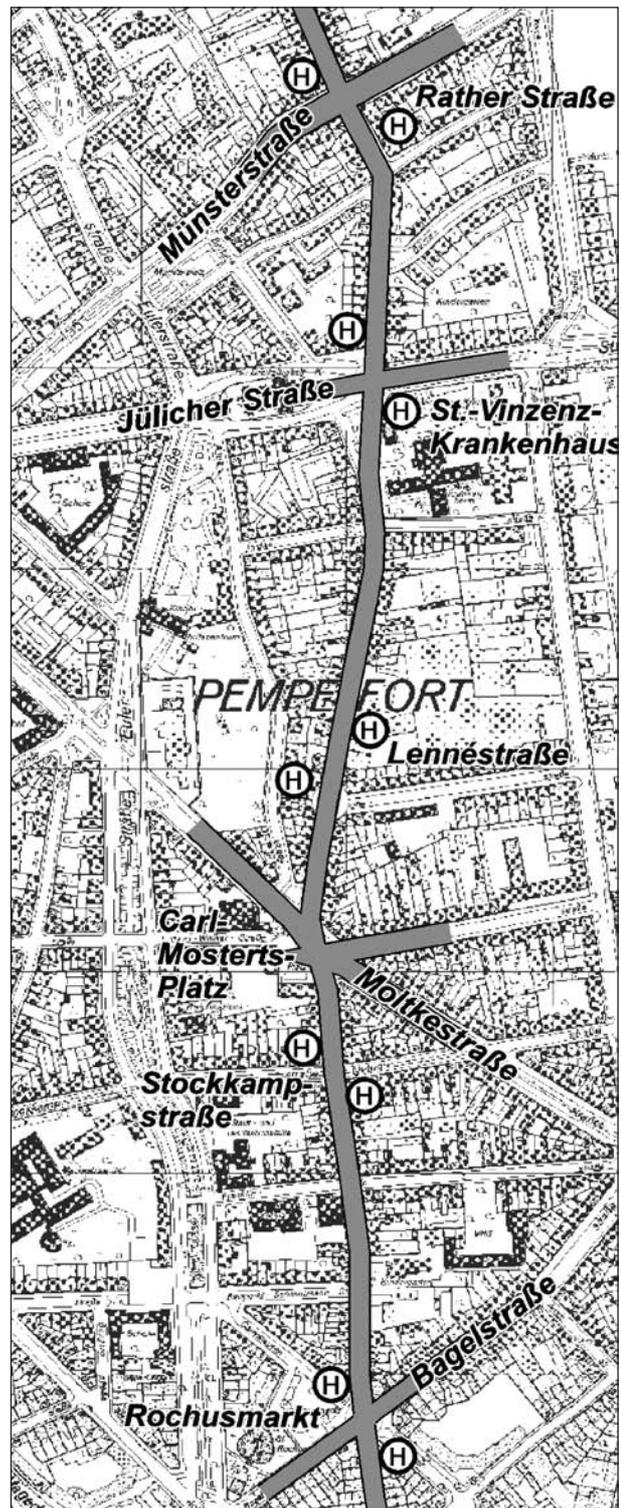


Bild 11: Untersuchungsbereich der Derendorfer Straße in Düsseldorf

Es verkehrt eine Stadt-/Straßenbahnlinie im 10-Minuten-Takt über den Straßenzug. Im betrachteten Bereich liegt eine Haltestelle auf der Strecke (Lennéstraße), vier weitere Haltestellen an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten (jeweils in den Zufahrten).

Die Zülpicher Straße (Bild 12) verbindet die westlichen Wohngebiete des Stadtteils Lindenthal mit dem Zentrum von Köln und stellt gleichzeitig als örtliche Geschäftsstraße das Stadtteilzentrum von Sülz dar. Der betrachtete Bereich mit zweistreifigem Fahrbahnquerschnitt und straßenbündigen Bahnkörpern vom Lindenthalgürtel/Sülzgürtel bis zur Universitätsstraße (Bild 13) hat eine Länge von etwa 1.200 m. Dieser Abschnitt ist durch Geschäfte, Gastronomie sowie Dienstleistungsnutzungen geprägt, in den Obergeschossen befinden sich aber auch Wohnnutzungen.

Die Belastung im Kraftfahrzeugverkehr beträgt bis zu 1.200 Kfz/h im Querschnitt. Aufgrund der Be-



Bild 12: Zülpicher Straße in Köln



Bild 13: Untersuchungsbereich der Zülpicher Straße in Köln

deutung als örtliche Geschäftsstraße sowie der unmittelbaren Lage zur Universität ist das Aufkommen des auf der Fahrbahn geführten Radverkehrs mit 100 Rad/h bis 170 Rad/h (jeweils im Querschnitt) bedeutsam.

Das Parkgeschehen wird durch die Anwohner, tagsüber vor allem durch die Einkaufenden bestimmt. Das Liefer-/Ladeverkehrsaufkommen ist aufgrund des dichten Geschäfts- und Gastronomiebesatzes entsprechend hoch.

Über die Zülpicher Straße verkehrt eine Bahnlinie im 10-Minuten-Takt. Im betrachteten Bereich befinden sich drei Haltestellen: Eine Haltestelle liegt am Knotenpunkt mit dem Lindenthalgürtel und Sülzgürtel, zwei weitere Haltestellen an ebenfalls lichtsignalgesteuerten Anschlussknotenpunkten (Lindenburg, Weyertal). Die Haltestellen sind dort jeweils in den Knotenpunktzufahrten angeordnet.

#### 6.1.2 Straßenzüge mit vierstreifiger Fahrbahn mit straßenbündigen Bahnkörpern

Als Fallbeispiele vierstreifiger Fahrbahnen mit straßenbündigen, vom Kraftfahrzeugverkehr überfahrbaren Bahnkörpern ausgewählt wurden

- die Detmolder Straße in Bielefeld und
- die Grafenberger Allee in Düsseldorf.

Die Detmolder Straße (Bild 14) verbindet den Stadtteil Stieghorst sowie die Anschlussstelle Bielefeld-Zentrum der BAB A 2 mit dem Stadtzentrum. Der Bereich mit vierstreifigem Fahrbahnquerschnitt mit straßenbündigen Bahnkörpern von der Osningstraße/Otto-Brenner-Straße bis zum Niederwall (Bild 15) hat eine Länge von rund 2.300 m. Hier ist



Bild 14: Detmolder Straße in Bielefeld

die Detmolder Straße durch überwiegende Wohnnutzung geprägt, vereinzelt sind Geschäfte in den Erdgeschossen und Dienstleistungsnutzungen vorhanden.

Der Straßenzug ist mit bis zu 2.200 Kfz/h im Querschnitt belastet. Das Parkgeschehen wird von den Anwohnern bestimmt, das Liefer-/Ladeverkehrsaufkommen ist gering.

Über die Detmolder Straße verkehrt tagsüber eine Stadt-/Straßenbahnlinie im 10-Minuten-Takt. Die insgesamt vier Haltestellen sind alle mit Zeitinseln ausgestattet. Drei Haltestellen liegen jeweils in den Zufahrten lichtsignalgesteuerter Knotenpunkte (Prießallee, Teutoburger Straße und August-Bebel-Straße), eine weitere Haltestelle liegt auf der Strecke (Mozartstraße).

Die Grafenberger Allee (Bild 16) verbindet den im Osten gelegenen Stadtteil Grafenberg sowie Teile des Zooviertels (Stadtteil Düsseldorf) und des Stadtteils Flingern mit der Stadtmitte von Düsseldorf. Der



**Bild 15:** Untersuchungsbereich der Detmolder Straße in Bielefeld



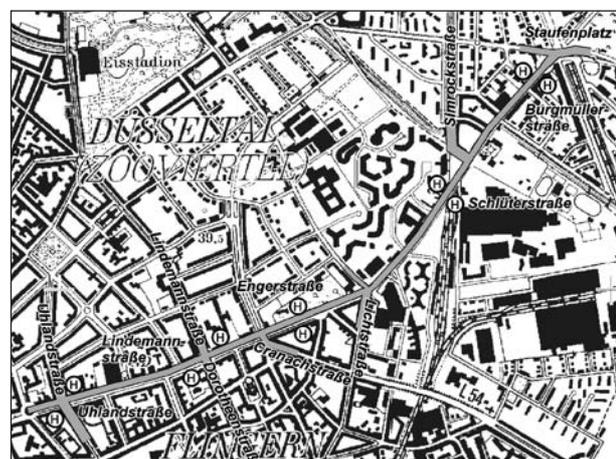
**Bild 16:** Grafenberger Allee in Düsseldorf

betrachtete Straßenzug vom Staufeuplatz bis zur Uhlandstraße/Beethovenstraße (Bild 17) ist etwa 2.400 m lang.

Die Randnutzungen sind in einzelnen Abschnitten unterschiedlich: Zwischen dem Staufeuplatz und der Simrockstraße überwiegt Wohnnutzung mit Geschäften in den Erdgeschossen, zwischen der Simrockstraße und der Lichtstraße befinden sich fast ausschließlich Dienstleistungsnutzungen (u. a. Arbeitsamt), zwischen der Lichtstraße und der Uhlandstraße überwiegt dann wieder Wohnnutzung, teilweise mit Geschäften, Dienstleistungen und auch Gastronomie, die sich sowohl im Bereich der Dorotheenstraße/Lindemannstraße als auch im Bereich der Uhlandstraße/Beethovenstraße konzentrieren. Die Grafenberger Allee hat somit als Verbindungsstraße abschnittsweise auch die Funktion einer örtlichen Geschäftsstraße.

Der Straßenzug ist mit bis zu 1.900 Kfz/h im Querschnitt belastet. Das Parkgeschehen wird von den Anwohnern, in den Abschnitten mit Geschäften und Dienstleistungen vor allem von den dortigen Kunden bestimmt. Aus dem vorhandenen Geschäftsbesatz resultiert hier auch ein entsprechendes Liefer- und Ladeverkehrsaufkommen.

Insgesamt verkehren über die Grafenberger Allee sechs Stadt-/Straßenbahnlinien, davon jedoch nur zwei Linien über den gesamten Straßenzug vom Staufeuplatz bis zur Uhlandstraße/Beethovenstraße (im 10- bzw. 20-Minuten-Takt). Eine dritte Linie verkehrt im 10-Minuten-Takt über den Straßenzug von der Simrockstraße bis zur Uhlandstraße/Beethovenstraße. Die drei übrigen Linien befahren die Grafenberger Allee nur zwischen dem



**Bild 17:** Untersuchungsbereich der Grafenberger Allee in Düsseldorf



der hohen Verkehrsstärken und des „meist spurge-nauen Fahrens“ im Bereich der Knotenpunkte kaum zu verwirklichen und entspricht auch nicht dem durchschnittlichen Verhalten des Fahrzeugkollektivs. Aus ihrer Sicht ist die Fahrzeit-/Fahr-geschwindigkeitsermittlung mit Hilfe von Messfahrten in einer Kombination aus der Car-Following-Methode und der Average-Car-Methode am ehesten geeignet. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurde deshalb diese „Methodenkombination“ gewählt, da diese die Ermittlung verbindungs- und streckenbezogener Fahrgeschwindigkeiten sowie der Anzahl und Dauer von Halten ermöglicht.

Bei den Messfahrten wurden durch ein mit einer dynamischen Geschwindigkeitserfassung ausgerüstetes Messfahrzeug wegbezogene Kenngrößen des Fahrtverlaufs (u. a. Geschwindigkeit und Beschleunigung) durch Aufnahme der Weg-Zeit-Beziehungen im Verkehrsfluss erfasst. Ausgewertet wurden diese über den betrachteten Straßenzug (jeweils für beide Fahrrichtungen getrennt) hinsichtlich des Geschwindigkeitsverlaufs.<sup>21</sup> Anhand dieser Geschwindigkeitsprofile wurden die Längen der von den Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen unbeeinflussten Streckenabschnitte ermittelt (siehe hierzu Kapitel 7).

Die Fahrplankarte und -halte des ÖPNV wurden den jeweiligen Fahrplänen entnommen. Durch die Auswertung von RBL-Daten (soweit verfügbar) wurde der Fahrtverlauf der Stadt-/Straßenbahnen analysiert und die hieraus resultierenden Beförderungszeiten bzw. -geschwindigkeiten ermittelt.

Zur Erfassung von Interaktionen zwischen dem MIV und dem ÖPNV wurden sowohl bei den Messfahrten im Kraftfahrzeugverkehr als auch bei Mitfahrten in den Stadt-/Straßenbahnen die jeweiligen Fahrtverläufe aus den Fahrzeugen heraus mittels Video aufgezeichnet. Dies ermöglicht zusätzliche Plausi-

bilitätsüberprüfungen der vorliegenden Fahrtverläufe des ÖPNV aus den RBL-Daten sowie der erfassten Geschwindigkeitsprofile des Kraftfahrzeugverkehrs. Ergänzend erfolgten gesonderte videotek-nische Beobachtungen der Verkehrsabläufe an relevanten Knotenpunkten und Haltestellen.

Die räumliche und zeitliche Erfassung von Erschließungsvorgängen in den zwischen Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen gelegenen Streckenabschnitten erfolgte mit Hilfe videoteknischer Beobachtungen. Hierbei wurde nach Möglichkeit der gesamte Abschnitt einbezogen. Neben dem jeweiligen Ort und Zeitpunkt der Erschließungsvorgänge wurde auch deren jeweilige Dauer im Hinblick auf ihr Störungspotenzial für den fließenden Verkehr erfasst. Diese Dauer bezieht sich somit jeweils auf den Zeitraum, während ein (oder auch mehrere) Fahrstreifen „blockiert“ werden, sodass es zu Behinderungen des Verkehrsablaufs kommen kann.<sup>22</sup>

Aufgrund der Relevanz als potenzielle Störeinflüsse sowohl für den MIV als auch für den ÖPNV erfolgte im Einzelnen die Ermittlung von Linksabbiegevorgängen an Knotenpunkten mit dem nachgeordneten Netz und an höher frequentierten Grundstückszufahrten, der Anzahl und Dauer von Einparkvorgängen sowie von Halte- bzw. Liefer-/Ladevorgängen auf der Fahrbahn. Des Weiteren wurden die Anzahl und Dauer der Haltestellenaufenthalte der Stadt-/Straßenbahnen im Hinblick auf Störungen für den Kraftfahrzeugverkehr ermittelt.

### 6.3 Erkenntnisse zum Verkehrsablauf aus den empirischen Untersuchungen

Die untersuchten Hauptverkehrsstraßenzüge sind entsprechend ihrer jeweiligen Verbindungs- und Erschließungsfunktion sowohl im Bezug auf die Kraftfahrzeugverkehrsstärke (tageszeitliche Verteilung und Zusammensetzung) als auch hinsichtlich der auftretenden Störeinflüsse auf den Verkehrsablauf unterschiedlich belastet. In den nachfolgenden Kapiteln 6.3.1 bis 6.3.3 sind die wesentlichen Erkenntnisse zu den Einflüssen auf den Verkehrsablauf aus der Fahrbahnquerschnittsaufteilung und -nutzung, den Erschließungsvorgängen in den Streckenabschnitten sowie der Lichtsignalsteuerung im Straßenzug zusammengefasst. Weitere empirische Ergebnisse sind in Kapitel 8.2.2 und Kapitel 9.5.2 sowie in Anhang 1 dokumentiert.

<sup>21</sup> Die Messfahrten zur Ermittlung der Fahrzeiten/-geschwindigkeiten im Kraftfahrzeugverkehr erfolgten bei den Fallbeispielen Derendorfer Straße (Düsseldorf), Zülpicher Straße (Köln) und Detmolder Straße (Bielefeld) jeweils über deutlich längere Bereiche als die in den Kapiteln 6.1.1 und 6.1.2 beschriebenen Straßenzüge; siehe auch Anhang 1 sowie Teil 2 des Forschungsvorhabens (LANK et al., 2008).

<sup>22</sup> Bezogen auf Parkvorgänge bedeutet dies, dass die „Einparkdauer“ nicht der Gesamtdauer eines Einparkvorgangs einschließlich Rangiermanövern auf dem Parkstand selbst entspricht, sondern ausschließlich der Zeit vom Halt auf dem Fahrstreifen bis zum Verlassen der Fahrbahn; nur diese Stördauer ist für den Verkehrsablauf relevant (vgl. BAIER, 2006).

### 6.3.1 Einfluss der Querschnittsaufteilung und -nutzung

Die Führung im Mischverkehr mit gemeinsamer Fahrstreifennutzung durch den Kraftfahrzeug- und den Stadt-/Straßenbahnverkehr wirkt sich u. a. auf das Geschwindigkeitsniveau im MIV aus. Sowohl die mittlere Geschwindigkeit  $V_M$  als auch die  $V_{85}$  sind hier tendenziell geringer als auf Straßen, die ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahren werden (vgl. hierzu die Ergebnisse von BAIER et al., 2003, und BAIER, 2006).

Dies gilt insbesondere für die beiden zweistreifigen Straßenzüge, in denen auf der Strecke keine und an den Knotenpunkten nur eingeschränkte Überholmöglichkeiten für den Kraftfahrzeugverkehr (zum Überholen der Bahnen) bestehen. Infolge dessen liegen die gefahrenen Geschwindigkeiten z. T. deutlich unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit  $V_{zul}$  von 50 km/h (siehe Beispiel in Bild 19). Aber auch bei den beiden untersuchten vierstreifigen Straßen wirkt sich die Mischnutzung teilweise deutlich auf das Geschwindigkeitsniveau aus (siehe Bild 20).

Auf den ÖPNV wirkt sich die Führung im Mischverkehr ebenfalls aus, durch die Lage der Haltestellen in den Zufahrten lichtsignalgesteuerter Knotenpunkte bzw. die Anordnung von Zeitinseln an Halte-

stellen auf der Strecke (bei den vierstreifigen Straßen) werden die Stadt-/Straßenbahnen aber weitgehend priorisiert. Störungen im Verkehrsablauf resultieren dann überwiegend aus einzelnen Erschließungsvorgängen wie abbiegenden oder einparkenden Kraftfahrzeugen (siehe hierzu auch Kapitel 6.3.2 und Kapitel 8.2.2), nicht aus dem fließenden Verkehr.

### 6.3.2 Einfluss von Erschließungsvorgängen

Erschließungsvorgänge auf der Strecke führen in der Regel zu punktuellen Störungen. Diese sind in den Geschwindigkeitsprofilen des Kraftfahrzeugverkehrs deutlich zu erkennen (vgl. Bild 19 und Bild 20). Auf zweistreifigen Straßen wirken sich diese Störungen auf den MIV meist stärker aus als auf vierstreifigen Straßen, da bei Letzteren häufig die Möglichkeit besteht, abbiegenden, einparkenden oder haltenden Kraftfahrzeugen auszuweichen. Für die Stadt-/Straßenbahnen können einzelne Erschließungsvorgänge dagegen auch auf vierstreifigen Streckenabschnitten aufgrund ihrer Spurbundenheit zu erheblichen Störungen im Fahrtablauf führen.

Der Störeinfluss links abbiegender Fahrzeuge an Knotenpunkten mit Erschließungsstraßen ist in erheblichem Maße von der Stärke des Gegenver-

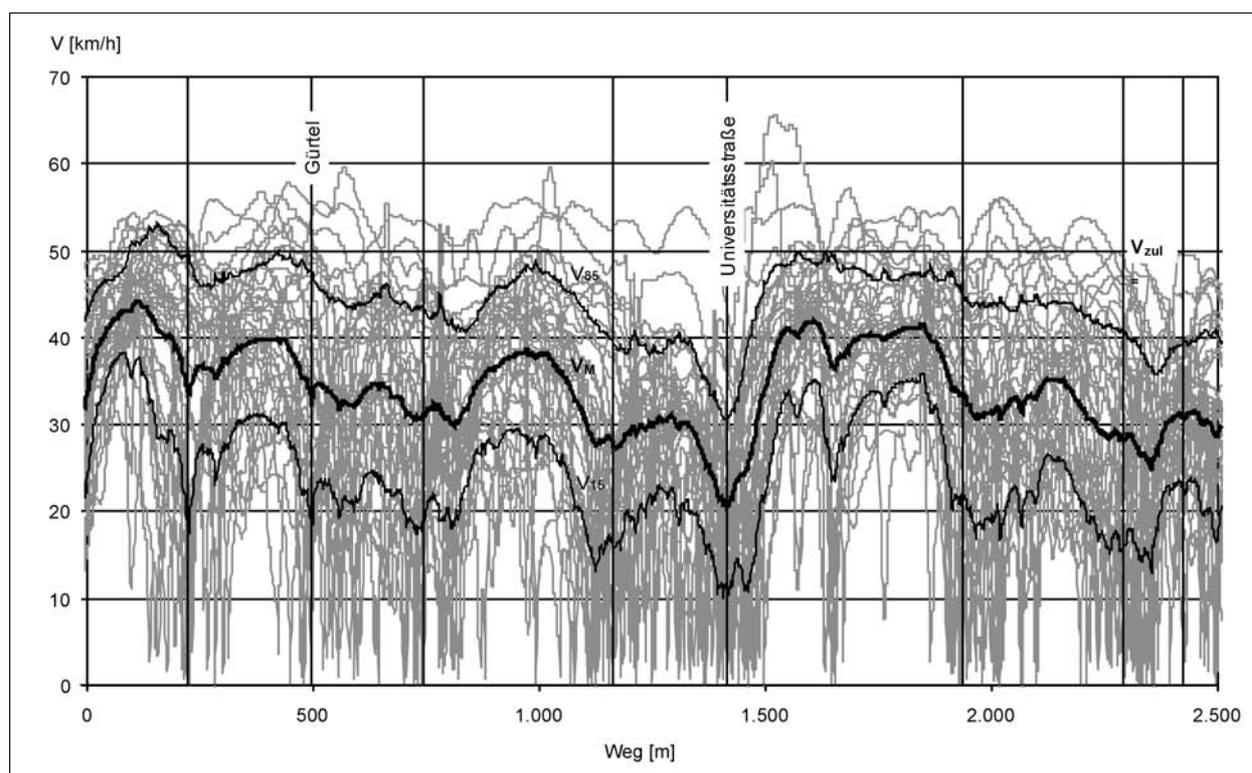
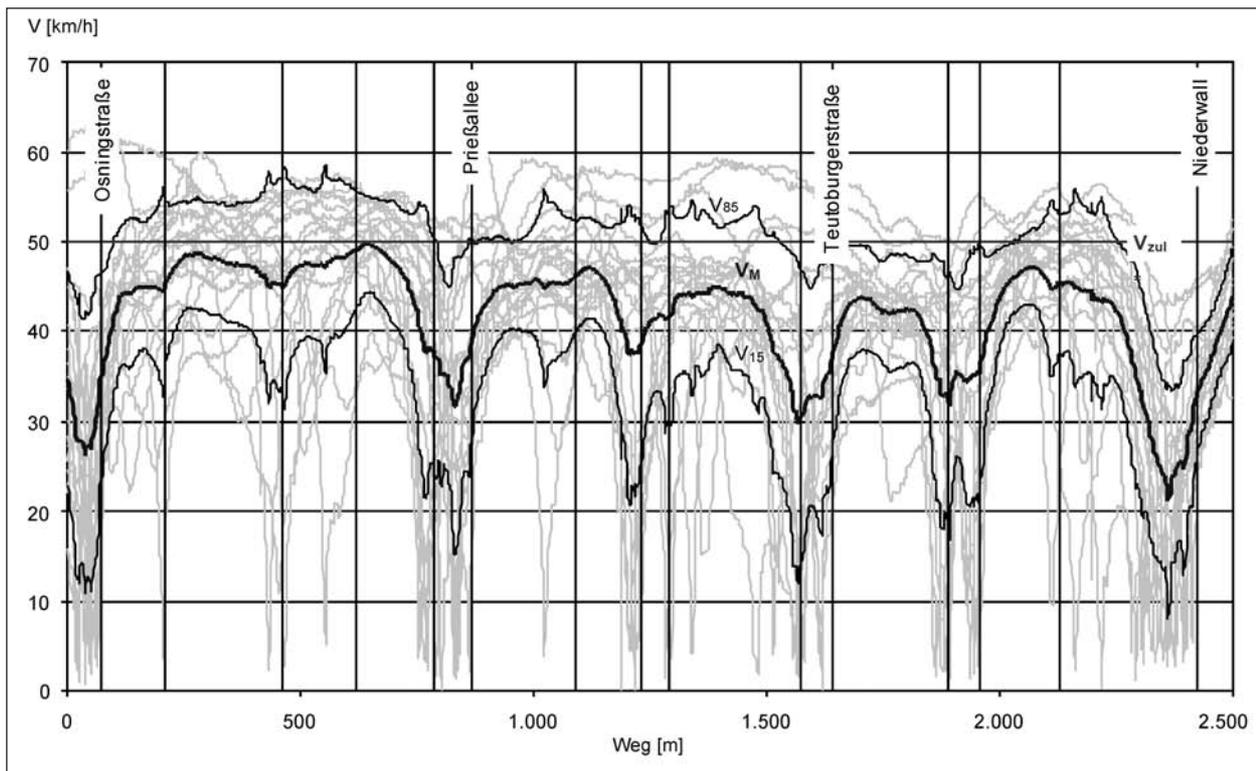


Bild 19: Kfz-Geschwindigkeitsprofil für die Zülpicher Straße (Köln) in Fahrtrichtung stadteinwärts (37 Messfahrten von 7-19 Uhr)



**Bild 20:** Kfz-Geschwindigkeitsprofil für die Detmolder Straße (Bielefeld) in Fahrrichtung stadteinwärts (20 Messfahrten von 7-19 Uhr)

kehrs und dessen Zeitlückenverteilungen abhängig. Letztere wiederum werden maßgeblich von der Lichtsignalsteuerung bestimmt.

Darüber hinaus bestätigen die empirischen Untersuchungen, dass Ausparkvorgänge keinen Einfluss auf den Verkehrsablauf ausüben (vgl. z. B. SCHNÜLL/ALBERS, 1989). Behinderungen durch ausparkende Kraftfahrzeuge entstehen in der Regel nur, wenn andere Verkehrsteilnehmer auf diese warten, um den frei gewordenen Parkstand anschließend selbst zu belegen (vgl. hierzu auch die Ergebnisse von BRÜCKNER/GERLACH, 2000, TEPPER, 2000, und BAIER, 2006). Ein Einfluss des Parksuchverkehrs, d. h. langsam fahrender Fahrzeuge, scheint zwar zu bestehen, ist aber kaum quantifizierbar. Maßgebend sind die eigentlichen Einparkvorgänge selbst (siehe Kapitel 9.5.2).

Teilweise kommt es auch zu Wirkungsüberlagerungen von Störeinflüssen, z. B. wenn Kraftfahrzeuge im Bereich von Knotenpunkten auf der Fahrbahn halten oder wenn sich bedarfsgesteuerte Fußgängerlichtsignalanlagen an oder in unmittelbarer Nähe von Haltestellen befinden. Insofern können die diesbezüglichen Aussagen von u. a. HAUGER (1997) bestätigt werden.

### 6.3.3 Einfluss der Lichtsignalsteuerung

Der Einfluss der Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf über den jeweils betrachteten Straßenzug zeigt sich deutlich in den Geschwindigkeitsprofilen (vgl. Bild 19 und Bild 20). Ebenfalls ist der Einfluss lichtsignalgesteuerter Anschlussknotenpunkte sowie bedarfsgesteuerter Fußgängerlichtsignalanlagen erkennbar. Auch die Güte der jeweiligen Lichtsignalkoordinierung sowie Beeinflussungen durch Priorisierungsmaßnahmen für den ÖPNV (in Knotenpunktzufahrten angelegte Stadt-/ Straßenbahnhaltstellen bzw. Haltestellen mit Zeitinsel) auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf spiegeln sich in den Geschwindigkeitsprofilen wieder.

## 7 Bestimmung der Streckenabschnitte

Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen sind gemäß Kapitel 2.1 definiert als diejenigen Abschnitte außerhalb der Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen Hauptverkehrsstraßen, jedoch einschließlich der Knotenpunkte mit dem Erschließungsstraßennetz. Störeinflüsse in diesem

Zusammenhang sind bei mehrstreifigem Richtungsverkehr z. B. auch Vorsortierungseffekte im Zulauf von stromabwärts gelegenen Folgeknotenpunkten, die schon frühzeitig innerhalb eines Streckenabschnitts auftreten können und die entsprechend auf den Verkehrsablauf, d. h. letztendlich den Geschwindigkeitsverlauf des Kraftfahrzeugverkehrs, auswirken (können); dies betrifft hier die betrachteten vierstreifigen Straßen.

Die Knotenpunkteinflüsse können sich demnach sowohl auf das Verkehrsgeschehen im davorliegenden (stromaufwärtigen) Abschnitt als auch auf den Verkehrsablauf im hinter dem Knotenpunkt liegenden (stromabwärtigen) Streckenabschnitt auswirken. Die von den Folgeknotenpunkten ausgehenden Einflüsse auf den Verkehrsablauf im stromaufwärts liegenden Streckenabschnitt sind zu eliminieren. Dies gilt ebenso für den räumlichen Einfluss, der von dem vor dem Streckenabschnitt liegenden Knotenpunkt zwischen Hauptverkehrsstraßen ausgeht.<sup>23</sup> Der Einflussbereich eines Knotenpunkts ist allgemein abhängig von

- der baulichen Grundform und der Betriebsform des Knotenpunkts,
- den Verkehrsstärken in den stromauf- und -abwärtigen Streckenabschnitten und am Knotenpunkt selbst,
- der Kapazität bzw. Reservekapazität des Knotenpunkts und sich hieraus ergebenden Rückstaulängen,
- der Querschnittsausbildung und Linienführung der Streckenabschnitte,
- den verkehrsrechtlichen Regelungen, insbesondere im Zulauf zum Knotenpunkt (und hier vor allem die zulässige Höchstgeschwindigkeit).

Bei den hier betrachteten Hauptverkehrsstraßen sind besonders der Einfluss der Knotenpunktgestaltung und -steuerung (Anzahl der Fahrstreifen für die einzelnen Verkehrsströme, Phasenanzahl, Umlauf-, Freigabe- und Sperrzeiten) und die sich hieraus ergebende Kapazität, bzw. die in Abhängigkeit der Verkehrsstärken resultierende Reservekapazität, maßgebend (vgl. BAIER, 2006). Die Linien-

führung des Streckenabschnitts ist im innerstädtischen Bereich dagegen weniger relevant. Auch bestehen im Knotenpunktbereich, anders als auf Landstraßen, in der Regel keine niedrigeren zulässigen Höchstgeschwindigkeiten als auf der Strecke.

Bislang liegen keine ausreichenden Erkenntnisse zum Einfluss von Knotenpunkten auf den Verkehrsablauf in davor- und dahinterliegenden Abschnitten vor. Hinweise auf den räumlichen Einflussbereich eines Knotenpunkts geben lediglich die aus verschiedenen Untersuchungen vorliegenden empirischen Fahrtablaufanalysen (beispielsweise von SCHUCKLIEß, 2003, BAIER et al., 2003, und BAIER, 2006).

Im Hinblick auf die Ermittlung der räumlichen Einflussbereiche von stromabwärts gelegenen Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage besteht zwar die Möglichkeit, auf Basis der von WU (1996) entwickelten und im HBS (2001/2005) enthaltenen Verfahren, die Rückstaulängen, die in 95 % bzw. 99 % der Fälle nicht überschritten werden, bei gegebenen (oder prognostizierten) Verkehrsstärken zu berechnen. Diese erlauben jedoch keine weiteren Aussagen zu den Auswirkungen auf den Verkehrsablauf im davorliegenden Streckenabschnitt, wie z. B. die bereits genannten Vorsortierungseffekte mit einhergehenden Geschwindigkeitsabminderungen.

Auch zum Verkehrsablauf hinter einem Knotenpunkt mit Lichtsignalanlage liegen keine ausreichenden Erkenntnisse vor, die eine Bestimmung des Einflussbereichs ermöglichen. HERKT (1994) untersuchte zwar, wie bereits SCHNABEL (1987) und auch andere vor ihm, den Ablauf hinter Lichtsignalanlagen im Hinblick auf die Abstimmung der Knotenpunkte mit den folgenden Streckenabschnitten, Zielsetzung war aber die Festlegung der erforderlichen Länge vor einer Fahrstreifenreduzierung von zwei auf einen Fahrstreifen hinter dem Knotenpunkt. Hiermit kann festgelegt werden, ab welcher Stelle auf dem rechten Fahrstreifen andere Nutzungen, z. B. Liefer-/Ladetätigkeiten, zugelassen werden können, ohne dass hierdurch Störungen am davorliegenden Knotenpunkt auftreten.

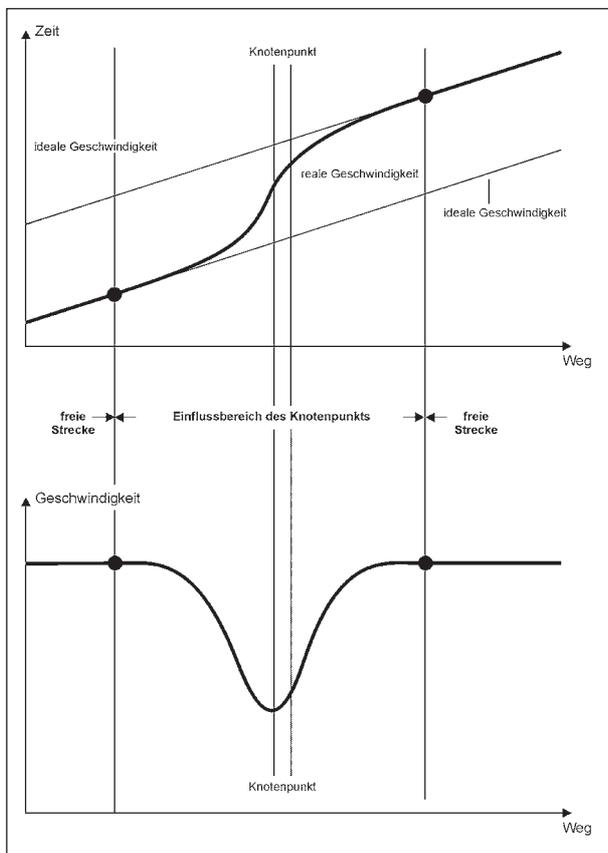
Der Einfluss eines Knotenpunkts auf den Verkehrsablauf ist generell aus dem Fahrtverlauf jedes einzelnen Kraftfahrzeugs ersichtlich. Dies kann am zurückgelegten Weg über die Zeit verdeutlicht werden. Bei jeder Weg-Zeit-Linie (auch Tajektorie genannt) zeichnet sich ein Bereich ab, in dem der Knotenpunkteinfluss sichtbar wird (Bild 21): Bei ste-

<sup>23</sup> Die sich aus den Umlauf-, Freigabe- und Sperrzeiten ( $t_U$ ,  $t_F$  und  $t_S$ ) der Lichtsignalsteuerung ergebende Zeitlückenverteilung der Fahrzeuge im Streckenabschnitt (Pulkung) stellt zwar ebenfalls einen Einfluss auf den Verkehrsablauf im Streckenabschnitt dar, jedoch keinen Störeinfluss.

tiger Annäherung an den Knotenpunkt muss zu einem bestimmten Zeitpunkt die ideale Geschwindigkeit, die vom Verkehrszustand auf der „freien“ Strecke abhängig ist, verlassen werden. Ein ähnlicher Verlauf zeichnet sich hinter dem Knotenpunkt ab, da hier generell Beschleunigungen bis zum Wiedererreichen der idealen Geschwindigkeit zu verzeichnen sind.<sup>24</sup>

Der räumliche Einflussbereich eines Knotenpunkts definiert sich also als der Wegabstand zwischen den beiden Punkten, an denen die reale Weg-Zeit-Linie die ideale Weg-Zeit-Linie verlässt bzw. wieder erreicht. Wie die schematische Darstellung in Bild 21 zeigt, ist der Einflussbereich auch deutlich im Geschwindigkeitsprofil (Verlauf der Geschwindigkeit über den Weg) erkennbar.

Der Knotenpunkteinfluss kann aus Messfahrten für jede einzelne Fahrt bestimmt werden. Um den grundsätzlichen (mittleren) Einflussbereich eines Knotenpunkts zu bestimmen, sind die Fahrtverläufe aller Kraftfahrzeuge zu analysieren. Da deren Erfassung empirisch jedoch nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand möglich ist, werden hier



**Bild 21:** Abgrenzung der freien Strecke vom Einflussbereich des Knotenpunkts nach BAIER (2006) in Anlehnung an SCHUCKLIEß/BAIER/BAUR (2003)

die Fahrtverläufe aus den durchgeführten Messfahrten (vgl. Kapitel 6.2) herangezogen.

## 7.1 Analyse von Geschwindigkeitsprofilen zur Ermittlung der Streckenabschnittslängen

Zur Bestimmung der Knotenpunkteinflüsse – und hieraus der Streckenabschnitte außerhalb dieser Einflussbereiche – werden die empirisch erfassten Geschwindigkeitsprofile analysiert.<sup>25</sup> In Bild 22 ist diese Vorgehensweise exemplarisch verdeutlicht: Anhand des Profils der mittleren Geschwindigkeit werden jeweils die Streckenabschnitte zwischen den Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen abgeleitet. Durch die Auswertung des Profils der mittleren Geschwindigkeit  $V_M$  wird der „mittlere“ Einfluss eines Knotenpunkts auf den Verkehrsablauf berücksichtigt.<sup>26</sup>

Die in Bild 22 vereinfachend als konstant dargestellte „ideale Geschwindigkeit“ zeigt das idealisierte Profil der mittleren Geschwindigkeit, das bei ungestörtem Verkehrsablauf auf „freier Strecke“ zu erwarten wäre. Die gegenüber diesem Verlauf auftretenden Geschwindigkeitseinbrüche innerhalb der ermittelten Streckenabschnitte resultieren aus Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion an z. B. Anschlussknotenpunkten des nachgeordneten Netzes, Bushaltstellen oder bedarfsgesteuerten Fußgängerlichtsignalanlagen.

Die anhand der Geschwindigkeitsprofile des Kraftfahrzeugverkehrs für die untersuchten Straßenzüge ermittelten, fahrtrichtungsbezogenen Streckenabschnittslängen  $L_S$  sind in Bild 23 für zweistreifige, in Bild 24 für vierstreifige Straßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern dargestellt. Hierin sind auch die Längen der räumlichen Einfluss-

<sup>24</sup> Die idealen Geschwindigkeiten vor und hinter dem Knotenpunkt müssen nicht identisch sein, da sich der Verkehrszustand am Knotenpunkt ändern kann (SCHUCKLIEß/BAIER/BAUR, 2003).

<sup>25</sup> Ein anderer Ansatz zur Ermittlung der räumlichen Einflussbereiche von Knotenpunkten auf Basis von Messfahrten ist die Analyse des Verlaufs der Differenzgeschwindigkeit über den Weg (siehe SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER, 2007).

<sup>26</sup> Die Profile der  $V_{85}$  und der  $V_{15}$  repräsentieren diesen mittleren Einfluss dagegen nicht, da diese insbesondere in den Knotenpunktbereichen von den durchfahrenden Kraftfahrzeugen ( $V_{85}$ ) bzw. den am Knotenpunkt haltenden Kraftfahrzeugen ( $V_{15}$ ) geprägt sind (vgl. BAIER, 2006).

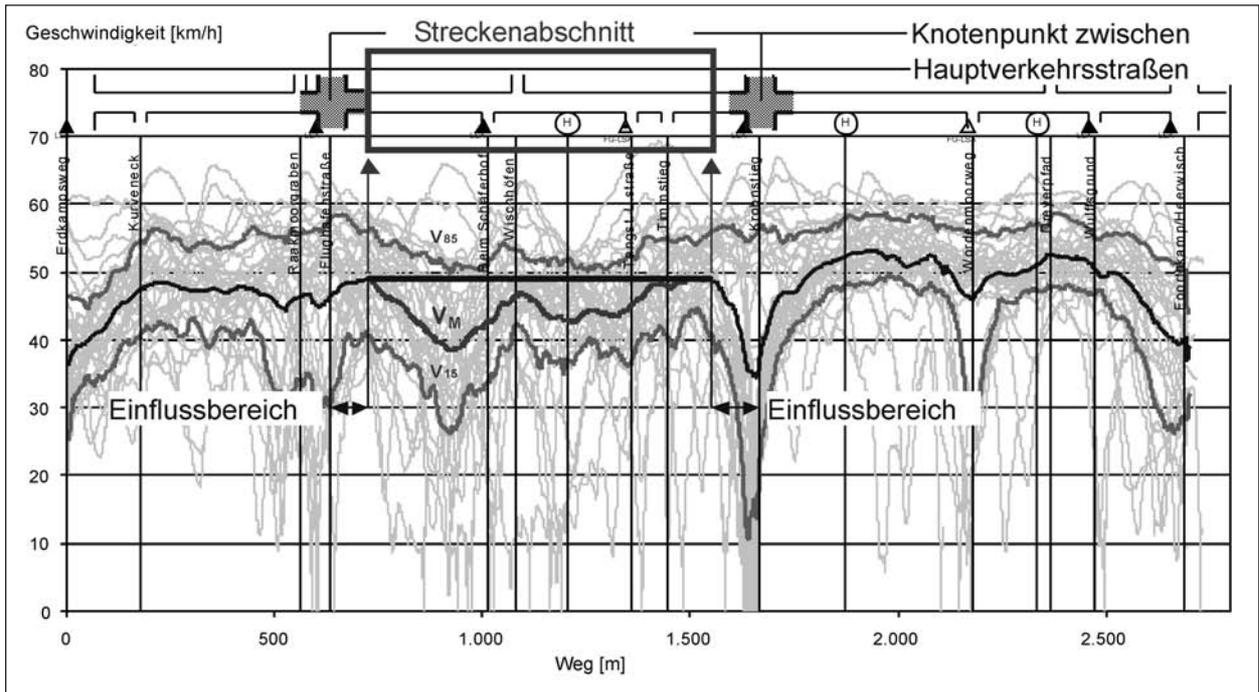


Bild 22: Ermittlung von Streckenabschnitten aus Kfz-Geschwindigkeitsprofilen (BAIER, 2006)

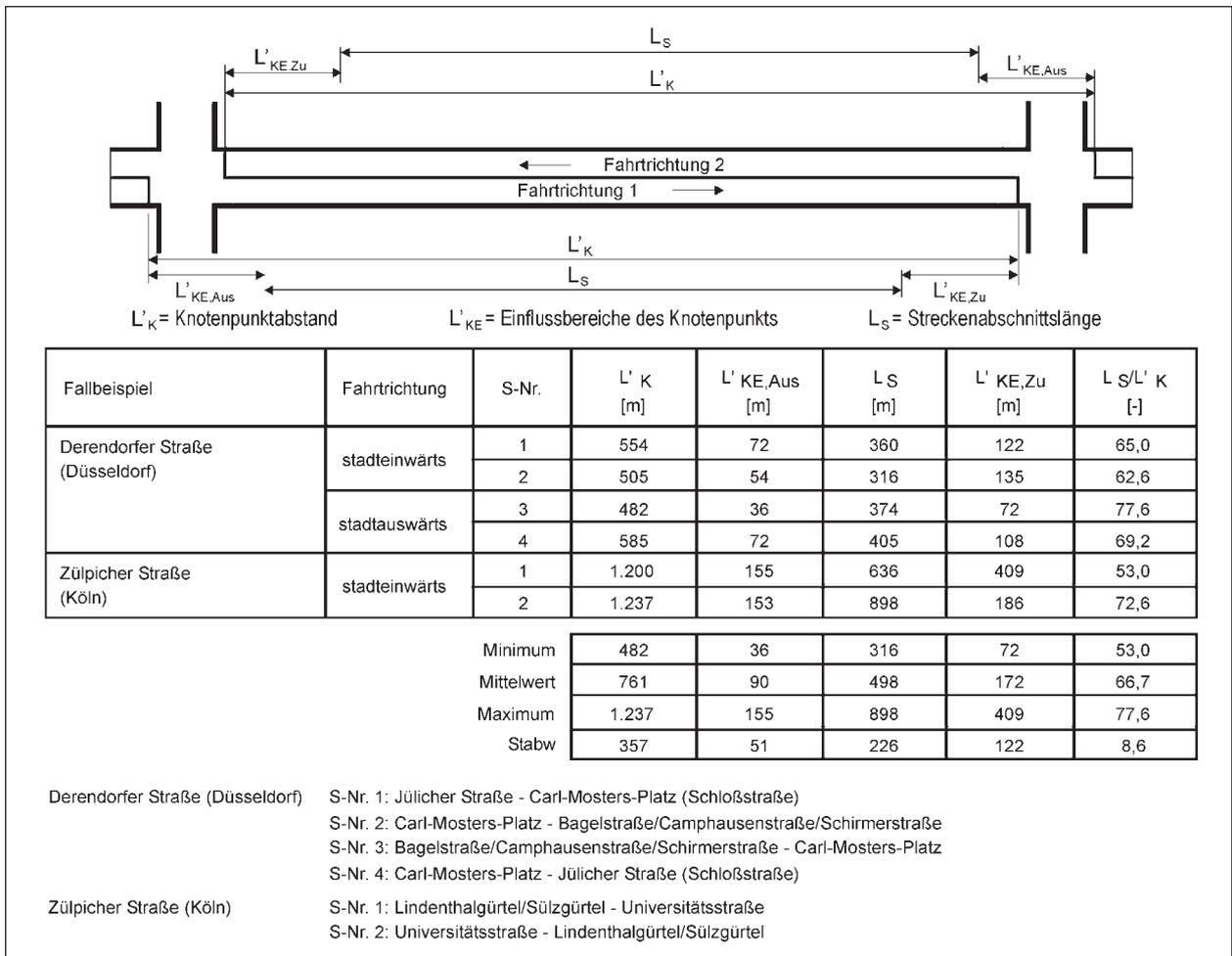
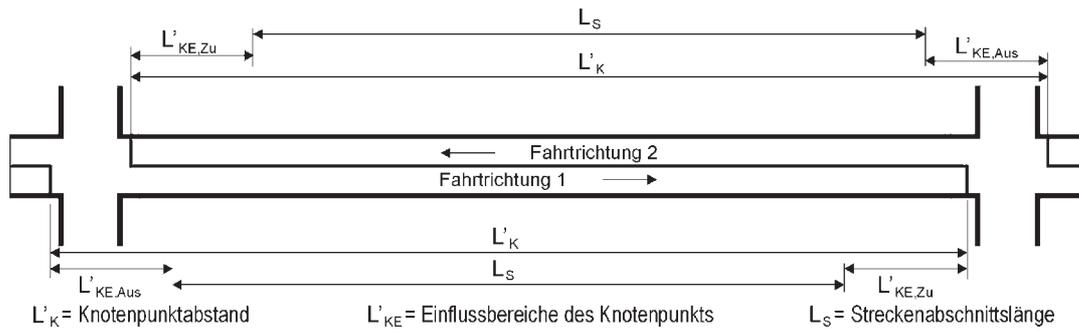


Bild 23: Streckenabschnittslängen und räumliche Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen bei den untersuchten zweistreifigen Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern

bereiche der Knotenpunkte in den Zufahrten  $L'_{KE,Zu}$  und den Ausfahrten  $L'_{KE,Aus}$  angegeben.

Die durch Elimination der relevanten Knoteneinflüsse abgeleiteten Streckenabschnitte sind bei den betrachteten zweistreifigen Straßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern zwischen

etwa 320 m und 900 m lang; die mittlere Abschnittslänge  $L_S$  liegt bei rund 500 m (vgl. Bild 23). Die beiden untersuchten Straßenzüge sind hier aber differenziert zu betrachten: Die Knotenpunktabstände auf der Derendorfer Straße in Düsseldorf, und infolgedessen auch die dazwischenliegenden Streckenabschnitte, sind aufgrund des engmaschi-



Fallbeispiel	Fahrtrichtung	S-Nr.	$L'_K$ [m]	$L'_{KE,Aus}$ [m]	$L_S$ [m]	$L'_{KE,Zu}$ [m]	$L_S/L'_K$ [-]
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	1	781	50	525	206	67,2
		2	700	75	519	106	74,1
		3	819	125	525	169	64,1
	stadtauswärts	4	789	100	470	219	59,6
		5	788	225	438	125	55,6
		6	794	38	537	219	67,6
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	1	500	111	282	107	56,4
		2	631	41	414	176	65,6
		3	406	37	246	123	60,6
		4	551	78	373	100	67,7
	stadtauswärts	5	632	161	191	280	30,2
		6	373	42	212	119	56,8
		7	644	191	389	64	60,4
		8	479	25	293	161	61,2

Minimum	373	25	191	64	30,2
Mittelwert	635	93	387	155	60,5
Maximum	819	225	537	280	74,1
Stabw	153	63	123	60	10,2

- Demolder Straße (Bielefeld)
- S-Nr. 1: Osningsstraße/Otto-Brenner-Straße - Prießallee/Joseph-Haydn-Straße
  - S-Nr. 2: Prießallee - Teutoburger Straße
  - S-Nr. 3: Teutoburger Straße - Niederwall/Spiegelstraße
  - S-Nr. 4: Niederwall/Spiegelstraße - Teutoburger Straße
  - S-Nr. 5: Teutoburger Straße - Prießallee/Joseph-Haydn-Straße
  - S-Nr. 6: Prießallee/Joseph-Haydn-Straße - Osningsstraße/Otto-Brenner-Straße
- Grafenberger Allee (Düsseldorf)
- S-Nr. 1: Staufensplatz - Simrockstraße
  - S-Nr. 2: Simrockstraße - Lichtstraße/Sohnstraße
  - S-Nr. 3: Lichtstraße/Sohnstraße - Cranachstraße
  - S-Nr. 4: Dorotheenstraße/Lindemannstraße - Uhlandstraße/Beethovenstraße
  - S-Nr. 5: Uhlandstraße/Beethovenstraße - Dorotheenstraße/Lindemannstraße
  - S-Nr. 6: Cranachstraße - Lichtstraße/Sohnstraße
  - S-Nr. 7: Lichtstraße/Sohnstraße - Simrockstraße
  - S-Nr. 8: Simrockstraße - Staufensplatz

**Bild 24:** Streckenabschnittslängen und räumliche Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen bei den untersuchten vierstreifigen Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern

gen Hauptverkehrsstraßennetzes in dem betrachteten Bereich deutlich kürzer als der Abschnitt der Zülpicher Straße in Köln.

Bei den untersuchten vierstreifigen Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern liegen die ermittelten Längen der Streckenabschnitte  $L_S$  zwischen rund 190 m und 540 m, bei einer mittleren Länge von etwa 400 m (vgl. Bild 24). Hier sind die beiden untersuchten Straßenzüge ebenfalls differenziert zu betrachten: Auf der Grafenberger Allee in Düsseldorf sind die Knotenpunktabstände und somit auch die dazwischenliegenden Strecken aufgrund der Netzstruktur kürzer als die Knotenpunktabstände und Streckenabschnitte auf der Detmolder Straße in Bielefeld.

Es zeigt sich aber, dass selbst bei verhältnismäßig kurzen Knotenpunktabständen zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen  $L'_K$  von etwa 400 m sich noch „freie“ Strecken mit Längen  $L_S$  von über 200 m herausbilden. Bezogen auf die Knotenpunktabstände liegen die „freien“ Streckenanteile der dazwischenliegenden Abschnitte bei den untersuchten zweistreifigen Straßenzügen im Mittel bei 67 % (vgl. Bild 23), bei den untersuchten vierstreifigen Straßenzügen beträgt die Streckenabschnittslänge im Mittel etwa 60 % der Knotenpunktabstände (vgl. Bild 24).

## 7.2 Ableitung eines Verfahrens zur Bestimmung der Einflussbereiche von Knotenpunkten

Die Bestimmung der Einflussbereiche von Knotenpunkten  $L_{KE}$  – und damit der Streckenabschnitte und deren Längen  $L_S$  – anhand empirisch erfasster Geschwindigkeitsprofile ist sehr aufwändig, zumal die

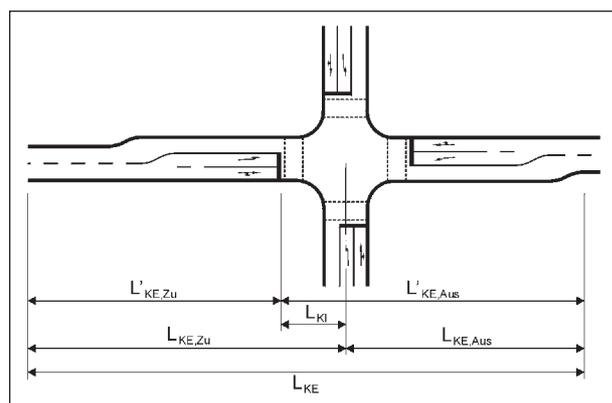


Bild 25: Definition der Einflussbereiche von Knotenpunkten

Erfassung der Geschwindigkeitsprofile jeweils für die maßgebende Bemessungsstunde erfolgen müsste, um die zu dieser Zeit vorherrschenden Verkehrszustände entsprechend zu berücksichtigen. Deshalb ist ein Verfahren erforderlich, mit dem die Längen der Einflussbereiche  $L_{KE}$  anhand der jeweiligen infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen ermittelt werden können, und zwar getrennt für die Zu- und Ausfahrten der Knotenpunkte (Bild 25).

Wie die Analyse der Geschwindigkeitsprofile gezeigt hat (vgl. Kapitel 7.1), sind die Einflussbereiche der Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen unterschiedlich lang. Diese sind im Wesentlichen abhängig von

- dem Abstand der Knotenpunkte,
- der Steuerung der Lichtsignalanlagen an diesen Knotenpunkten und deren Koordinierung sowie
- dem Vorhandensein und der Ausbildung von Stadt-/Straßenbahnhaltestellen in den Knotenpunktzufahrten bzw. -ausfahrten und
- den aus der Verkehrsnachfrage, der Lichtsignalsteuerung und der Knotenpunktgestaltung resultierenden Rückstauungen in den Knotenpunktzufahrten.

Diese infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen gilt es bei der Ableitung eines Verfahrens zur Ermittlung der Einflussbereiche zu berücksichtigen. Dabei sollten möglichst für jeden Knotenpunkt vorliegende bzw. ohne erheblichen Aufwand ermittelbare Eingangsgrößen verwendet werden.

Das entwickelte Verfahren zur Bestimmung der Einflusslänge in der Knotenpunktzufahrt  $L_{KE,Zu}$  basiert auf einem erweiterten Ansatz der Stauraumbemessung für lichtsignalgesteuerte Knotenpunkte nach dem HBS (2001/2005). Mit diesem Ansatz werden zum einen die auftretenden Rückstauungen an den Lichtsignalanlagen, zum anderen die Geschwindigkeitsverzögerungen im Zufluss zum Knotenpunkt, die auch durch Vorsortiereffekte (bei Querschnitten mit zwei Richtungsfahstreifen)<sup>27</sup> beeinflusst werden, berücksichtigt. Die Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt  $L_{KE,Zu}$  wird in Abhängigkeit

<sup>27</sup> Diese Vorsortiereffekte können je nach Ausbildung des Folgeknotenpunkts und den an diesem bestehenden Abbiegebeziehungen durchaus schon auf der Strecke auftreten; diese Einflüsse sind bei der Festlegung von Streckenabschnitten zu eliminieren (vgl. BAIER, 2006).

- der Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen im Querschnitt des betrachteten Streckenabschnitts  $n_{FS,S}$ ,
- der Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen im Querschnitt auf der Strecke der kreuzenden Hauptverkehrsstraße  $n_{FS,S,kr}$  und
- der Umlaufzeit  $t_U$  am Knotenpunkt

bestimmt (Bild 26).<sup>28</sup> Diese Angaben sind in der Regel für jeden Knotenpunkt verfügbar.

Unterscheiden sich die beidseitigen Abschnitte der kreuzenden Hauptverkehrsstraße hinsichtlich der Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen auf der Strecke, ist für  $L_{KE,Zu}$  der nach Bild 26 größere Wert maßgebend. Befindet sich bei Strecken mit straßenbündigem Bahnkörper innerhalb des nach Bild 26 ermittelten Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt  $L_{KE,Zu}$  eine Stadt-/Straßenbahnhaltestelle, ist  $L_{KE,Zu}$  pauschal um 50 m zu verlängern.

Den in Bild 26 dargestellten Zusammenhängen liegen pauschale Annahmen hinsichtlich der Summe der Zwischenzeiten  $t_Z$  – abgeleitet aus den im HBS (2001/2005) angegebenen Orientierungswerten zur Vordimensionierung –, der Verteilung der Gesamtfreigabezeit  $t_F$  sowie der räumlichen Ausdehnung der Knotenpunktinnenbereiche (Abstand von Haltelinie bis Knotenpunktmitte  $L_{KI}$ ) zugrunde. Liegen genauere Angaben vor, kann die Länge des Einflussbereichs mit Gleichung 1 zu

$$L_{KE,Zu} = 6 \cdot \frac{t_F}{t_B} + L_{KE,Zu,b} + L_{KI} \quad \text{Gl. 1}$$

mit

$L_{KE,Zu}$  Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt, bezogen auf die Knotenpunktmitte [m]

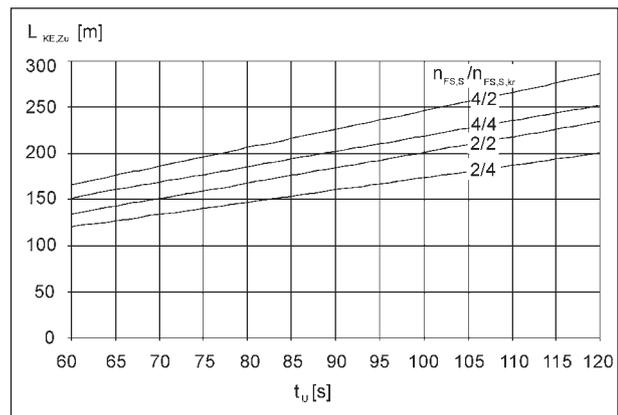
$t_F$  Freigabezeit für den maßgebenden Hauptverkehrsstrom in der betrachteten Zufahrt (in der Regel der Geradeausverkehr) [s]

$t_B$  Zeitbedarfswert [s/Kfz]:  
 $t_B = 1,8 \text{ s/Kfz}$  bei  $t_F > 10 \text{ s}$

$L_{KE,Zu,b}$  Länge des Annäherungsbereichs mit Geschwindigkeitsverzögerung [m]:  
 $L_{KE,Zu,b} = 39 \text{ m}$  bei  $n_{FS,S} = 2$  Fahrstreifen  
 $L_{KE,Zu,b} = 64 \text{ m}$  bei  $n_{FS,S} = 4$  Fahrstreifen

$L_{KI}$  Abstand von Haltelinie bis Knotenpunktmitte [m]

bestimmt werden.



**Bild 26:** Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt  $L_{KE,Zu}$  in Abhängigkeit der Umlaufzeit  $t_U$  und der Fahrstreifenanzahl im betrachteten Streckenabschnitt  $n_{FS,S}$  und auf der Strecke der kreuzenden Straße  $n_{FS,S,kr}$

Die mit Bild 26 bzw. Gleichung 1 ermittelte  $L_{KE,Zu}$  ist anhand der örtlichen Gegebenheiten zu überprüfen. Sollten beispielsweise Knotenpunktaufweitungen oder Abbiegestreifen über die ermittelte Länge hinausgehen, ist die Länge des Einflussbereichs  $L_{KE,Zu}$  entsprechend anzupassen.

Die Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktausfahrt  $L_{KE,Aus}$  wird mit 100 m angesetzt.<sup>29</sup> Ist in der Knotenpunktausfahrt zur Gewährleistung des Abflusses ein zusätzlicher Fahrstreifen vorhanden, der im weiteren Verlauf eingezogen wird, ist als  $L_{KE,Aus}$  die Länge bis zum Ende dieses zusätzlichen Fahrstreifens anzusetzen, mindestens aber 100 m. Befindet sich bei Strecken mit straßenbündigem Bahnkörper in der Knotenpunktausfahrt innerhalb der  $L_{KE,Aus}$  eine Stadt-/Straßenbahnhaltestelle, ist anhand der örtlichen Gegebenheiten zu überprüfen, ob die  $L_{KE,Aus}$  gegebenenfalls entsprechend zu verlängern ist.

Der gewählte Ansatz wurde anhand vorliegender empirischer Werte von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) sowie der hier ermittelten Einflussbereichslängen  $L'_{KE,Zu}$  (vgl. Kapitel 7.1) plausibilisiert (siehe Anhang 2). Das abgeleitete Verfahren ist als geeignet zu bewerten. Inwieweit die hiermit erfolgte Festlegung der Knotenpunkteinflussbereiche ausreicht, auch bei Verkehrszuständen im instabilen Bereich und/oder bei Überlastung z. B. einzelner Knotenpunkte eine differenzierte Bewertung des Verkehrsablaufs an diesen Knotenpunkten und auf den

<sup>28</sup> Die Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt  $L_{KE,Zu}$  bezieht sich auf die Knotenpunktmitte.

<sup>29</sup> Diese Länge bezieht sich ebenfalls auf die Knotenpunktmitte.

angrenzenden Streckenabschnitten vorzunehmen, bleibt zu prüfen. Dies soll u. a. im Teil 2 des Forschungsvorhabens (vgl. LANK et al., 2008) erfolgen.

## 8 Qualitätskriterien und Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs

Zur Beurteilung des Verkehrsablaufs werden im HBS (2001/2005) für die verschiedenen Straßenverkehrsanlagen unterschiedliche Qualitätskriterien angesetzt. Bei der Auswahl des jeweiligen Qualitätskriteriums wurde laut BRILON/WEISER (2004) angestrebt, eine Eigenschaft des Verkehrsablaufs zu wählen, die dem subjektiven Eindruck der Verkehrsteilnehmer für die vorliegende Verkehrsqualität nachempfunden ist. Des Weiteren sind nach BRILON/GROßMANN/BLANKE (1994b) drei Zustände des Verkehrsablaufs von Interesse:

- der Zustand, bei dem der Verkehr noch ausreichend stabil funktioniert,
- der Bereich, in dem der Verkehrsablauf zunehmend gestört und instabil wird, mit der Kapazität als Obergrenze (bei der eine unzureichende Verkehrsqualität vorherrscht), und
- die überlastete Situation (Stau, zähfließender Verkehr, Verkehrszusammenbruch).

Im HBS (2001/2005) wurde das international gebräuchliche Konzept von sechs Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (unterteilt von A bis F) übernommen. Diese entsprechen dem deutschen Schulnotensystem und lassen sich daher anschaulich erläutern.

Des Weiteren ermöglicht diese Einteilung der Verkehrsqualität eine Beurteilung für alle Verkehrssituationen, insbesondere auch bei schwacher Auslastung. Dieser sechsstufige Konzeptansatz sollte deshalb auch für die Bewertung des Verkehrsab-

laufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen zugrunde gelegt werden, insbesondere da hier oftmals nicht allein die Frage der Kapazität, sondern deren Flexibilität unterhalb dieser von Interesse ist.

### 8.1 Qualitätskriterium und -stufen des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs

Für ausschließlich vom Kraftfahrzeugverkehr befahrene Hauptverkehrsstraßen haben BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) die mittlere Dichte  $k$  in  $\text{Pkw-E}/(\text{km} \times \text{Ri})$  als das maßgebende Qualitätskriterium für den Kraftfahrzeugverkehrsablauf auf Streckenabschnitten festgelegt. Die Ableitung des Kriteriums und der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs erfolgte durch situative Bewertungen von Verkehrszuständen, d. h. von „Bildern“ realer Belastungszustände in Hauptverkehrsstraßen; diese Bewertungen wurde mit Fachleuten des Straßen- und Verkehrswesens durchgeführt. Die von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) gewählte methodische Form der situativen Bewertung von Verkehrszuständen gründet dabei auf zwei Hypothesen:

1. Die sich aus den verschiedenen Nutzungsansprüchen ergebenden, über den Tagesverlauf durchaus wechselnden komplexen Verkehrszustände im Straßenraum führen zu konkreten Situationen, die für den Verkehrsablauf auf Hauptverkehrsstraßen typisch sind. Wenn sich diese Verkehrssituationen durch eine Kenngröße beschreiben lassen, dann stellt diese das Qualitätskriterium des Verkehrsablaufs dar.
2. Straßen- und Verkehrsfachleute sind aufgrund ihrer Erfahrung in der Lage, solche komplexen Verkehrssituationen zu bewerten, ohne dass sie im jeweiligen Einzelfall über Kenntnisse zu den spezifischen verkehrstechnischen Kenngrößen verfügen. Dies entspricht dem Wahrnehmungsvorgang von Kraftfahrern.

Hypothese 1 geht davon aus, dass eine Verkehrssituation ein begrenzter Ausschnitt aus dem Verkehrsgeschehen ist, den der Fahrer als solchen erlebt und in seiner zeitlichen und räumlichen Begrenzung erfährt. Die Definition der Situation „aus Fahrersicht“ orientiert sich demnach also einerseits an verkehrstechnischen und baulichen Merkmalen der Situation und stellt andererseits das subjektive Erleben des Verkehrsgeschehens durch den Fahrer in den Mittelpunkt, „als subjektive Bestimmung objektiver Merkmale von Verkehrssituationen“ (FASTENMEIER, 1995).<sup>30</sup> Hypothese 2 zielt darauf ab,

<sup>30</sup> Die Bedeutung eines derartigen situativen Ansatzes in der verkehrspsychologischen als auch in der weiteren verkehrswissenschaftlichen Forschung betonen u. a. auch APPEL et al. (1978; zitiert in FASTENMEIER, 1995). Merkmale zur Definition einer Verkehrssituation haben z. B. ANGENENDT et al. (1987) und LEUTZBACH/PAPAVASILIOU (1988) klassifiziert; bei diesen Untersuchungen stand zwar das Verhalten von Kraftfahrern in Bezug auf Verkehrssicherheitsaspekte im Vordergrund, die Qualität des Verkehrsablaufs wurde nicht untersucht, hier sind aber letztendlich ähnliche Situationen relevant.

auf Grundlage der Verkehrszustandsbewertungen das maßgebende Qualitätskriterium zu ermitteln und die Qualitätsstufeneinteilung vorzunehmen.

### 8.1.1 Überprüfung und Festlegung des Qualitätskriteriums

Ein geeignetes Qualitätskriterium zur Bewertung des Verkehrsablaufs muss quantifizierbar (und mit vertretbarem Aufwand erfass- bzw. messbar), ausreichend empfindlich hinsichtlich Veränderungen im Verkehrsablauf und bedeutsam für den Verkehrsteilnehmer sein (STEIERWALD, 1971).<sup>31</sup> Nach SCHNABEL (1988) ist eine Kenngröße besonders dann zur Qualitätsbeschreibung geeignet, wenn sie die Verkehrsvorgänge, die auf der Verkehrsanlage abgewickelt werden, zutreffend charakterisiert. Für den Ablauf des Kraftfahrzeugverkehrs auf ausschließlich von diesem befahrenen Streckenabschnitten ist dies, wie die Untersuchungen von BAIER et al. (2003) gezeigt und die Ergebnisse von BAIER (2006) eindeutig bestätigt haben, die mittlere Dichte  $k$  in Pkw-E/(km x Ri).

Insofern ist für die hier betrachteten Streckenabschnitte mit Kraftfahrzeugen und Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr zu prüfen, ob die Dichte  $k$  ebenfalls als Bewertungskriterium für den MIV geeignet ist. Ist dies der Fall, ist im Weiteren zu diskutieren, ob für Mischverkehrsstrecken gegebenenfalls eine andere Qualitätsstufeneinteilung erforderlich ist (siehe hierzu das Kapitel 8.1.2). Sollte die Dichte  $k$  hier nicht als Kriterium für die Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs geeignet sein, ist zu prüfen, ob als Bewertungsgrundlage die Kombination mehrerer Qualitätskriterien (z. B. der Dichte mit der Anzahl von Interaktionen zwischen MIV und ÖPNV oder mit der Verlustzeit an Haltestellen im Streckenabschnitt)<sup>32</sup> oder eine andere Kenngröße erforderlich ist.

Grundlage für die Verkehrszustandsbewertungen waren zum einen Zusammenschnitte aus jeweils 24 kurzen Videosequenzen der vier untersuchten Straßen, also insgesamt 96 Sequenzen, die über den gesamten Beobachtungszeitraum aus den vorliegenden Videobändern ausgewählt wurden, und zwar so, dass in jeder einzelnen Sequenz die Durchfahrt einer Stadt-/Straßenbahn erfolgte; die Dauer dieser Videosequenzen beträgt zwischen 5 s und 35 s.

Zum anderen wurden für die Bewertung von Verkehrszuständen hinter haltenden Stadt-/Straßenbahnen (an Haltestellen auf der Fahrbahn) weitere jeweils 24 Videosequenzen der vier untersuchten Straßen (in einem Fall 27 Sequenzen) ausgewählt. Die Dauer dieser Videosequenzen entspricht in allen Fällen der jeweiligen Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,ÖV}$  der Bahn zuzüglich der An- und Abfahrtszeit (Verlustzeiten bei An- und Abfahrt  $t_{H,ÖV,b}$  sowie  $t_{H,ÖV,a}$ ) und beträgt zwischen 25 s und 120 s.

Die Bewertung aller Sequenzen erfolgte anhand speziell vorbereiteter Bewertungsformulare mit Schulnoten (halbe Noten von 1,0 bis 6,0).<sup>33</sup> Die Überprüfung der Dichte  $k$  als maßgebendes Kriterium erfolgte mittels Korrelations- und Regressionsanalysen, indem untersucht wurde, ob zwischen dieser und dem jeweiligen Mittelwert der einzelnen vergebenen Noten ein stochastischer Zusammenhang besteht und ob und wie die festgestellte Abhängigkeit beschreibbar ist. Die bei diesen Verkehrszuständen vorherrschende Dichte  $k$  wurde auf Basis momentaner Erfassungen ermittelt, indem alle 3 s die Anzahl der Kraftfahrzeuge sowie die Stadt-/Straßenbahnfahrzeuge im definierten Bereich (in den Videosequenzen sichtbarer Bereich, der bei der Bewertung vorgegeben und dessen Länge vor Ort gemessen wurde) für die jeweils betrachtete Richtung erfasst wurden. Aus diesen Dichtewerten, deren Anzahl von der Dauer der jeweiligen Sequenz und diese wiederum von der Durchfahrtsdauer der Bahn abhängig ist, wurde dann die mittlere momentane Dichte berechnet, die zwar nur eine Abschätzung der räumlich-zeitlichen Dichte darstellt, dieser unter den hier gegebenen Randbedingungen aber nahezu entspricht, wie BAIER (2006) bereits nachgewiesen hat.

Zur Umrechnung in Pkw-E wurden für die Kraftfahrzeuge die Umrechnungsfaktoren gemäß dem HBS (2001/2005) angesetzt: Pkw = 1,0 Pkw-E, Lkw = 1,5 Pkw-E, Last-/Sattelzug = 2,0 Pkw-E. Für die Stadt-/Straßenbahnfahrzeuge wurden längenab-

<sup>31</sup> Die letzte Bedingung entspricht dabei der Zielsetzung des HBS (2001/2005), nämlich den Verkehrsablauf aus nutzerorientierter Sicht zu bewerten.

<sup>32</sup> Durch die Kombination mehrerer, in der Regel voneinander abhängiger Kenngrößen des Verkehrsablaufs wird die Aussagegüte jedoch nicht zwangsläufig erhöht (vgl. RETZKO et al., 1975, und STEIERWALD/FEIER-FRITZ, 1989).

<sup>33</sup> Die Durchführung der Verkehrszustandsbewertungen erfolgte am 11. Mai 2006 mit insgesamt 13 Probanden (Mitarbeiter des Instituts für Straßenwesen Aachen und der BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen).

Stadt-/Straßenbahntyp	Länge	Pkw-E
GT 8 (Düsseldorf)	26,12 m	2,5
NF 6 (Düsseldorf)	27,50 m	2,5
NF 8 (Düsseldorf)	30,00 m	2,5
NF 10 (Düsseldorf)	39,98 m	3,5
GT 8 + B 4 (Düsseldorf)	40,22 m	3,5
M8C Doppeltraktion (Bielefeld)	53,28 m	4,5
M8D Doppeltraktion (Bielefeld)	53,78 m	4,5
NF 6 Doppeltraktion (Düsseldorf)	55,00 m	4,5
K 4000 Doppeltraktion (Köln)	56,80 m	4,5

Tab. 1: Pkw-Gleichwerte für Stadt-/Straßenbahnfahrzeuge

hängige Werte plausibel abgeschätzt (vgl. Tabelle 1) und zugrunde gelegt.

Zunächst erfolgte eine, für zwei- und vierstreifige Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern differenzierte Auswertung der jeweils  $2 \times 24 = 48$  Verkehrssituationen mit Stadt-/Straßenbahndurchfahrten auf „freier“ Strecke. Es zeigt sich, dass für beide Fahrbahnquerschnitte ein Zusammenhang zwischen den in der Bewertung vergebenen Schulnoten und der Dichte  $k$  vorliegt, der bei den beiden betrachteten vierstreifigen Straßen stärker ausgeprägt ist (siehe Bild 27 und Bild 28). Die Dichte  $k$  eignet sich somit als Beschreibungs- und Bewertungsgröße des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf zwei- und vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Bahnkörpern.

Einer ergänzenden Betrachtung wurde der Verkehrsablauf an Haltestellen unterzogen. Hierzu erfolgte eine Auswertung von insgesamt 99 bewerteten Verkehrssituationen mit Stadt-/Straßenbahnhalten, ebenfalls differenziert für Straßen mit zwei- und vierstreifigem Fahrbahnquerschnitt. Die Überprüfung, ob auch hier die Dichte  $k$  als Kriterium für die Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs herangezogen werden kann, konnte nur für die beiden betrachteten Haltestellen auf den zweistreifigen Streckenabschnitten (Derendorfer Straße in Düsseldorf und Zülpicher Straße in Köln) erfolgen, da auf den vierstreifigen Straßen aufgrund von „Überstauungen“ des in den Videosequenzen sichtbaren Bereichs nicht alle hinter der haltenden Bahn befindlichen Kraftfahrzeuge erfasst werden konnten. Für die Verkehrssituationen an Haltestellen auf zweistreifigen Straßen besteht ein Zusammenhang zwischen den subjektiven Bewertungen und der Dichte  $k$  (siehe Anhang 3). Diese Dichte  $k$  beschreibt letztendlich die räumliche Ausdehnung des

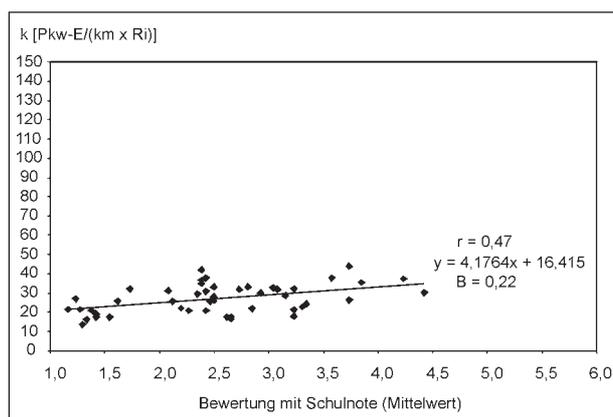


Bild 27: Zusammenhang zwischen Schulnotenbewertung und Dichte  $k$  im Streckenabschnitt bei den betrachteten zweistreifigen Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern

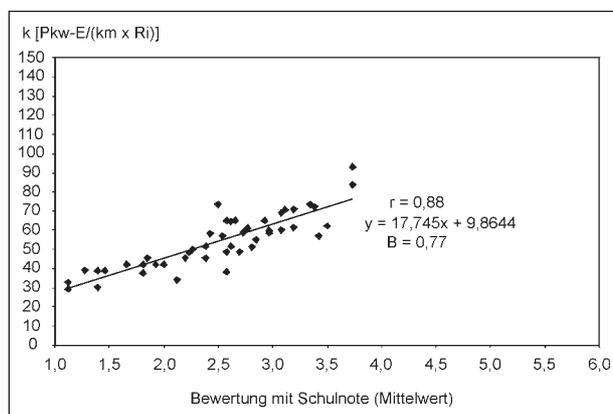


Bild 28: Zusammenhang zwischen Schulnotenbewertung und Dichte  $k$  im Streckenabschnitt bei den betrachteten vierstreifigen Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern

Rückstaus, der durch die, hinter der haltenden Bahn wartenden, Kraftfahrzeuge entsteht. Dieser ist abhängig von der Haltedauer der Stadt-/Straßenbahn  $t_{H,\dot{O}V}$  und der Anzahl der während dieser Zeit eintreffenden Kraftfahrzeuge.

Als Beschreibungs- und Bewertungsgröße des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs an Haltestellen auf vor allem vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Bahnkörpern erscheint jedoch die aus der Haltestellenaufenthaltszeit der Bahn  $t_{H,\dot{O}V}$  resultierende Verlustzeit  $t_{V,H}$  geeigneter, da diese eine differenzierte Bewertung von Haltestellen mit Zeitinseln und solchen, die nach § 20 StVO geregelt sind, ermöglicht. Bei Letzteren können die nachfolgenden Kraftfahrzeuge z. T. bereits während des Haltestellenaufenthalts der Bahn vorbeifahren, bei Zeitinseln in der Regel erst nach Ende der Haltedauer der Bahn (vgl. auch Kapitel 5). Der Zeitverlust der Kraftfahrzeuge ist deshalb in den meisten

Fällen an Haltestellen mit StVO-Regelung bei gleicher Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\dot{O}V}$  gegenüber Haltestellen mit Zeitinseln geringer.<sup>34</sup>

### 8.1.2 Ableitung der Qualitätsstufenstruktur

Die richtungsbezogene Dichte  $k$  in Pkw-E/(km x Ri) ist auch für Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern als maßgebendes Bewertungskriterium für die Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs anzusehen. Die Ableitung der Qualitätsstufenstruktur kann deshalb prinzipiell durch Zuordnung der Schulnotenbewertungen von 1 bis 6 zu den Qualitätsstufen von A bis F erfolgen, die dann – differenziert für zwei- und vierstreifige Fahrbahnquerschnitte – die Ermittlung von Grenzwerten der mittleren Dichte  $k$  zu den einzelnen Stufen ermöglicht. Dabei sind den Obergrenzen der einzelnen Qualitätsstufen die entsprechenden Notengrenzen zuzuordnen (von Qualitätsstufe A  $\leq$  Note 1,5, Qualitätsstufe B  $\leq$  Note 2,5 usw.).

In Anhang 3 sind die auf dieser Basis zugeordneten Grenzwerte für die Qualitätsstufen A bis C angegeben. Die ermittelten Grenzen weichen teilweise von den Grenzwerten für ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahrene Streckenabschnitte ab, die BAIER et al. (2003) bzw. BAIER (2006) abgeleitet haben. Diese Abweichungen sind u. a. darin begründet, dass hier aus der Zielsetzung, die Eignung der Dichte  $k$  als Qualitätskriterium zu überprüfen, ereignisorientierte Verkehrssituationen bewertet wurden (Durchfahrt einer Stadt-/Straßenbahn mit unterschiedlichen Dauern), bei BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) dagegen zeitorientierte Verkehrssituationen (mit einer Dauer von jeweils 30 s), da bei diesen auch die Eignung der Fahrgeschwindigkeit  $V_F$  als Kriterium untersucht wurde.

Darüber hinaus konnten auf Basis der Verkehrszustandsbewertungen keine Grenzen für die Stufen D und E zugeordnet werden, da entsprechende Noten nicht vergeben wurden (vgl. Bild 27 und Bild 28 in Kapitel 8.1.1). Eine besondere Betrachtung erfordert deshalb die Festlegung der Stufe E, wel-

che die Obergrenze des Leistungsvermögens einer Straße bedeutet (vgl. auch BRILON/WEISER, 2004). Dabei treten ständige gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf, deren Bewegungsfreiheit nur in sehr geringem Umfang gegeben ist. Der Verkehr bewegt sich somit im Bereich zwischen Stabilität und Instabilität, die Kapazität wird erreicht. Zur Festlegung der Grenzen der Qualitätsstufe E sind deshalb – wie dies bei BAIER (2006) ebenfalls erfolgt ist – die Simulationsergebnisse derjenigen Belastungsfälle heranzuziehen, bei denen jeweils die Kapazität des Streckenabschnitts erreicht wird (siehe hierzu Kapitel 9.7.4).

Die Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Abschnitten mit Mischverkehr ist bei gleicher Dichte  $k$  grundsätzlich nicht anders einzustufen als auf ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahrenen Streckenabschnitten. Vor diesem Hintergrund sind für Mischverkehrsstrecken mit straßenbündigen Bahnkörpern ebenfalls die bereits definierten, in Tabelle 2 angegebenen Qualitätsstufen zugrunde zu legen. Dies ermöglicht u. a. vergleichende Bewertungen von Entwurfsvarianten mit unterschiedlichen Führungen der Stadt-/Straßenbahn im Fahrbahnquerschnitt (besondere Bahnkörper vs. Mischverkehr).

Die Festlegung der Qualitätsstufen erfolgte jeweils ausgehend von der Dichte  $k$ , die bei Erreichen der Kapazität eines entsprechenden Streckenabschnitts (mittels Simulation) ermittelt und somit als Grenze zwischen den Stufen E und F festgelegt wurde. Zur Abstufung der Grenzwerte unterhalb der Kapazität (Qualitätsstufen A bis D) wurden die Erkenntnisse aus den situativen Verkehrszustandsbewertungen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) zugrunde gelegt.<sup>35</sup>

QSV <sub>S</sub>	$k_S$ [Pkw-E/(km x Ri)]		
	zweistreifige Fahrbahn	zweistreifige Fahrbahn mit überbreiten Fahrstreifen	vierstreifige Fahrbahn
A	$\leq 15$	$\leq 20$	$\leq 20$
B	$\leq 30$	$\leq 45$	$\leq 45$
C	$\leq 50$	$\leq 75$	$\leq 80$
D	$\leq 75$	$\leq 115$	$\leq 130$
E	$\leq 100$	$\leq 160$	$\leq 180$
F	$> 100$	$> 160$	$> 180$

Tab. 2: Qualitätsstufen des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen

<sup>34</sup> HUHNS (2001) stellte bei der Auswertung von rund 260 Haltevorgängen an zwei Haltestellen mit Regelung nach § 20 StVO auf der Kesselsdorfer Straße in Dresden fest, dass für den Kraftfahrzeugverkehr im Mittel nach etwa zwei Dritteln der Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\dot{O}V}$  die Möglichkeit besteht, an der (dann noch haltenden) Bahn vorbeizufahren.

## 8.2 Qualitätskriterium und -stufen des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs

Im ÖPNV wird bislang zum einen die Qualität des Verkehrsablaufs auf einer Strecke – in der Regel zwischen zwei Haltestellen oder über mehrere Haltestellen hinweg (z. B. in Verlauf eines Straßenzugs)<sup>36</sup> – betrachtet, zum anderen die Abwicklung an den Haltestellen selbst. Zur Bewertung der Verkehrsqualität an Haltestellen sind im HBS (2001/2005) bereits entsprechende Grundlagen enthalten, die durch ergänzende Untersuchungen von KÖHLER/EICKENBERG (2007) konkretisiert wurden. Zur streckenbezogenen Bewertung liegt nur ein konkreter Verfahrensvorschlag für auf Sonderfahrstreifen (Busspuren) geführte Linienbusse von BAIER et al. (2001) vor. Auf Mischverkehrsstrecken kann der Ablauf des ÖPNV bislang nur auf Basis von Fahrtzeitmessungen beurteilt werden, d. h. ausschließlich im Bestand.

### 8.2.1 Überprüfung und Festlegung des Qualitätskriteriums

Als Kriterium für die Qualität des Verkehrsablaufs auf einer Strecke zwischen zwei oder mehreren Haltestellen ist im HBS (2001/2005) die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  vorgegeben. Damit wird dem ÖPNV eine Größe zugeordnet, die aus Nutzersicht einen besonderen Qualitätsfaktor darstellt. BAIER et al. (2001) schlagen vor, gegebenenfalls zusätzlich die Standardabweichung  $\sigma_{V,\text{ÖV}}$  – als mögliches Kriterium für die Fahrplansicherheit und damit Zuverlässigkeit des ÖPNV – heranzuziehen. Bei dem von ihnen ausschließlich betrachtete

Verkehrsablauf auf Busspuren traten jedoch (erwartungsgemäß, da durch die Anlage von Sonderfahrstreifen ja gerade eine Beschleunigung und Verstetigung des Busverkehrs erzielt werden sollen) keine maßgeblichen Geschwindigkeitsstreuungen auf. Inwieweit die Standardabweichung  $\sigma_{V,\text{ÖV}}$  als ergänzende Bewertungsgröße für den Ablauf des ÖPNV im Mischverkehr geeignet ist, bleibt zu prüfen (siehe auch Kapitel 9.7.4).

Maßgeblichen Einfluss auf die  $V_{\text{ÖV}}$  haben neben den fahrplanmäßigen Halten (Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\text{ÖV}}$ ) und den dabei entstehenden Zeitverlusten (Verlustzeiten bei der Haltestellenanfahrt und -abfahrt  $t_{H,\text{ÖV},b}$  bzw.  $t_{H,\text{ÖV},a}$ ) eventuelle Wartezeiten an Knotenpunkten sowie im Mischverkehr spezifische Störeinflüsse auf der „freien“ Strecke, die sich u. a. aus dem fließenden und ruhenden Kraftfahrzeugverkehr ergeben können. Letztere treten zufallsverteilt auf und können somit durchaus zu erheblichen Störungen im Fahrtablauf eines Busses oder einer Stadt-/Straßenbahn führen. Ein häufigeres Auftreten solcher Störungen müsste sich dann in entsprechenden Geschwindigkeitsstreuungen widerspiegeln.

Um zu überprüfen, ob und in welchem Maße eventuelle Störungen, z. B. durch Kraftfahrzeuge, die Qualitätsbeurteilung aus Nutzersicht beeinflussen, wurden situative Bewertungen von Stadt-/Straßenbahnfahrten durchgeführt. Grundlagen waren Videomitschnitte von jeweils 12 Fahrten (aufgenommen aus Fahrersicht) auf den vier untersuchten Straßen zwischen drei Haltestellen, die eine Bewertung über einen zusammenhängenden Fahrtverlauf mit „freien“ Strecken, Knotenpunkten und Haltestellen ermöglichten. Die Bewertung erfolgte anhand eines speziell vorbereiteten Formulars mit Schulnoten (halbe Noten von 1,0 bis 6,0).<sup>37</sup>

Es zeigt sich, dass Störereignisse zwar grundsätzlich negativ bewertet werden, da sich solche Störungen im Stadt-/Straßenbahnverkehrsablauf aber unmittelbar auf dessen Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  auswirken, besteht auch ein Zusammenhang zwischen dieser und der Bewertung aus Nutzersicht (siehe Anhang 3). Deshalb ist es folgerichtig, die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  bei einer streckenbezogenen Bewertung des Verkehrsablaufs als maßgebendes Qualitätskriterium für den ÖPNV zugrunde zu legen.

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass bei einer Betrachtung von Strecken zwischen zwei oder mehreren Haltestellen keine Bewertung der

<sup>35</sup> Die Verkehrsqualitätsstufen für (von Pkw) vierstreifig befahrbare Fahrbahnquerschnitte, d. h. zweistreifige Fahrbahnen mit überbreiten Fahrstreifen bzw. überbreite einstreifige Richtungsfahrbahnen sowie vierstreifige Fahrbahnen bzw. zweistreifige Richtungsfahrbahnen, wurden von BAIER (2006) festgelegt. Die angegebenen Grenzwerte der Qualitätsstufen für zweistreifige Fahrbahnen wurden unter Hinzuziehung der zusätzlich gewonnenen Erkenntnisse von BAIER (2006) auf Basis der Ergebnisse von BAIER et al. (2003) abgeleitet.

<sup>36</sup> Diese Strecken zwischen Haltestellen entsprechen nicht den Streckenabschnitten, wie sie beispielsweise im Kraftfahrzeugverkehrsablauf betrachtet werden.

<sup>37</sup> Die Durchführung erfolgte am 15. März 2006 mit insgesamt 10 Probanden (Mitarbeiter der Rheinbahn AG, Düsseldorf, des Instituts für Straßenwesen Aachen und der BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen).

Verkehrsqualität im eigentlichen Sinne – Überprüfung der Funktionalität einer Straßenverkehrsanlage unter gegebenen/prognostizierten Verkehrsbedingungen – erfolgt, sondern die Verbindungsqualität im ÖPNV auf der betrachteten Strecke, z. B. im Verlauf eines Hauptverkehrsstraßenzugs, beurteilt wird.<sup>38</sup> Im Weiteren erfolgen deshalb zunächst differenzierte Betrachtungen, da sowohl die Qualitätsbewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten zwischen Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen (als Einzelanlagen) als auch die verbindungsbezogene Bewertung des ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßenzügen betrachtet werden. In ersterem Fall werden Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (kurz: QSV), in letzterem Fall dementsprechend Verbindungsqualitätsstufen (kurz: VQS) verwendet und angegeben.

Anschließend erfolgt die Ableitung eines Verfahrens zur Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten. Die Bewertung der Verbindungsqualität des ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßenzügen wird dann vertieft im Teil 2 des Forschungsvorhabens behandelt (vgl. LANK et al., 2008).

### 8.2.2 Ableitung der Qualitätsstufenstruktur

Bei der Festlegung von Qualitätsstufen der Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  ist zu berücksichtigen, dass in Stadtgebieten mit verdichteten Nutzungen, z. B. in örtlichen Geschäftsstraßen oder Hauptgeschäftsstraßen, die Erschließungsfunktion des ÖPNV gegenüber der Verbindungsfunktion in der Regel zunimmt. Dies bedingt kürzere Haltestellenabstände und infolgedessen auch eine geringere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  als Zielvorstellung (vgl. SOMMER/PRIEUR, 2002).

Deshalb erscheint eine differenzierte Qualitätsstufeneinteilung z. B. in Abhängigkeit von Haltestellenabständen, wie sie SCHNABEL et al. (1998) vor-

VQS	$V_{\text{ÖV}}$ [km/h]		
	$L_H = 300$ m	$L_H = 500$ m	$L_H = 700$ m
A	$\geq 18$	$\geq 24$	$\geq 30$
B	$\geq 16$	$\geq 21$	$\geq 26$
C	$\geq 14$	$\geq 18$	$\geq 22$
D	$\geq 12$	$\geq 15$	$\geq 18$
E	$\geq 10$	$\geq 12$	$\geq 14$
F	$< 10$	$< 12$	$< 14$

**Tab. 3:** Verbindungsqualitätsstufen für den ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßenzügen bei unterschiedlichen Haltestellenabständen nach SCHNABEL et al. (1998)

schlagen (Tabelle 3), nicht nur sinnvoll, sondern sogar zwangsläufig notwendig.<sup>39</sup> BAIER et al. (2001) schlagen darüber hinaus typspezifische Qualitätsstufen für Sonderfahrstreifen vor.

Die im HBS (2001/2005) zugrunde liegende Qualitätsstufeneinteilung ermöglicht ebenfalls eine Berücksichtigung unterschiedlicher Haltestellenabstände: Die dort angegebenen Grenzwerte (siehe Tabelle 4) basieren nämlich auf einer idealen Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV,ideal}}$ , die bei einem mittleren Haltestellenabstand  $L_H$  von 400 m, einer mittleren Haltezeit  $t_{H,\text{ÖV}}$ , einschließlich der Zeitverluste durch die Verzögerung vor und die Beschleunigung hinter der Haltestelle ( $t_{H,\text{ÖV,b}}$ ,  $t_{H,\text{ÖV,a}}$ ), von insgesamt 30 s und einer ansonsten unbehinderten Fahrt mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit  $V_{\text{zul}}$  von 50 km/h erreicht werden kann. Bei anderen Randbedingungen – z. B. einem kürzeren Haltestellenabstand  $L_H$  – kann die  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  fallspezifisch mit Gleichung 2 zu

$$V_{\text{ÖV,ideal}} = \frac{L_{\text{ÖV}}}{t_{F,\text{ÖV}} + \sum t_{H,\text{ÖV},i} + t_{H,\text{ÖV,b},i} + t_{H,\text{ÖV,a},i}} \cdot 3,6 \text{ [km/h]} \quad \text{Gl. 2}$$

mit

$V_{\text{ÖV,ideal}}$  ideale Beförderungsgeschwindigkeit [km/h]

$L_{\text{ÖV}}$  Länge der betrachteten ÖV-Strecke von Haltestelle bis Haltestelle [m]

$t_{F,\text{ÖV}}$  Fahrtzeit über betrachtete ÖV-Strecke [s]

$t_{H,\text{ÖV},i}$  Haltestellenaufenthaltszeit an der Haltestelle i [s]

$t_{H,\text{ÖV,b},i}$  Verlustzeit bei der Anfahrt an Haltestelle i [s]

$t_{H,\text{ÖV,a},i}$  Verlustzeit bei der Abfahrt von Haltestelle i [s]

<sup>38</sup> Zur Definition von Verkehrs- und Verbindungsqualitäten siehe auch die diesbezüglichen Aussagen von LANK et al. (2008).

<sup>39</sup> SCHNABEL et al. (1998) bezeichnen ihre Stufeneinteilung zwar als Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (kurz: QSV), da sich diese, ebenso wie bei KÖHLER/STAUB/WICHMANN (1998) und im HBS (2001/2005), jedoch auf eine verbindungsbezogene Betrachtung des ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßenzügen beziehen, werden diese hier im Weiteren richtigerweise als Verbindungsqualitätsstufen (kurz: VQS) bezeichnet (vgl. hierzu auch Kapitel 8.2.1).

bestimmt werden.

Liegen keine haltestellenspezifischen Informationen vor, was in der Praxis oftmals der Fall ist, kann die  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  bezogen auf den mittleren Haltestellenabstand  $L_H$  (Gleichung 3)

$$L_H = \frac{L_{\text{ÖV}}}{n_H - 1} [\text{m}] \quad \text{Gl. 3}$$

mit

- $L_H$  mittlerer Haltestellenabstand [m]  
 $L_{\text{ÖV}}$  Länge der betrachteten ÖV-Strecke von Haltestelle bis Haltestelle [m]  
 $n_H$  Anzahl der Haltestellen auf der ÖV-Strecke [-]

allgemein mit Gleichung 4 zu

$$V_{\text{ÖV,ideal}} = \frac{L_H}{t_{F,\text{ÖV}} + (t_{H,\text{ÖV}} + t_{H,\text{ÖV,b}} + t_{H,\text{ÖV,a}})} \cdot 3,6 [\text{km/h}] \quad \text{Gl. 4}$$

mit

- $V_{\text{ÖV,ideal}}$  ideale Beförderungsgeschwindigkeit [km/h]  
 $L_H$  mittlerer Haltestellenabstand [m]  
 $t_{F,\text{ÖV}}$  Fahrtzeit über mittleren Haltestellenabstand [s]  
 $t_{H,\text{ÖV}}$  mittlere Haltestellenaufenthaltszeit [s]  
 $t_{H,\text{ÖV,b}}$  mittlere Verlustzeit bei der Haltestellenanfahrt [s]  
 $t_{H,\text{ÖV,a}}$  mittlere Verlustzeit bei der Haltestellenabfahrt [s]

ermittelt werden, wobei zur Bestimmung der  $t_{F,\text{ÖV}}$  die zulässige Höchstgeschwindigkeit  $V_{\text{zul}}$  zugrunde gelegt wird (Gleichung 5):

$$t_{F,\text{ÖV}} = \frac{L_H}{V_{F,\text{ÖV}}} \cdot 3,6 = \frac{L_H}{V_{\text{zul}}} \cdot 3,6 [\text{s}] \quad \text{Gl. 5}$$

mit

- $t_{F,\text{ÖV}}$  Fahrtzeit über mittleren Haltestellenabstand [s]  
 $L_H$  mittlerer Haltestellenabstand [m]  
 $V_{F,\text{ÖV}}$  Fahrgeschwindigkeit des ÖPNV [km/h]  
 $V_{\text{zul}}$  zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]

Als mittlere Verlustzeit bei der Haltestellenanfahrt  $t_{H,\text{ÖV,b}}$  können sowohl bei Bussen als auch bei

VQS	$V_{\text{ÖV}}$ [km/h]	
A	$\geq 24$ *	$\geq 1,00 V_{\text{ÖV,ideal}}$
B	$\geq 22$	$\geq 0,92 V_{\text{ÖV,ideal}}$
C	$\geq 19$	$\geq 0,79 V_{\text{ÖV,ideal}}$
D	$\geq 15$	$\geq 0,63 V_{\text{ÖV,ideal}}$
E	$\geq 10$	$\geq 0,42 V_{\text{ÖV,ideal}}$
F	$< 10$	$< 0,42 V_{\text{ÖV,ideal}}$

\* gültig für folgende Randbedingungen:  
 $L_H = 400$  m  
 $t_{H,\text{ÖV}} + t_{H,\text{ÖV,b}} + t_{H,\text{ÖV,a}} = 30$  s  
 $V_{F,\text{ÖV}} = V_{\text{zul}} = 50$  km/h  
keine Behinderungen

**Tab. 4:** Verbindungsqualitätsstufen für den ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßen gemäß dem HBS (2001/2005) und zugrunde liegende Abstufung der  $V_{\text{ÖV,ideal}}$

Stadt-/Straßenbahnen 5 s angesetzt werden, für die Verlustzeit bei der Haltestellenabfahrt  $t_{H,\text{ÖV,a}}$  im Mittel jeweils 7 s. Diese Werte basieren auf üblichen Verzögerungswerten (für Betriebsbremsungen) und Beschleunigungswerten von Linienbussen bzw. Stadt-/Straßenbahnfahrzeugen.<sup>40</sup>

Die (für die genannten Randbedingungen) rechnerisch ermittelte  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  ist im HBS (2001/2005) als Untergrenze der Qualitätsstufe A definiert. Hiervon ausgehend sind die in Tabelle 4 angegebenen Grenzen der Qualitätsstufen B bis E bzw. F festgelegt. Diesen ist die ebenfalls in Tabelle 4 angegebene Abstufung der  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  zugrunde gelegt. Diese Einteilung weicht vor allem im Bereich der Qualitätsstufen C bis F deutlich von der Abstufung ab, die KÖHLER/STAUß/WICHMANN (1998) unter Bezugnahme auf BRILON/GROßMANN/BLANKE (1994a) vorschlagen (siehe Tabelle 5). In Tabelle 5 sind zum Vergleich auch die absoluten Grenzwerte der  $V_{\text{ÖV}}$  angegeben, die sich für die genannten Randbedingungen des HBS (2001/2005) ergeben.

In beiden Fällen wird als Untergrenze der Qualitätsstufe A die  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  festgelegt, die gemäß dem HBS (2001/2005) jedoch nur erreicht wird, wenn auf den Strecken zwischen den Haltestellen keine Störungen auftreten und die Busse bzw. Stadt-/Straßenbahnen völlig unbehindert fahren können. Eventuelle Zeitverluste an Knotenpunkten, vor

<sup>40</sup> In der Literatur werden z. T. auch andere Werte angegeben, die aber in einer ähnlichen Größenordnung liegen. So legen beispielsweise RINGEL/SCHNABEL (1999) einen Gesamtzeitverlust für die Haltestellenanfahrt und -abfahrt ( $t_{H,\text{ÖV,b}} + t_{H,\text{ÖV,a}}$ ) von 14 s zugrunde.

VQS	$V_{\dot{O}V}$ [km/h]	
A	$\geq 1,00 V_{\dot{O}V,ideal}$	$\geq 24^*$
B	$\geq 0,90 V_{\dot{O}V,ideal}$	$\geq 22$
C	$\geq 0,67 V_{\dot{O}V,ideal}$	$\geq 16$
D	$\geq 0,45 V_{\dot{O}V,ideal}$	$\geq 11$
E	$< 0,45 V_{\dot{O}V,ideal}$	$< 11$
F	$< 0,20 V_{\dot{O}V,ideall}$	$< 5$

\* gültig für folgende Randbedingungen:  
 $L_H = 400$  m  
 $t_{H,\dot{O}V} + t_{H,\dot{O}V,b} + t_{H,\dot{O}V,a} = 30$  s  
 $V_{F,\dot{O}V} = V_{zul} = 50$  km/h  
keine Behinderungen

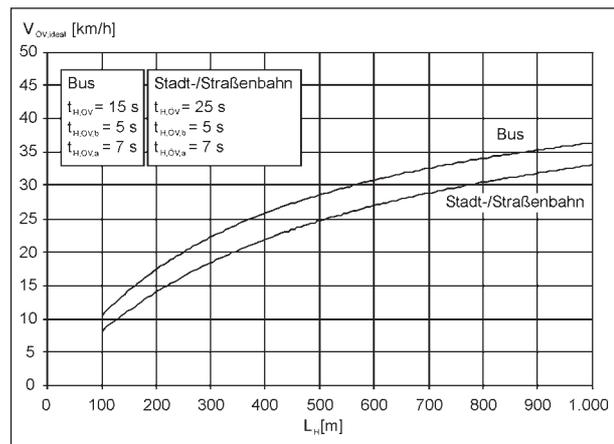
**Tab. 5:** Abstufung der  $V_{\dot{O}V,ideal}$  zur Festlegung von Verbindungsqualitätsstufen für den ÖPNV nach KÖHLER/STRAUß/WICHMANN (1998) und hieraus abgeleitete Grenzwerte der  $V_{\dot{O}V}$

allem solchen mit Lichtsignalanlage, sind nicht berücksichtigt.<sup>41</sup> Die Qualitätsstufe A kann somit nie erreicht werden, selbst auf Sonderfahrstreifen nicht, da hier dann eine absolute Bevorrechtigung an allen lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten erfolgen müsste.

Die bisherige Festlegung des Grenzwerts der Stufe A ist somit zu hoch gegriffen. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, eine praxismgerechte Qualitätsstufeneinteilung abzuleiten. Grundsätzlich erscheinen hier zwei Möglichkeiten denkbar:

1. Als Untergrenze der Qualitätsstufe A wird pauschal ein Anteilswert der  $V_{\dot{O}V,ideal}$  festgelegt, z. B. 0,95 oder 0,90, von dem aus dann die weitere Abstufung erfolgt.
2. Die an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten eventuell auftretenden Zeitverluste werden bei der Ermittlung der  $V_{\dot{O}V,ideal}$  insoweit berücksichtigt, wie sie als noch akzeptabel einzustufen sind; dies ist der Fall, wenn die Zeitverluste an den einzelnen Lichtsignalanlagen so gering sind, dass sie jeweils innerhalb der Verkehrsqualitätsstufe A einzuordnen sind.

Bei der erstgenannten Vorgehensweise wird die  $V_{\dot{O}V,ideal}$  fallspezifisch in Abhängigkeit des mittleren Haltestellenabstands  $L_H$  mit Gleichung 4 oder mit dem in Bild 29 dargestellten Diagramm, dem middle-



**Bild 29:** Ideale Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\dot{O}V,ideal}$  in Abhängigkeit des mittleren Haltestellenabstands  $L_H$

re Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\dot{O}V}$  von 15 s für Linienbusse (vgl. BAIER, 2006) bzw. von 25 s für Stadt-/Straßenbahnen (siehe Kapitel 9.5.2) zugrunde liegen, ermittelt. Eventuelle, als akzeptabel anzusehende Zeitverluste an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten werden bei der Festlegung der Qualitätsstufe A durch Abminderung der  $V_{\dot{O}V,ideal}$  um z. B. 10 % ( $V_{\dot{O}V} \geq 0,90 V_{\dot{O}V,ideal}$ ) berücksichtigt.

Die letztgenannte Vorgehensweise ermöglicht die Festlegung von fallspezifischen Qualitätsstufeneinteilungen unter Berücksichtigung der auf der betrachteten Strecke tatsächlich vorhandenen Lichtsignalanlagen mit potenziellem Einfluss auf den Ablauf des ÖPNV (Lichtsignalanlagen an Zeitinseln, die von Stadt-/Straßenbahnen im Zuge einer dynamischen Straßenraumfreigabe beeinflusst werden, gehören z. B. nicht hierzu). Dieser individuellere Ansatz wird deshalb nachfolgend beispielhaft für Straßenzüge mit Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr erläutert.

Zunächst erfolgt die Ermittlung der  $V_{\dot{O}V,ideal}$  in Abhängigkeit des mittleren Haltestellenabstands  $L_H$  mit Gleichung 4 bzw. dem in Bild 29 dargestellten Diagramm. Anschließend wird der Anpassungsfaktor  $f_{\dot{O}V,LSA}$  zur Berücksichtigung eventueller Zeitverluste an Lichtsignalanlagen bestimmt (Bild 30) und die angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeit  $V'_{\dot{O}V,ideal}$  ermittelt (Gleichung 6):

$$V'_{\dot{O}V,ideal} = f_{\dot{O}V,LSA} \cdot V_{\dot{O}V,ideal} \text{ [km/h]} \tag{Gl. 6}$$

mit

$$V'_{\dot{O}V,ideal} \text{ angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeit [km/h]}$$

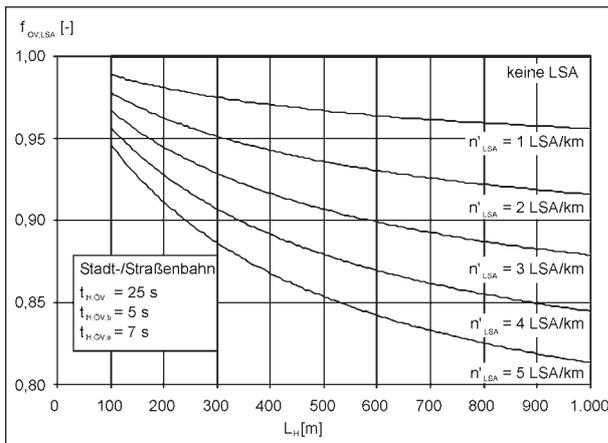
<sup>41</sup> Nach KÖHLER (2002) beinhaltet die  $V_{\dot{O}V,ideal}$  zwar auch sehr geringe Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen, faktisch werden diese bei der Berechnung der  $V_{\dot{O}V,ideal}$  aber nicht berücksichtigt.

$f_{\text{ÖV,LSA}}$  Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen nach Bild 30 [-]

$V_{\text{ÖV,ideal}}$  ideale Beförderungsgeschwindigkeit [km/h]

Der Anpassungsfaktor  $f_{\text{ÖV,LSA}}$  zur Berücksichtigung von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen ist abhängig von der relativen Anzahl der Lichtsignalanlagen  $n'_{\text{LSA}}$  und dem mittleren Haltestellenabstand  $L_H$  (vgl. Bild 30). Dabei ist zugrunde gelegt, dass an jeder Lichtsignalanlage eine Warte- bzw. Verlustzeit  $t_{W,\text{ÖV}}$  von bis zu 5 s – diese entspricht dem Grenzwert der Qualitätsstufe A für den ÖPNV an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten gemäß dem HBS (2001/2005) – noch akzeptabel ist.<sup>42</sup> Die  $V'_{\text{ÖV,ideal}}$  beinhaltet diesen Zeitverlust, wobei nur die Lichtsignalanlagen auf der betrachteten Strecke einbezogen werden, die einen potenziellen Einfluss auf den ÖPNV haben (Gleichung 7):

$$n'_{\text{LSA}} = \frac{n_{\text{LSA}}}{L_{\text{ÖV}}} \cdot 1.000 \text{ [LSA/km]} \quad \text{Gl. 7}$$



**Bild 30:** Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen  $f_{\text{ÖV,LSA}}$  in Abhängigkeit der relativen Anzahl der Lichtsignalanlagen  $n'_{\text{LSA}}$  und des mittleren Haltestellenabstands  $L_H$

mit

$n'_{\text{LSA}}$  relative Anzahl von Lichtsignalanlagen bezogen auf die betrachtete ÖV-Strecke [LSA/km]

$n_{\text{LSA}}$  Anzahl der Lichtsignalanlagen mit potenziellem Einfluss auf den ÖPNV auf der ÖV-Strecke [-]

$L_{\text{ÖV}}$  Länge der betrachteten ÖV-Strecke von Haltestelle bis Haltestelle [m]

In Tabelle 6 sind für die untersuchten Fallbeispiele die auf diesem Wege fahrtrichtungsgetrennt ermittelten  $V'_{\text{ÖV,ideal}}$  dar- und den empirisch erfassten maximalen Beförderungsgeschwindigkeiten  $V_{\text{ÖV,max}}$  gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass für die beiden vierstreifigen Straßenzüge eine hohe Übereinstimmung besteht. Bei den zweistreifigen Straßenzügen, insbesondere der Zülpicher Straße in Köln, wird die  $V'_{\text{ÖV,ideal}}$  bei den zugrunde liegenden Messfahrten nicht erreicht, was sich im Wesentlichen darin begründet, dass hier eine viel höhere Störungshäufigkeit auf der „freien“ Strecke besteht bzw. die Fahrgeschwindigkeit  $V_{F,\text{ÖV}}$  unterhalb der  $V_{\text{Zul}}$  von 50 km/h liegt (u. a. wegen des hohen Radverkehrsaufkommens; vgl. Kapitel 6.1.1).

Insgesamt ist festzuhalten, dass der Ansatz, die an Lichtsignalanlagen auftretenden Zeitverluste für den ÖPNV einzubeziehen, sinnvoll ist: Die  $V'_{\text{ÖV,ideal}}$  liegt bei den untersuchten Fallbeispielen um 6 % bis 13 % unterhalb der  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  (vgl. Tabelle 6). Vor

<sup>42</sup> Im HBS (2001/2005) wird die Wartezeit, die an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (nahezu) der Verlustzeit  $t_V$  entspricht, allgemein mit  $w$  bezeichnet; hier wird dafür im Hinblick auf eine Begriffsvereinheitlichung die Bezeichnung  $t_{W,\text{ÖV}}$  verwendet (siehe hierzu auch LANK et al., 2008).

Fallbeispiel	Fahrtrichtung	$L_{\text{ÖV}}$ [m]	nH [-]	$L_H$ [m]	$V_{\text{ÖV,ideal}}$ [km/h]	$n'_{\text{LSA}}$ [LSA/km]	$f_{\text{ÖV,LSA}}$ [-]	$V'_{\text{ÖV,ideal}}$ [km/h]	$V_{\text{ÖV,max}}$ [km/h]
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	2.194	8	313	18,9	3,2	0,92	17,5	17,4
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	2.118	8	303	18,5	3,3	0,92	17,1	14,5
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	2.498	7	416	22,4	2,0	0,94	21,1	18,2
Zülpicher Straße (Köln)	stadtauswärts	2.623	7	437	23,0	1,9	0,94	21,7	18,3
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	2.551	6	510	24,9	3,1	0,90	22,5	22,1
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	2.519	6	504	24,8	3,2	0,90	22,3	23,6
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	2.489	6	498	24,6	4,4	0,87	21,4	21,6
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	2.510	6	502	24,7	4,0	0,88	21,7	21,1

**Tab. 6:** Angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeiten  $V'_{\text{ÖV,ideal}}$  und maximale Beförderungsgeschwindigkeiten  $V_{\text{ÖV,max}}$

diesem Hintergrund werden die in Tabelle 7 angegebenen Qualitätsstufeneinteilungen vorgeschlagen, zum einen für eine pauschale Abminderung der  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  zur Festlegung der Qualitätsstufe A, zum anderen auf Basis einer individuell angepassten Beförderungsgeschwindigkeit  $V'_{\text{ÖV,ideal}}$ .<sup>43</sup>

VQS	$V_{\text{ÖV}}$ [km/h]	
	Basis: $V_{\text{ÖV,ideal}}$	Basis: $V'_{\text{ÖV,ideal}}$
A	$\geq 0,90 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 1,00 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
B	$\geq 0,83 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,92 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
C	$\geq 0,71 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,79 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
D	$\geq 0,57 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,63 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
E	$\geq 0,38 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,42 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
F	$< 0,38 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$< 0,42 V'_{\text{ÖV,ideal}}$

Tab. 7: Verbindungsqualitätsstufen für den ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßenzügen entsprechend der bisherigen Abstufung gemäß dem HBS (2001/2005)

VQS	$V_{\text{ÖV}}$ [km/h]	
	Basis: $V_{\text{ÖV,ideal}}$	Basis: $V'_{\text{ÖV,ideal}}$
A	$\geq 0,90 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 1,00 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
B	$\geq 0,85 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,95 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
C	$\geq 0,80 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,90 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
D	$\geq 0,70 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,75 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
E	$\geq 0,55 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$\geq 0,60 V'_{\text{ÖV,ideal}}$
F	$< 0,55 V_{\text{ÖV,ideal}}$	$< 0,60 V'_{\text{ÖV,ideal}}$

Tab. 8: Verbindungsqualitätsstufen für den ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßen mit alternativer Abstufung

Die Qualitätsstufeneinteilungen in Tabelle 7 entsprechen der bisherigen Abstufung der  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  des HBS (2001/2005; vgl. Tabelle 4). Alternativ sind Abstufungen unterhalb der Qualitätsstufe A denkbar, die sich jeweils an der im HBS (2001/2005) angegebenen Abstufung für die Fahrgeschwindigkeit auf Autobahnen orientieren (Tabelle 8).

In beiden Fällen ist bei pauschaler Abminderung der  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  zur Festlegung der Stufe A eine Reduzierung der  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  um 10 % ( $V_{\text{ÖV}} \geq 0,90 V_{\text{ÖV,ideal}}$ ) zugrunde gelegt. Dieser Wert ist aus den für die untersuchten Fallbeispiele ermittelten Anpassungsfaktoren  $f_{\text{ÖV,LSA}}$  (vgl. Tabelle 6) abgeleitet.

In Tabelle 9 sind für die untersuchten Straßenzüge die empirisch ermittelten mittleren Beförderungsgeschwindigkeiten  $V_{\text{ÖV}}$  sowie die Verbindungsqualitätsstufen angegeben, die sich aus den Qualitätsstufeneinteilungen nach Tabelle 7 und 8 ergeben. Hierbei wurden fahrtrichtungsgetrennte Qualitätsstufeneinteilungen zugrunde gelegt, die jedoch jeweils nur marginale Abweichungen aufweisen, da die  $V_{\text{ÖV,ideal}}$  und die  $V'_{\text{ÖV,ideal}}$  bei den betrachteten Straßenzügen in beiden Fahrrichtungen nahezu identisch sind. Dies ist auf die jeweils ähnlichen Randbedingungen (vgl. Tabelle 6) zurückzuführen.

Aus der bisherigen verbindungsbezogenen Betrachtung des ÖPNV gilt es, die entsprechenden

<sup>43</sup> Da sich die bisherigen Betrachtungen auf den Ablauf des ÖPNV auf Hauptverkehrsstraßenzügen beziehen, und somit auf die Verbindungsqualität (vgl. Kapitel 8.2.1), sind in Tabelle 7 dementsprechend Verbindungsqualitätsstufen (kurz: VQS) angegeben.

Fallbeispiel	Fahrrichtung	Fahrten [-]	$V_{\text{ÖV}}$ [km/h]	$V_{\text{ÖV,ideal}}$ [km/h]	$V'_{\text{ÖV,ideal}}$ [km/h]	VQS nach Tabelle 7		VQS nach Tabelle 8	
						Basis: $V_{\text{ÖV,ideal}}$	Basis: $V'_{\text{ÖV,ideal}}$	Basis: $V_{\text{ÖV,ideal}}$	Basis: $V'_{\text{ÖV,ideal}}$
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	11	15,4	18,9	17,5	C	C	C	C
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	12	12,9	18,5	17,1	D	D	D	E
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	52 *	14,8	22,4	21,1	D	D	E	E
Zülpicher Straße (Köln)	stadtauswärts	61 *	15,3	23,0	21,7	D	D	E	E
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	27	19,0	24,9	22,5	C	C	D	D
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	27	21,4	24,8	22,3	B	B	B	B
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	21	18,4	24,6	21,4	C	C	D	D
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	20	18,6	24,7	21,7	C	C	D	D

\* RBL-Daten der Kölner Verkehrsbetriebe AG

Tab. 9: Mittlere Beförderungsgeschwindigkeiten  $V_{\text{ÖV}}$  und sich hieraus ergebende Einstufung der Verbindungsqualität

Rückschlüsse für ein Bewertungsverfahren für Streckenabschnitte außerhalb des Einflussbereichs von Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen abzuleiten. Eine vertiefende Behandlung der Verbindungsqualitäten von Straßenzügen erfolgt im Teil 2 des Forschungsvorhabens (siehe LANK et al., 2008).

Die einzelanlagenbezogene Bewertung des Verkehrsablaufs dient zur Überprüfung der Funktionalität einer Straßenverkehrsanlage unter gegebenen bzw. prognostizierten Verkehrsbedingungen. Für den ÖPNV sind hierbei wie im Kraftfahrzeugverkehr die Knotenpunkte und die dazwischenliegenden Streckenabschnitte gesondert zu betrachten. Unabhängig davon ist im ÖPNV aber immer auch die verbindungsbezogene Betrachtung von Interesse.

Qualitätskriterium des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt, in dem sich definitionsgemäß auch Knotenpunkte mit dem nachgeordneten Erschließungsstraßennetz befinden (Anschlussknotenpunkte; vgl. Kapitel 2.1), ist ebenfalls die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$ , die hier jedoch nicht auf die Strecke zwischen Haltestellen, sondern auf die Länge des jeweiligen Streckenabschnitts zu beziehen ist.

Zur Einteilung der Qualitätsstufen ist zunächst die Untergrenze der Stufe A festzulegen. Hierzu wird mit Gleichung 8

$$V_{\text{ÖV,ideal,S}} = \frac{L_S}{t_{\text{F,ÖV,S}} + n_{\text{H,S}} \cdot (t_{\text{H,ÖV}} + t_{\text{H,ÖV,b}} + t_{\text{H,ÖV,a}})} \cdot 3,6 \text{ [km/h]} \quad \text{Gl. 8}$$

mit

$V_{\text{ÖV,ideal,S}}$  ideale Beförderungsgeschwindigkeit auf betrachtetem Streckenabschnitt [km/h]

$L_S$  Länge des Streckenabschnitts [m]

$t_{\text{F,ÖV,S}}$  Fahrtzeit auf Streckenabschnitt mit  $V_{\text{Zul}}$  [s]

$n_{\text{H,S}}$  Anzahl der Haltestellen im Streckenabschnitt [-]

$t_{\text{H,ÖV}}$  mittlere Haltestellenaufenthaltszeit [s]

$t_{\text{H,ÖV,b}}$  mittlere Verlustzeit bei der Haltestellenaufahrt [s]:  $t_{\text{H,ÖV,b}} = 5 \text{ s}$  bei Bussen und Stadt-/Straßenbahnen

$t_{\text{H,ÖV,a}}$  mittlere Verlustzeit bei der Haltestellenabfahrt [s]:  $t_{\text{H,ÖV,a}} = 7 \text{ s}$  bei Bussen und Stadt-/Straßenbahnen

bzw. dem Diagramm in Bild 31 (gilt für Stadt-/Straßenbahnen bei einer mittleren Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{\text{H,ÖV}}$  von 25 s) die auf dem Streckenabschnitt erreichbare ideale Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV,ideal,S}}$  bestimmt.

Befinden sich auf dem betrachteten Abschnitt Lichtsignalanlagen mit potenziellem Einfluss auf den Ablauf des ÖPNV, ist mit den Diagrammen in Bild 32 der Anpassungsfaktor  $f_{\text{ÖV,LSA,S}}$  zu ermitteln. Anschließend wird die für den betrachteten Streckenabschnitt angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeit  $V'_{\text{ÖV,ideal,S}}$  ermittelt (Gleichung 9)

$$V'_{\text{ÖV,ideal,S}} = f_{\text{ÖV,LSA,S}} \cdot V_{\text{ÖV,ideal,S}} \text{ [km/h]} \quad \text{Gl. 9}$$

mit

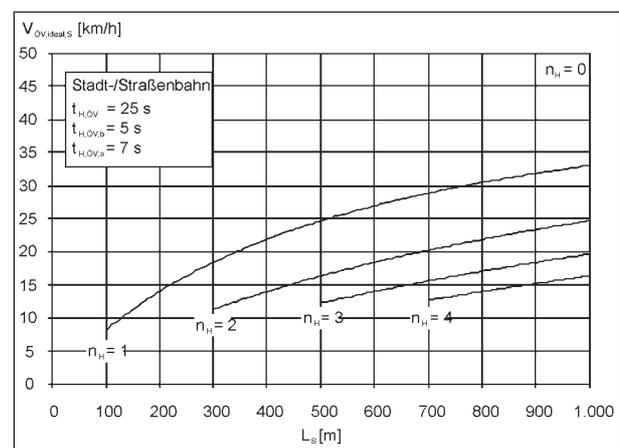
$V'_{\text{ÖV,ideal,S}}$  angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt [km/h]

$f_{\text{ÖV,LSA,S}}$  Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen nach Bild 32 [-]

$V_{\text{ÖV,ideal,S}}$  ideale Beförderungsgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt [km/h]

und mit dieser die Untergrenze der Stufe A festgelegt.

Die Qualitätsstufeneinteilung sollte möglichst auf Basis der  $V_{\text{ÖV,ideal,S}}$  erfolgen, da sich auf der Strecke befindliche Lichtsignalanlagen maßgeblich



**Bild 31:** Ideale Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV,ideal,S}}$  in Abhängigkeit der Haltestellenanzahl  $n_H$  und der Streckenabschnittslänge  $L_S$

auf die erreichbare Beförderungsgeschwindigkeit  $V'_{\text{ÖV,ideal,S}}$  auswirken können (Bild 32). Grundsätzlich ist aber auch eine Qualitätsstufeneinteilung über die pauschale Abminderung der  $V_{\text{ÖV,ideal,S}}$  denkbar. In Tabelle 10 sind dennoch nur die auf Basis der  $V'_{\text{ÖV,ideal,S}}$  abgeleiteten Qualitätsstufen angegeben, deren Abstufung der bisherigen Stufeneinteilung des HBS (2001/2005) entspricht.<sup>44</sup>

Da die grundsätzliche Philosophie zur Festlegung von Qualitätsstufen für den ÖPNV im Zusammenhang mit der vorgesehenen HBS-Fortschreibung noch zu diskutieren ist, wird vorgeschlagen, an Stelle der absoluten Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV,S}}$  einen relativen Geschwindigkeitsindex  $I_{\text{ÖV}}$  zugrunde zu legen, der sich nach Gleichung 10 zu

$$I_{\text{ÖV}} = \frac{V_{\text{ÖV,S}}}{V'_{\text{ÖV,ideal,S}}} \quad \text{Gl. 10}$$

<sup>44</sup> Da hier die Betrachtung von Streckenabschnitten als Einzelanlagen erfolgt, werden die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs mit  $QSV_S$  bezeichnet. Analog hierzu werden Qualitätsstufen für Knotenpunkte mit  $QSV_K$  bezeichnet.

mit

$I_{\text{ÖV}}$  Beförderungsgeschwindigkeitsindex [-]

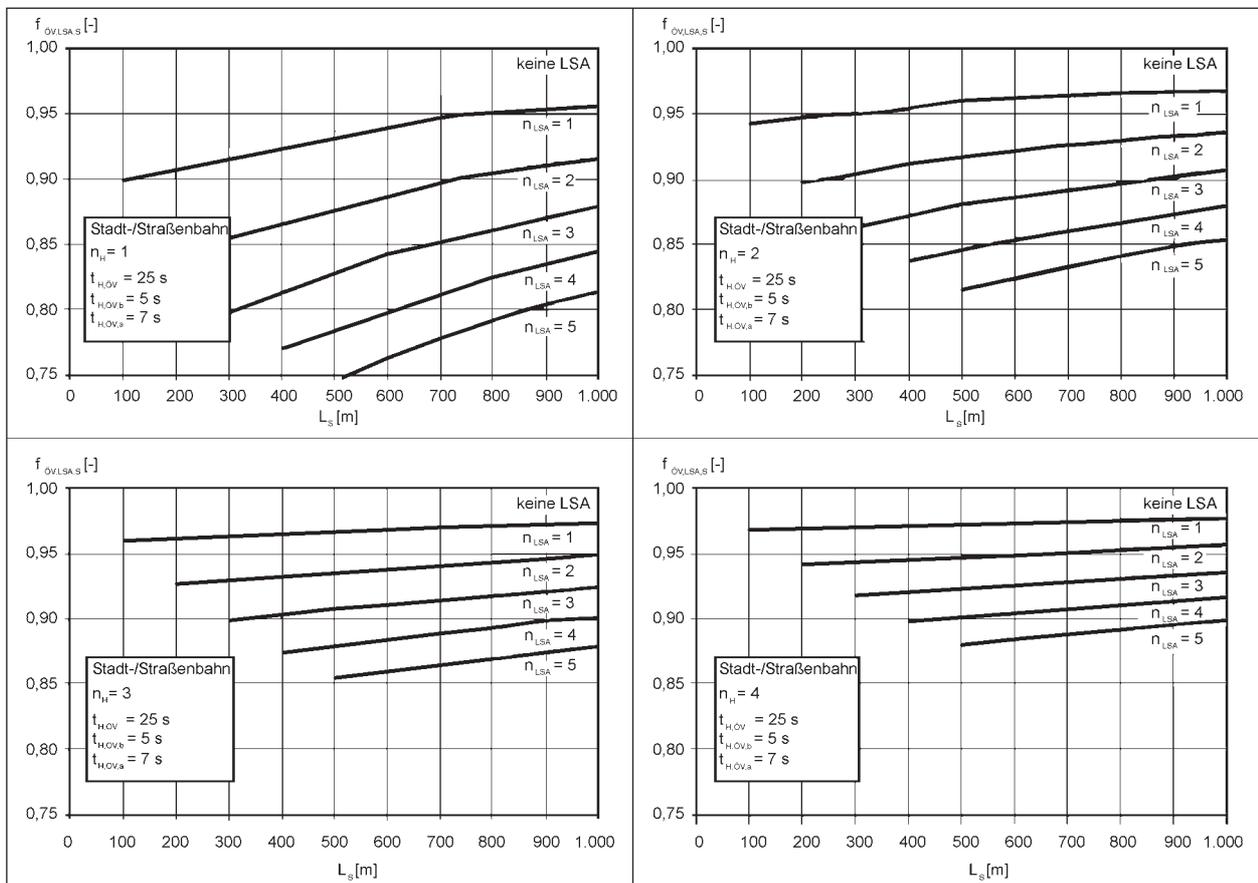
$V_{\text{ÖV,S}}$  mittlere Beförderungsgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt [km/h]

$V'_{\text{ÖV,ideal,S}}$  angepasste ideale Beförderungsgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt [km/h]

ergibt. Zur Einteilung der Qualitätsstufen werden die ebenfalls in Tabelle 10 angegebenen Grenzwerte

QSV <sub>S</sub>	V <sub>ÖV</sub> [km/h] (Basis: V' <sub>ÖV,ideal,S</sub> )	I <sub>ÖV</sub> [-]
A	≥ 1,00 V' <sub>ÖV,ideal,S</sub>	≥ 0,95
B	≥ 0,92 V' <sub>ÖV,ideal,S</sub>	≥ 0,90
C	≥ 0,79 V' <sub>ÖV,ideal,S</sub>	≥ 0,80
D	≥ 0,63 V' <sub>ÖV,ideal,S</sub>	≥ 0,60
E	≥ 0,42 V' <sub>ÖV,ideal,S</sub>	≥ 0,40
F	< 0,42 V' <sub>ÖV,ideal,S</sub>	< 0,40

**Tab. 10:** Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für den ÖPNV auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen



**Bild 32:** Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen  $f_{\text{ÖV,LSA}}$  in Abhängigkeit der Anzahl der Lichtsignalanlagen  $n_{\text{LSA}}$ , der Haltestellenanzahl  $n_{\text{H,S}}$  und der Streckenabschnittslänge  $L_S$

te des Beförderungsgeschwindigkeitsindex  $I_{OV}$  vorgeschlagen.

## 9 Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums

Der gewählte Untersuchungsansatz und der hieraus abgeleitete Aufbau der Qualitätsstufenkonzepte zur Bewertung sowohl des Kraftfahrzeug- als auch des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs (vgl. Kapitel 2.3) basieren auf der Überlagerung der aus den Nutzungsansprüchen der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion resultierenden Verkehre. Die sich somit ergebenden Verkehrszustände dienen als Grundlage zur Konkretisierung der beiden Qualitätsstufenkonzepte.

Zur Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums wurden deshalb zusätzlich zu den direkt aus den empirischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnissen (vgl. Kapitel 6.3) weitere, nicht beobachtete bzw. nicht beobachtbare Nutzungskonstellationen mit mikroskopischer Verkehrsflusssimulation untersucht. Hierzu wurde das kommerzielle Simulationsprogramm PARAMICS eingesetzt.

Die Simulation ermöglicht, infrastrukturelle Randbedingungen, z. B. Ausbildung des Fahrbahnquerschnitts oder die Lichtsignalsteuerung, und die Verkehrsnachfrage – hier zum einen Variation der Kraftfahrzeugverkehrsstärke, zum anderen des Fahrplantakts der Stadt-/Straßenbahnen sowie Überlagerung dieser beiden Größen mit unterschiedlichen Ausprägungen von Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion – nahezu beliebig zu variieren bzw. auch konstant zu halten (vgl. auch STEIERWALD/HEINZ, 1984). Somit kann der Verkehrsablauf unter genau definierbaren Bedingungen *ceteris paribus* analysiert werden (siehe z. B. BENZ, 1985). Durch die Betrachtung verschiedener relevanter Belastungszustände mit unterschiedlichen Ausprägungen von Verbindungs- und Erschließungsansprüchen können letztendlich auch Erkenntnisse über die bemessungsrelevante „ungünstigste“ Kombination gewonnen werden.

### 9.1 Grundlagen des eingesetzten Simulationsmodells

Das Simulationsprogramm PARAMICS ist durch die zeitdiskrete, raumkontinuierliche Abbildung einzelner Fahrzeuge und die Berücksichtigung stochasti-

scher, d. h. zufälliger Ereignisse, in der Lage, detaillierte Aussagen über den Verkehrsablauf innerhalb eines Straßennetzes zu liefern. Es besteht die Möglichkeit, städtische Hauptverkehrsstraßen mit allen relevanten infrastrukturellen, verkehrsregelnden und -steuernden Strecken- und Knotenpunkteigenschaften abzubilden. Somit ist auch die Abbildung von Stadt-/Straßenbahntrassen auf überfahrbaren Bahnkörpern gewährleistet.

Das zugrunde liegende Fahrzeugfolgemodell basiert auf psycho-physischen Bewegungsgleichungen nach FRITZSCHE (1994 und 1999), welche eine Weiterentwicklung des WIEDEMANN'schen Ansatzes aus dem Jahre 1974 darstellen. Das implementierte Spurwechselmodell basiert auf einem klassischen Zeitlückenansatz, ergänzt um eine temporäre Datenbankabfrage zur Berücksichtigung einer zeitlichen Veränderlichkeit der Fahrstreifenwechselvorgänge (vgl. PARAMICS-Report, 1997). Letztere berücksichtigt, dass mit zunehmender Fahrtzeit in gebundenem Verkehr kürzere Zeitlücken zum Fahrstreifenwechsel akzeptiert werden.

Jedes abgebildete Fahrzeug bildet eine so genannte Fahrer-Fahrzeug-Einheit, die spezifische Eigenschaften besitzt. Die Variation einzelner Fahrzeugarten erlaubt u. a. die individuelle Festlegung der Fahrzeugabmessungen, des Beschleunigungs- und Verzögerungsverhaltens sowie der Höchstgeschwindigkeit. Somit besteht die Möglichkeit eigener Fahrzeuggruppendefinitionen und einer detaillierten Berücksichtigung unterschiedlicher Kategorien innerhalb einer Fahrzeuggruppe. Jeder Fahrer-Fahrzeug-Einheit sind darüber hinaus weitere Eigenschaften des Fahrers, wie Fahrweise (z. B. Wunschgeschwindigkeit), Aufmerksamkeit oder Ortskenntnis, zugewiesen.<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Grundlage für die Ableitung typischer Wunschgeschwindigkeitsverteilungen sind gemessene Geschwindigkeiten, die auch Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit beinhalten (vgl. LEUTZBACH, 1986); demnach liegen den Simulationen auch von den Verkehrsregeln teilweise abweichende Verhaltensweisen zugrunde. Die im HBS (2001/2005) dargestellten Berechnungsverfahren gehen zwar davon aus, dass die geltenden Verkehrsregeln eingehalten werden, dennoch basieren auch die dort enthaltenen Ansätze auf empirischen Analysen des Verkehrsablaufs sowie z. T. ergänzenden Simulationsuntersuchungen und spiegeln somit, wenn auch modellhaft abstrahiert, den realen Verkehrsablauf wider, bei dem die Verkehrsvorschriften in der Regel nicht von allen Verkehrsteilnehmern eingehalten werden. Insofern erscheint es legitim, auch hier vom tatsächlichen Verkehrsverhalten auszugehen; darüber hinaus sind grundsätzlich reale, empirisch erfasste Daten für die Kalibrierung und Validierung erforderlich (siehe Kapitel 9.3).

Eingangsgröße der Verkehrsbelastungen sind  $F_{ij}$ -Matrizen mit allen Verkehrsbeziehungen im jeweiligen Untersuchungsnetz, differenziert nach einzelnen Fahrzeuggruppen, denen entsprechende Ganglinien, basierend auf verschiedenen Zeitintervallen, hinterlegt werden können. Diese können darüber hinaus für einzelne Quelle-Ziel-Beziehungen differenziert werden.

Der ÖPNV (hier die Stadt-/Straßenbahnen) verkehrt in der Simulation auf vorgegebenen Linienwegen mit Berücksichtigung aller fahrplanmäßigen Aufenthalte an Haltestellen. Dabei können linien-spezifisch unterschiedliche Haltestellenaufenthaltszeiten berücksichtigt werden.

In der Simulation können alle relevanten verkehrlichen Kenngrößen – wie Verkehrsstärken, lokale Geschwindigkeiten, strecken- oder verbindungsbezogene Fahrgeschwindigkeiten, Verkehrsdichten, Staulängen usw. – ermittelt und archiviert werden. Darüber hinaus können in der Simulation auch Weg-Zeit-Beziehungen einzelner Fahrzeuge erfasst und analysiert werden, um diese mit empirisch erfassten Geschwindigkeitsprofilen aus Nachfolgefahrten zu vergleichen (SCHWIETERING, 2002). Die statistische Auswertung und Aufbereitung erfolgten anschließend mit spezifischen, an die jeweilige Aufgabenstellung angepassten Softwaretools (siehe auch Kapitel 9.6).

## 9.2 Grundlagen der Kalibrierung und Validierung

Die Grundvoraussetzungen für die Anwendung mikroskopischer Verkehrsflusssimulation sind die Verwendung eines kalibrierten Modells und die Validierung auf Basis empirischer Daten.<sup>46</sup> Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Simulation des Verkehrsablaufs zwar mikroskopisch erfolgt, die empirisch verfügbaren Eingangsgrößen jedoch das Verkehrsverhalten meistens nur in aggregierter Form abbilden. Letztendlich sind aber auch die erwarteten bzw. benötigten Aussagen in vielen Fällen makroskopischer Natur – hier die Verkehrsdichte  $k$  in Pkw-E/(km x Ri) bzw. die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  des Stadt-/Straßenbahnverkehrs (in km/h), beide jeweils in Abhängigkeit eines auf eine Stunde bezogenen Belastungszustands (vgl. Kapitel 2.3).

Zunächst ist die Kalibrierung des Modells erforderlich. Diese beinhaltet die Überprüfung und gegebene

nenfalls Anpassung der Eingangsparameter (z. B. Reaktionszeit) und dient dem Nachweis, dass die implementierten Modellalgorithmen das Fahrzeugfolge- und Spurwechselverhalten realistisch abbilden, u. a. hinsichtlich der Differenzierung von Fahrzuständen.<sup>47</sup> Mit Kalibrierung wird demnach der Vorgang bezeichnet, bei dem die Parameter der unterschiedlichen Modellkomponenten so angepasst werden, dass die Simulation hinreichend genau die realen Verhältnisse wiedergibt.

Durch die Anwendung von PARAMICS wird auf ein vielfach getestetes und kalibriertes Simulationsprogramm zurückgegriffen, das seine Eignung zur Nachbildung städtischer Verkehrsabläufe bereits in einer Vielzahl von Anwendungsfällen bewiesen hat. Zu nennen sind hier sowohl Untersuchungen zur Ermittlung und Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen von Um- und Ausbaumaßnahmen infrastruktureller und verkehrstechnischer Art (vgl. z. B. SCHUCKLIEß/BAIER, 2003) als auch verschiedene Forschungsvorhaben zur Ableitung von Verfahren für die Verkehrsqualitätsbewertung städtischer Straßenverkehrsanlagen (BAIER et al., 2001, BAIER et al., 2003, und BAIER, 2006).<sup>48</sup>

Die Validierung dient der Bestimmung der Zuverlässigkeit der erzielbaren Aussagen im jeweiligen Anwendungsfall, ist also letztendlich der Vergleich, ob der Verkehrsablauf in der (empirisch erfassten und ebenfalls stochastischen) Realität und in der Simulation übereinstimmen. Dies kann beispielsweise anhand von Zeitlückenverteilungen, Fahrstreifenbelegungen einzelner Fahrzeugarten, etwa des Schwerverkehrs, und Fahrstreifenwechsellvorgängen (Anzahl und Orte) erfolgen. Herangezogen werden können hierbei grundsätzlich alle empirisch und simulativ erfassbaren Kenngrößen, lokale wie streckenbezogene.

<sup>46</sup> Die erforderlichen Arbeitsschritte zur Durchführung von Simulationsuntersuchungen und deren Anforderungen sind z. B. in den Hinweisen zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation (FGSV, 2006) beschrieben.

<sup>47</sup> Vergleichende Untersuchungen mikroskopischer Simulationsmodelle durch BROCKFELD et al. (2004) zeigen hier durchaus Genauigkeitsunterschiede und verdeutlichen umso mehr den Stellenwert der Kalibrierung.

<sup>48</sup> Neben eigenen empirischen Daten können grundsätzlich auch in der Literatur dokumentierte Messergebnisse herangezogen werden; beispielsweise bieten sich hier die detaillierten Ergebnisse von AXHAUSEN/FELLENDORF/HOOK (1989) und HOFFMANN/NIELSEN (1994) zum Verkehrsablauf an Lichtsignalanlagen (Zeitbedarfswerte, Zeitlückenverteilungen usw.) an.

Auch sollten nach BAIER/SCHUCKLIEß (2004) bereits im Rahmen der Validierung die Visualisierungsmöglichkeiten der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation genutzt werden. Diese erlauben neben generellen Plausibilitätsprüfungen vor allem den direkten Vergleich mit empirisch beobachteten Verkehrsabläufen, z. B. durch Gegenüberstellung mit entsprechenden Videoaufzeichnungen.

Insbesondere bei der Simulation des Verkehrsablaufs auf städtischen Straßenverkehrsanlagen ist aufgrund der dort vorherrschenden komplexen Zusammenhänge sowie der gegenseitigen Beeinflussung unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer eine fundierte Validierung auf Basis empirischer Daten zwingend erforderlich. Deshalb ist zunächst immer der Ist-Zustand abzubilden.

Die Validierung muss sich an der Aufgabenstellung orientieren, d. h. es müssen grundsätzlich die Teile des Modells valide sein, die einen Einfluss auf das betrachtete Merkmal – hier die richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k$  in Pkw-E/(km x Ri) sowie die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{OV}$  der Stadt-/Straßenbahnen (in km/h) – haben. Sollen wie hier makroskopische Kenngrößen ermittelt werden, ist sicherzustellen, dass das mikroskopische Modell auch auf einer makroskopischen Skala sinnvolle Effekte zeigt (vgl. auch BLEILE, 1999). Es lässt sich jedoch keine pauschale Grenze festlegen, inwiefern die simulierten Daten mit den Realdaten übereinstimmen müssen bzw. wie stark deren Werte maximal voneinander abweichen dürfen.

Für die hier durchgeführten, in den nachfolgenden Kapiteln 9.3 bis 9.7 beschriebenen Simulationsuntersuchungen wurde auf die von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) erstellten Netzgeometrien zurückgegriffen. Damit ist die Verwendung entsprechend kalibrierter und bereits validierter Modelle gewährleistet.

### 9.3 Netzgeometrien

Die verwendeten Netzgeometrien stellen idealisierte Streckenabschnitte („Musterstrecken“), abgeleitet aus den empirischen Erkenntnissen dar. Der prinzipielle Aufbau ist in Bild 33 dargestellt. Als Fahrbahnquerschnitte wurden in den Netzgeometrien zwei- sowie vierstreifige Fahrbahnen zugrunde gelegt, in beiden Fällen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern, die vom Kraftfahrzeugverkehr durchgängig überfahrbar sind. Die Streckenabschnitte haben eine Länge  $L_S$  von

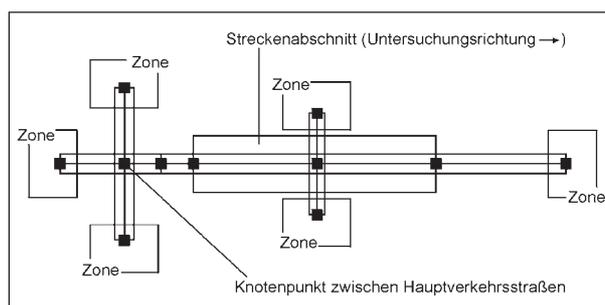


Bild 33: Aufbau der Netzgeometrien (Prinzipiskezze)

400 m – diese entspricht etwa den mittleren Längen, die bei den untersuchten Fallbeispielen ermittelt wurden (vgl. Bild 23 und Bild 24 in Kapitel 7.1) – und bestehen aus jeweils zwei Teilabschnitten mit der Länge  $L_T$  von 200 m.

Die Abbildung idealisierter Streckenabschnitte in der gewählten Form hat den Vorteil einer allgemeingültigen Übertragbarkeit, in gewissem Maße sogar eine höhere Übertragbarkeit, als dies mit der „Nachbildung“ realer Straßenzüge möglich wäre, da dann die erzielten Ergebnisse gegebenenfalls nur Aussagen zu Streckenabschnitten mit identischen Randbedingungen zulassen würden. Dies zeigen u. a. die Ergebnisse von BAIER et al. (2001) zur Qualität des Busverkehrsablaufs auf Sonderfahrstreifen. Die gewählte Vorgehensweise ist darüber hinaus aufgrund der angestrebten „isolierten“ Abbildung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten außerhalb des Einflussbereichs von Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen erforderlich. Außerdem wird hierdurch eine direkte Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse mit den Untersuchungsergebnissen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) zum Verkehrsablauf auf ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahrenen Strecken sichergestellt (siehe hierzu auch Kapitel 9.7.4).

Den Streckenabschnitten und Knotenpunkten wurden entsprechende Attribute im Bezug auf infrastrukturelle und verkehrsregelnde bzw. -steuernde Randbedingungen (zulässige Höchstgeschwindigkeit  $V_{zul}$ , Lichtsignalsteuerung usw.) zugewiesen. In der Mitte des Streckenabschnitts ist ein verkehrszeichengeregelter Anschlussknotenpunkt angeordnet, an dem eine nachgeordnete Straße angebunden wird und an dem die Störeinflüsse durch links abbiegende Kraftfahrzeuge simuliert wurden. Unmittelbar vor dem Knotenpunkt, also am Ende des davorliegenden Teilabschnitts, befindet sich eine bedarfsgesteuerte, signalisierte Fußgängerfurt. Ebenfalls vor dem Knotenpunkt angeordnet ist eine

Stadt-/Straßenbahnhaltestelle, die im Fall des vierstreifigen Fahrbahnquerschnitts mit einer Zeitinsel versehen ist.

Für die (idealisierten) Knotenpunkte wurden spezifische, festzeitgesteuerte Lichtsignalsteuerungen entwickelt und implementiert. Diese berücksichtigen die Vorgaben der RiLSA (1992) und basieren darüber hinaus auf folgenden Randbedingungen:

- Die Umlaufzeit  $t_U$  aller Lichtsignalanlagen beträgt 90 s (diese entspricht der maximalen Umlaufzeit  $t_{U, \max}$ , die bei mittleren und kleinen Knotenpunkten anzuwenden ist; vgl. hierzu auch SCHNABEL/KORN, 2004),
- die Freigabezeiten  $t_F$  an den Knotenpunkten gewährleisten ein Optimum der hierdurch in den nachfolgenden Abschnitt einspeisbaren Verkehrsstärken und
- die zugrunde gelegte Koordinierung mit der bedarfsgesteuerten Fußgängerfurt stellt einen optimalen Durchsatz sicher.

Der Kraftfahrzeugverkehrszufluss wird über die Erzeugung einer poissonverteilten Einspeisung in das Netz variiert. Die Lichtsignalanlage am vorgelagerten Knotenpunkt (Knotenpunkt zwischen Hauptverkehrsstraßen) dosiert die Gesamtmenge der in den Streckenabschnitt einfahrenden Kraftfahrzeuge und erzeugt somit eine entsprechende Pulkung des Verkehrs im Streckenabschnitt.

#### 9.4 Grundannahmen zur Abbildung von Erschließungsvorgängen

Im Rahmen der Simulationsuntersuchungen wurden die Auswirkungen von Störeinflüssen, die aus der Erschließungsfunktion einer Hauptverkehrsstraße resultieren, auf den Verkehrsablauf analysiert. Neben Stadt-/Straßenbahnhalten als Störgröße für den Kraftfahrzeugverkehr wurden Einparkvorgänge, Halte- bzw. Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn und Anforderungen an Fußgängerlichtsignalanlagen betrachtet, die zu Störungen sowohl im Kraftfahrzeug- als auch im Stadt-/Straßenbahnverkehrsablauf führen können.

Zur Abbildung der Erschließungsvorgänge waren modell- und programmseitige Randbedingungen zu berücksichtigen sowie bestimmte, aus empirischen Erkenntnissen abgeleitete Grundannahmen erforderlich (siehe hierzu auch BAIER, 2003). Dies gilt insbesondere für die Einparkvorgänge sowie

die Halte-, Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn.

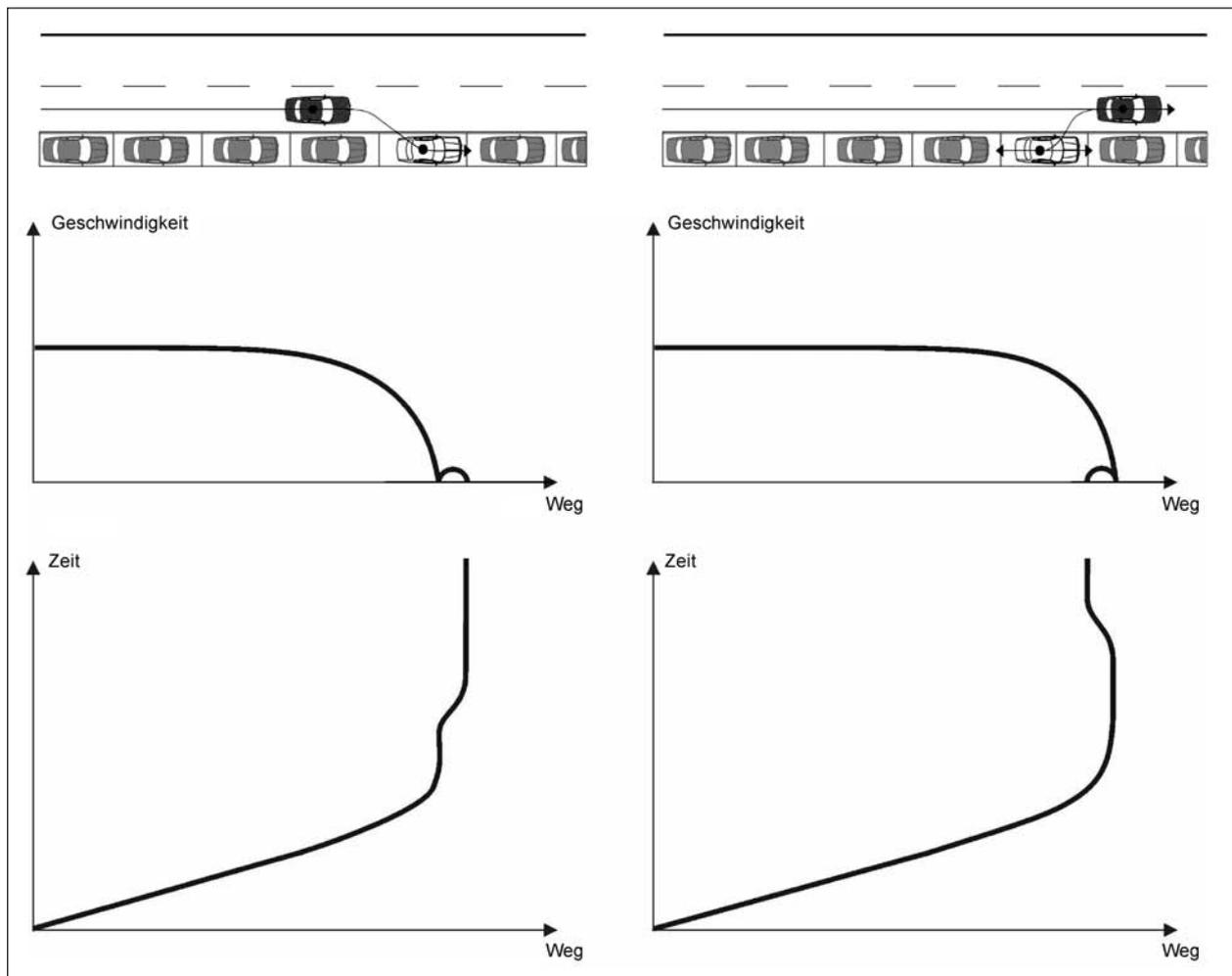
Die Abbildung von Einparkvorgängen erfolgte durch Halte einzelner Fahrzeuge auf der Fahrbahn. Diese werden durch ihre mittlere Dauer, den Anteil an der richtungsbezogenen Verkehrsstärke sowie durch entsprechende Zuweisungen auf einen, hier den rechten, Fahrstreifen definiert und treten räumlich zufallsverteilt auf.<sup>49</sup>

Diese Idealisierung bildet den Verkehrsablauf insofern realistisch ab, als während des Parkmanövers auch nur der Zeitraum des Blockierens des rechten Fahrstreifens einen direkten Störeinfluss auf den fließenden Kraftfahrzeugverkehr hat: In Bild 34 ist der Ablauf von Vorwärts- und Rückwärtseinparkvorgängen schematisch dargestellt, die hieraus abgeleitete Abbildung des Störeinflusses von Einparkvorgängen auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf als Haltevorgang auf der Fahrbahn in der Simulation zeigt Bild 35. Die durchschnittliche Haltezeit entspricht dabei den empirisch ermittelten Stördauern von Einparkvorgängen an Hauptverkehrsstraßen (siehe Kapitel 9.5.2).

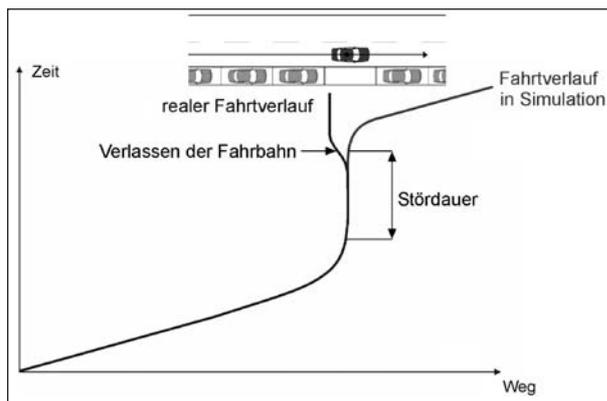
Die Halte- und Liefer-/Ladevorgänge wurden durch Zuweisung von genauer Position (außerhalb der Stadt-/Straßenbahnhaltestelle), Uhrzeit und Dauer jedes einzelnen Vorgangs simuliert. Zugrunde gelegt wurden dabei aus den empirischen Ergebnissen abgeleitete mittlere Dauern (siehe hierzu Kapitel 9.5.2) mit teilweise zeitlichen Überlagerungen.

Bei zweistreifigen Fahrbahnquerschnitten wurden die Liefer-/Ladevorgänge darüber hinaus wie bei BAIER et al. (2003) jeweils in mehrere Intervalle mit zeitlichen Unterbrechungen unterteilt, um das mögliche Vorbeifahren an haltenden Kraftfahrzeugen abzubilden (die Nutzung des Gegenfahrstreifens kann mit dem Simulationsmodell nicht abgebildet werden). Die Intervalllängen mit und ohne Vorbeifahrmöglichkeit wurden hierbei an die jeweiligen Gegenverkehrsstärken angepasst, um die Kapazitätsreduzierung durch den Liefer-/Ladevorgang auf der Fahrbahn entsprechend zu berücksichtigen. Die Festlegung der Intervalllängen stützte sich

<sup>49</sup> Bei Straßen mit baulicher Richtungstrennung und Parkständen im Mittelstreifen können Einparkvorgänge auch auf dem linken Fahrstreifen auftreten; diese Störungen wirken sich auf den Verkehrsablauf aber nicht anders aus als entsprechende Vorgänge auf dem rechten Fahrstreifen (vgl. BAIER, 2006).



**Bild 34:** Ablauf von Vorwärts- und Rückwärtseinparkvorgängen (BAIER, 2006)



**Bild 35:** Abbildung des Störeinflusses von Einparkvorgängen als Haltevorgänge auf der Fahrbahn in der Simulation nach BAIER (2006)

dabei zum einen auf empirische Beobachtungen (TEPPER, 2000), zum anderen auf die vorhandenen Erkenntnisse zur zeitlückenabhängigen Kapazität von links abbiegenden Kraftfahrzeugen an verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten des HBS (2001/2005).

Die Störeinflüsse aus Fußgängerquerungen auf Hauptverkehrsstraßen resultieren ausschließlich aus Bedarfsanforderungen an signalisierten Fußgängerfurten im Streckenabschnitt. Frei, d. h. außerhalb von Überquerungsstellen, querende Fußgänger haben keinen Einfluss auf den Verkehrsablauf, da diese entsprechende Zeitlücken nutzen (vgl. MAIER, 1986, und BAIER, 2006). Die Fußgängerquerungen werden vor diesem Hintergrund in der Simulation durch eine entsprechende Signalsteuerung an den jeweiligen Fußgängerfurten berücksichtigt, die in einzelnen Umläufen die Freigabezeit  $t_F$  des fließenden Verkehrs reduziert. Das Lichtsignalprogramm der Fußgängerfurt ist hierbei auf die für den Hauptstrom koordinierte Lichtsignalsteuerung der Knotenpunkte abgestimmt.

Die Reduzierung der Freigabezeiten  $t_F$  für den fließenden Verkehr je Anforderung an der Fußgängerlichtsignalanlage ergibt sich aus den (von der Fahrbahnbreite abhängigen) erforderlichen Zeiten

der Fußgänger für die Überquerung der Furt (Räumzeit  $t_r$ ), die deren Freigabezeiten  $t_f$  bestimmen, zuzüglich der erforderlichen Zwischenzeiten  $t_z$  entsprechend den Anforderungen der RiLSA (1992). Für den fließenden Verkehr ergeben sich hieraus Sperrzeiten  $t_S$  von 17 s je Anforderung bei zwei- bzw. 22 s je Anforderung bei vierstreifigen Fahrbahnen.

## 9.5 Belastungsfälle

Die Belastungsfälle ergeben sich aus der Überlagerung variierender Kraftfahrzeugverkehrsstärken und unterschiedlicher, ebenfalls variierender Erschließungsvorgänge. Letztere wurden in verschiedenen Ausprägungen hinsichtlich ihrer Häufigkeit (Anzahl), unter Berücksichtigung ihrer Dauern betrachtet.

### 9.5.1 Kraftfahrzeugverkehrsstärken

Als relevante Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q_B$  wurden für zweistreifige Strecken 500 Kfz/(h x Ri) bis 1.500 Kfz/(h x Ri), für vierstreifige Streckenabschnitte 1.000 Kfz/(h x Ri) bis 2.500 Kfz/(h x Ri) festgelegt. Diese Belastungsspektren begründen sich zum einen in den empirisch festgestellten Verkehrsstärken, zum anderen entsprechen diese den Belastungsspektren, die BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) bei ihren Untersuchungen zum Verkehrsablauf auf ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahrenen Hauptverkehrsstraßen betrachtet haben. Auf Streckenabschnitten zweistreifiger Hauptverkehrsstraßen treten zwar kaum Verkehrsbelastungen über 1.000 Kfz/(h x Ri), und auf vierstreifigen Straßen selten Belastungen über 2.000 Kfz/(h x Ri) auf, dennoch sollten auch höhere Kraftfahrzeugverkehrsstärken betrachtet werden, um die „Belastbarkeit“ der Fahrbahnquerschnitte zu untersuchen (vgl. Kapitel 2.2).

In der Simulation erfolgte dabei eine schrittweise Belastungserhöhung um jeweils 500 Kfz/(h x Ri). Die gewählte Staffelung der Verkehrsstärke  $q_B$  erlaubt, mögliche Grenzbereiche bezüglich der „Belastbarkeit“ bzw. Flexibilitäten der Fahrbahnquerschnitte zu ermitteln.

Der Schwerverkehrsanteil  $b_{SV}$  wurde konstant mit 10 % angesetzt. Dies gewährleistet eine gewisse Sicherheit der erzielten Ergebnisse im Hinblick auf eventuelle Schwankungen im Schwerverkehrsaufkommen. Der Anteil des Schwerverkehrs  $b_{SV}$  auf

städtischen Straßen geht nur selten über 10 % bis 15 % hinaus (LEUTZBACH, 1989), erfahrungsgemäß liegt dieser laut GÖTTSCHE (1987) in einer Größenordnung von 5 %. Auch HÖFLER (1994) bezeichnet Schwerverkehrsanteile von 5 % als „normal“. Insofern erscheint die getroffene Festlegung des  $b_{SV}$  auf 10 % ausreichend, um alle praxisrelevanten Fälle abzudecken.

### 9.5.2 Quantifizierung relevanter Erschließungsvorgänge

Die Quantifizierung der relevanten Größen aus der Erschließungsfunktion hinsichtlich Häufigkeit und Dauer dient als Grundlage für die Festlegung der maßgebenden Belastungszustände, die im Rahmen der Simulationsuntersuchungen zur Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums dienen (siehe nachfolgendes Kapitel 9.5.3). Basis für die Quantifizierung waren Literaturlauswertungen, die bereits von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) ermittelten Kennwerte sowie ergänzend die hier durchgeführten empirischen Untersuchungen, in deren Rahmen ebenfalls Erschließungsvorgänge erfasst wurden (vgl. Kapitel 6.2 und 6.3). Als relevante Erschließungsvorgänge quantifiziert werden

- der Anteil der Linksabbieger  $n'_{LA}$  an nachrangigen Knotenpunkten bzw. höher frequentierten Grundstückszufahrten, bezogen auf die richtungsbezogene Verkehrsstärke  $q$ ,
- die Anzahl von Einparkvorgängen  $n_{PV}$  bzw.  $n'_{PV}$  und deren Dauer  $t_{PV}$ ,
- die Anzahl von Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV}$  bzw.  $n'_{LV}$  sowie Haltevorgängen auf der Fahrbahn  $n_{HV}$  bzw.  $n'_{HV}$  und deren Dauern  $t_{LV}$  bzw.  $t_{HV}$ ,
- die Anzahl der Anforderungen an bedarfsgesteuerten Fußgängerfurten  $n_{FG}$  bzw.  $n'_{FG}$ .

Diese stellen potenzielle Störgrößen sowohl für den Kraftfahrzeug- als auch den Stadt-/Straßenbahnverkehr dar. Für den Kraftfahrzeugverkehrsablauf sind darüber hinaus auch Störungen aus Stadt-/Straßenbahnhalten, die ebenfalls aus der Erschließungsfunktion resultieren, gegeben.

Die Größenordnung von Linksabbiegeverkehren (absolut wie relativ zur Gesamtverkehrsstärke) an Knotenpunkten mit Erschließungsstraßen ist zum einen von der Netzstruktur, zum anderen von der Funktion der Hauptverkehrsstraße, aber auch der Funktion der nachgeordneten Straße (z. B. Sammelstraße oder Wohnstraße) abhängig.

Die an Anschlussknotenpunkten ermittelten Linksabbiegeanteile  $n'_{LA}$  liegen bei 4 % (Detmolder Straße in Bielefeld, Fahrtrichtung stadtauswärts, August-Bebel-Straße), 6 % (Derendorfer Straße in Düsseldorf, Fahrtrichtung stadteinwärts, Franklinstraße) bzw. 8 % (Grafenberger Allee, Fahrtrichtung stadteinwärts, Lindenstraße) der richtungsbezogenen Verkehrsstärke  $q$ , jeweils bezogen auf eine Stunde. Diese liegen in derselben Größenordnung wie die Linksabbiegeanteile  $n'_{LA}$  von 4 % bis 9 %, die BAIER (2006) festgestellt hat. Ähnlich hohe Linksabbiegeanteile  $n'_{LA}$  treten, zumindest während einzelner Stundengruppen, auch an Grundstückszufahrten zu publikumsintensiven Nutzungen auf. So ermittelte BAIER (2006) z. B. an einer Zufahrt eines Drive-in-Restaurants in der Mittagszeit Anteile  $n'_{LA}$  von 4 % bis 6 % der richtungsbezogenen Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$ .

Die sich aus den Linksabbiegevorgängen ergebenden Stördauern für den durchgehenden Verkehr sind von den Wartezeiten  $t_W$  der abbiegenden Kraftfahrzeuge abhängig, die sich wiederum aus der Kapazität  $C$  des Linksabbiegestroms ergeben. Neben der Regelungsart (mit/ohne Lichtsignalanlage) ist hier die Gegenverkehrsstärke  $q_G$  maßgebend. Vor allem bedingt verträglich geführte Abbieger beeinflussen den durchgehenden Verkehr im Streckenabschnitt. Stehen keine gesonderten Abbiegestreifen zur Verfügung, kann es zu Behinderungen der geradeaus fahrenden Ströme kommen, sodass der verbleibende Anteil nutzbarer Fahrstreifenkapazität mitunter stark abnimmt (vgl. KRÜGER, 1986), auch auf vierstreifigen Straßen.<sup>50</sup>

Die Anzahl der Ein- und Ausparkvorgänge ist in starkem Maße von den unmittelbaren Randnutzun-

gen abhängig; insbesondere bei hohem Geschäftsbesatz sind entsprechend viele Parkvorgänge zu erwarten.<sup>51</sup> In Tabelle 11 sind die im Rahmen der empirischen Untersuchungen erfassten maximalen Anzahlen stündlicher Einparkvorgänge je Richtung  $n_{PV}$  und die hieraus abgeleiteten Kennwerte maximaler stündlicher Einparkvorgänge je 100 m nutzbarer Länge  $n'_{PV}$  angegeben.<sup>52</sup> Letztere liegen zwischen 3 und 12 Einparkvorgängen je Stunde und 100 m nutzbarer Straßenseite.

Einen direkten Störeinfluss auf den Verkehrsablauf haben jedoch nur die Einparkvorgänge durch entsprechendes Blockieren eines Fahrstreifens. Maßgebend ist deshalb die Stördauer, während welcher der Fahrstreifen durch das einparkende Fahrzeug

<sup>50</sup> Die Kapazität bedingt verträglicher Linksabbieger ist schon bei mittleren Gegenverkehrsstärken relativ gering; häufig bieten sich im Gegenverkehr erst gegen Ende der Freigabezeit entsprechende Zeitlücken zum Durchsetzen an. Bedingt verträgliche Linksabbieger können nach dem HBS (2001/2005) deshalb nur bei kleinen Knotenpunkten und schwachem Linksabbiegeverkehr (bis etwa 180 Kfz/h) angewendet werden.

<sup>51</sup> Dies bestätigt auch eine von UHRIG (2003) durchgeführte Auswertung der Ergebnisse von SCHNÜLL/ALBERS (1989) und MERHI (1999) zu Parkvorgängen an Hauptverkehrsstraßen in Abhängigkeit von Randnutzung und Parkraumbot: Die Umschlaghäufigkeit ist bei Misch- bzw. Einkaufsnutzung deutlich höher als bei reiner bzw. überwiegender Wohnnutzung.

<sup>52</sup> Die nutzbare Länge  $L_{SE}$  bezieht sich auf die Bereiche einer Straßenseite, in denen grundsätzlich Park- bzw. Liefer/Lademöglichkeiten, legale wie illegale (hierzu gehören z. B. auch Grundstückszufahrten), bestehen; ausgenommen hiervon sind die Einmündungsbereiche angebundener Erschließungsstraßen sowie (im Regelfall) Stadt-/Straßenbahnhaltestellen.

Fallbeispiel	Fahrtrichtung	Teilabschnitt	$L_{SE}$ [m]	$n_{PV,SE}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{PV,SE}$ [Kfz/(h x 100 m)]
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	Franklinstraße – Bagelstraße	190	23	12,1
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	Bagelstraße – Franklinstraße	210	26	12,4
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	Bagelstraße – Düsseltaler Straße	120	4	3,3
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	Düsseltaler Straße – Bagelstraße	80	5	6,3
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	Robert-Koch-Straße – Weyertal	270	26	9,6
Zülpicher Straße (Köln)	stadtauswärts	Weyertal – Robert-Koch-Straße	200	19	9,5
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	Prießallee – Fröbelstraße	190	9	4,7
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	Fröbelstraße – Prießallee	120	3	2,5
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	H.-Sachs-Straße – Lindemannstraße	160	16	10,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	Lindemannstraße – H.-Sachs-Straße	200	6	3,0

Tab. 11: Maximale Anzahl stündlicher Einparkvorgänge  $n_{PV,SE}$  und Einparkvorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge  $n'_{PV,SE}$

blockiert wird; diese beginnt mit dem Halt auf dem Fahrstreifen und endet mit dem Verlassen der Fahrbahn (vgl. auch RIEL, 2003). Ausparkvorgänge haben nur einen Störeinfluss, wenn ein anderes Kraftfahrzeug während des Ausparkvorgangs wartet und dem ausparkenden Fahrzeug Vorrang gibt, z. B. um anschließend selbst einzuparken. Die beobachteten Stördauern der Einparkvorgänge  $t_{PV}$  liegen im Mittel bei etwa 11 s (ausgewertet wurden rund 300 von insgesamt 900 erfassten Einparkvorgängen). Dies entspricht der  $t_{PV}$  von 12 s, die BAIER (2006) für überwiegend rückwärtsgerichtete Einparkvorgänge ermittelt hat.

Das Aufkommen von Liefer- und Ladeverkehren ist ebenfalls in starkem Maße von den angrenzenden Nutzungen abhängig, insbesondere Einzelhandels-geschäften und Wirtschaftsbetrieben. Im tageszeitlichen Verlauf ist im Wesentlichen von einer Konzentration der Liefer-/Ladetätigkeiten am Vormittag auszugehen, wobei durchaus Tendenzen zu zeitlichen Verlagerungen festzustellen sind.<sup>53</sup> Liefer- und Ladetätigkeiten werden in Hauptverkehrsstraßen meist auf der Fahrbahn abgewickelt (vgl. z. B. LEERKAMP, 1998), wodurch es zu Nutzungskonkurrenzen mit dem fließenden Verkehr kommt. Dies führt in vielen Fällen zu Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs (siehe ANGENENDT et al., 1983).<sup>54</sup> Diese Störungen sind dabei maßgeblich vom Standort innerhalb des Streckenabschnitts, der Dauer und der Verkehrsbelastung abhängig (vgl. hierzu LEUTZBACH/SCHMIDT, 1987, und LEUTZBACH, 1989).

Die aus den empirischen Untersuchungen ermittelten maximalen Anzahlen von Liefer-/Ladevorgängen auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Straßen-

seite  $n'_{LV}$  liegen zwischen 0 und etwa 4 Liefer-/Ladevorgängen in der Stunde (Tabelle 12). Dieses Aufkommen stimmt weitgehend mit den von BAIER et al. (2003) bzw. BAIER (2006) ermittelten Größen sowie auch mit den Ergebnissen überein, die JANSEN (2003) auf Basis einer Auswertung der von HAMED (1994) dokumentierten Liefer- und Ladevorgänge festgestellt hat: Unter Berücksichtigung der von HAMED (1994) ermittelten Stundenganglinien liegt das stündliche Aufkommen  $n'_{LV}$  bei den von ihm untersuchten Hauptverkehrsstraßen zwischen 1 und etwa 3 Liefer-/Ladevorgängen je 100 m nutzbarer Länge.

Hinzu kommen sonstige Haltevorgänge auf der Fahrbahn, in der Regel von Pkw, da straßenverkehrsrechtlich unter dem Begriff „Halten“ das zeitlich (auf 3 Minuten) begrenzte Stehenbleiben eines Fahrzeugs zum Ein- und Aussteigen oder zum Be- und Entladen verstanden wird.<sup>55</sup> Diese können an-

<sup>53</sup> Innerstädtische Geschäfte und Betriebe werden häufig mehrmals täglich beliefert, und dies über den ganzen Tag verteilt (vgl. auch Kapitel 2.2). Der Liefer-/Ladeverkehr wird dabei nicht nur von Lkw, sondern zu einem großen Teil mit kleineren Fahrzeugen (Lkw < 3,5 t und Pkw) abgewickelt (vgl. hierzu LEUTZBACH, 1989, und BAUMGARTNER/GARBEN, 1993).

<sup>54</sup> Liefer- und Ladetätigkeiten auf der Fahrbahn sind laut ANGENENDT et al. (1983) nach Einparkvorgängen die häufigste Ursache für Behinderungen des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen, auch wenn die hierdurch verursachten Zeitverluste (bezogen auf die Betrachtung von Straßenzügen) ihrer Meinung nach eher als gering einzuschätzen sind.

<sup>55</sup> Siehe hierzu § 12 StVO sowie die entsprechenden Ausführungen zu Zeichen 286 StVO.

Fallbeispiel	Fahrtrichtung	Teilabschnitt	$L_{SE}$ [m]	$n_{LV,SE}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{LV,SE}$ [Kfz/(h x 100 m)]
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	Franklinstraße – Bagelstraße	190	5	2,6
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	Bagelstraße – Franklinstraße	210	4	1,9
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	Bagelstraße – Düsseltaler Straße	120	3	2,5
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	Düsseltaler Straße – Bagelstraße	80	3	3,8
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	Robert-Koch-Straße – Weyertal	270	3	1,1
Zülpicher Straße (Köln)	stadtauswärts	Weyertal – Robert-Koch-Straße	200	2	1,0
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	Prießallee – Fröbelstraße	190	1	0,5
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	Fröbelstraße – Prießallee	120	0	0,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	H.-Sachs-Straße – Lindemannstraße	160	2	1,3
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	Lindemannstraße – H.-Sachs-Straße	200	3	1,5

Tab. 12: Maximale Anzahl stündlicher Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn  $n_{LV,SE}$  und Liefer-/Ladevorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge auf der Fahrbahn  $n'_{LV,SE}$

hand empirischer Beobachtungen nur in bestimmten Fällen (z. B. wenn angehalten wird, um Personen ein- oder aussteigen zu lassen) eindeutig als solche identifiziert werden, ansonsten ist nicht auszuschließen, dass Pkw nicht auch zum Liefern und Laden halten. In Tabelle 13 sind die ermittelten Anzahlen  $n_{HV}$  und  $n'_{HV}$  solcher Haltevorgänge auf der Fahrbahn angegeben. Letztere liegen zwischen etwa 1 und 4 Haltevorgängen je 100 m nutzbarer Straßenseite.

Die durchschnittliche Dauer der beobachteten Liefer- und Ladevorgänge auf der Fahrbahn  $t_{LV}$  beträgt etwa 5 Minuten (ausgewertet wurden rund 50 erfasste Liefer-/Ladevorgänge). Diese Größenordnung liegt deutlich unter der von HAMED (1994) ermittelten Standauer von knapp 11 Minuten sowie den von LEERKAMP (1998) ermittelten rund 8 Minuten. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese ausschließlich Vorgänge auf Hauptverkehrsstraßen betrachteten, in denen für den Liefer- und Ladeverkehr gesonderte Flächen vorgesehen waren. Für Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn scheint sich dagegen eine mittlere Dauer  $t_{LV}$  von 5 Minuten als durchaus typische Größe zu bestätigen, da BAIER (2006) diese bei seinen Untersuchungen ebenfalls ermittelt hat.

Die übrigen Haltevorgänge sind mit einer mittleren Dauer  $t_{HV}$  von knapp 32 s erheblich kürzer (ausgewertet wurden rund 120 von 140 erfassten Haltevorgängen). Vereinzelt können Haltevorgänge aber auch bis zu mehreren Minuten betragen.

Beeinflussungen des fließenden Verkehrs durch querende Fußgänger werden ausschließlich aus Anforderungen bedarfsgesteuerter Fußgängerfur-

ten hervorgerufen. Die Störungen für den fließenden Verkehr sind dabei abhängig von der Häufigkeit der Anforderungen, aber auch von der Lichtsignalsteuerung und den sich hieraus ergebenden Sperrzeiten (vgl. hierzu auch Kapitel 9.4).

Der Querungsbedarf ist abhängig von den beidseitigen Nutzungen sowie von der Lage der Hauptverkehrsstraße in Bezug auf vorhandene Fußgängerbeziehungen innerhalb einer Stadt bzw. eines Stadtteils. Bei den untersuchten Fallbeispielen waren bedarfsgesteuerte Fußgängerfurten nur auf der Detmolder Straße in Bielefeld vorhanden. Die Anforderungshäufigkeiten  $n_{FG}$  waren aufgrund der angrenzenden Nutzungen jedoch relativ gering, zumal die Fußgänger hier häufig die sich durch die Lichtsignalsteuerung regelmäßig ergebenden Zeitlücken im fließenden Verkehr nutzen. D. h., der tatsächliche Querungsbedarf ist höher als die Anforderungen an Freigabezeiten an den bedarfsgesteuerten Fußgängerfurten.

Die Frequenz des ÖPNV, und damit die Häufigkeit von Stadt-/Straßenbahnhalten, hängt letztendlich von der Linienanzahl und deren Fahrplankontakt ab. Auf den beiden untersuchten zweistreifigen Straßen (Derendorfer Straße in Düsseldorf, Zülpicher Straße in Köln) sowie auf der Detmolder Straße in Bielefeld verkehrt jeweils eine Stadt-/Straßenbahnlinie im 10-Minuten-Takt. Über die Grafenberger Allee verkehren drei, abschnittsweise sogar bis zu sechs Stadt-/Straßenbahnlinien im 10- bzw. 20-Minuten-Takt.

Neben der sich hieraus ergebenden Anzahl der Stadt-/Straßenbahnhalte auf der Fahrbahn  $n_{H,ÖV}$  ist im Hinblick auf den Störungseinfluss im Kraft-

Fallbeispiel	Fahrtrichtung	Teilabschnitt	$L_{SE}$ [m]	$n_{HV,SE}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{HV,SE}$ [Kfz/(h x 100 m)]
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	Franklinstraße – Bagelstraße	190	7	3,7
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	Bagelstraße – Franklinstraße	210	3	1,4
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	Bagelstraße – Düsseltaler Straße	120	0	0,0
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	Düsseltaler Straße – Bagelstraße	80	1	1,3
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	Robert-Koch-Straße – Weyertal	270	10	3,7
Zülpicher Straße (Köln)	stadtauswärts	Weyertal – Robert-Koch-Straße	200	6	3,0
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	Prießallee – Fröbelstraße	190	3	1,6
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	Fröbelstraße – Prießallee	120	1	0,8
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	H.-Sachs-Straße – Lindemannstraße	160	3	1,9
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	Lindemannstraße – H.-Sachs-Straße	200	3	1,5

**Tab. 13:** Maximale Anzahl stündlicher Haltevorgänge auf der Fahrbahn  $n_{HV,SE}$  und Haltevorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge auf der Fahrbahn  $n'_{HV,SE}$

Fallbeispiel	Haltestelle	Fahrrichtung	$n_{H,\ddot{O}V}$ [-]	$t_{H,\ddot{O}V}$ [s]
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	Lennéstraße	stadteinwärts	8	18,1
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	Lennéstraße	stadtauswärts	9	18,4
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	Schlachthof	stadtauswärts	8	18,6
Detmolder Straße (Bielefeld)	Mozartstraße	stadteinwärts	28	24,7
Detmolder Straße (Bielefeld)	Mozartstraße	stadtauswärts	27	20,7
Detmolder Straße (Bielefeld)	August-Bebell-Straße	stadteinwärts	28	24,1
Detmolder Straße (Bielefeld)	August-Bebell-Straße	stadtauswärts	27	21,5
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Lindemannstraße	stadteinwärts	25	25,0

Tab. 14: Mittlere Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\ddot{O}V}$

fahrzeugverkehrsablauf insbesondere deren Halte-dauer relevant. Die Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\ddot{O}V}$  wird maßgeblich durch die Fahrgastwechselzeit bestimmt, die wiederum von der Ein- und Aus-steigeranzahl abhängig ist (siehe hierzu auch LEHNHOFF/JANSSEN, 2003).<sup>56</sup>

Das Fahrgastaufkommen und damit die Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\ddot{O}V}$  sind von der jeweiligen spezifischen Erschließungsfunktion der Haltestelle im Siedlungsgebiet abhängig (vgl. auch BAIER et al., 2001). Die Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\ddot{O}V}$  ist bei allen Haltevorgängen nahezu unbeeinflusst vom übrigen Verkehrsablauf, ausgenommen den Fall, dass sich die Haltestelle in einer Knotenpunkt-zufahrt befindet und die Stadt-/Straßenbahn vor einer roten Lichtsignalanlage warten muss.

Im Rahmen der empirischen Untersuchungen wurden die (von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen unbeeinflussten) Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\ddot{O}V}$  an insgesamt acht Haltestellen ermittelt (siehe Tabelle 14). Die mittleren  $t_{H,\ddot{O}V}$  liegen zwischen 18 s und 25 s; der Mittelwert aller beobachteten  $t_{H,\ddot{O}V}$  liegt bei rund 23 s. Diese Größenordnung entspricht den Ergebnissen von ANGENENDT et al. (2002), die eine mittlere Aufenthaltszeit  $t_{H,\ddot{O}V}$  von 22 s ermittelten, sowie auch an anderen Stellen genannten Haltezeiten (z. B. von KRUG, 1999 und 2000; vgl. Kapitel 5.1).

### 9.5.3 Belastungszustände aus Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus Verbindungs- und Erschließungsfunktion

Die simulierten Belastungsfälle repräsentieren verkehrliche Zustände im Streckenabschnitt, die sich aus der Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungsfunktion (Kraftfahrzeugverkehrsstärken, Frequenz des ÖPNV) und der Erschließungsfunktion (Einpark-, Liefer-/Ladevorgänge, Stadt-/Straßenbahnhalte usw.) ergeben. Untersucht wurden für zweistreifige Abschnitte insgesamt  $3 \times 4 \times 9 = 108$  Belastungsfälle (Tabelle 15), für vierstreifige Streckenabschnitte  $4 \times 4 \times 9 = 144$  Fälle (Tabelle 16). Diese ergeben sich aus der Variation der Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q_B$ , der ÖPNV-Frequenz (Anzahl der Bahnen  $n_{\ddot{O}V}$ ) sowie der sich hiermit überlagernden Häufigkeit einzelner Erschließungsvorgänge ( $n'_{LA}$ ,  $n_{PV}$ ,  $n_{LV}$  und  $n_{FG}$ ).

Hinsichtlich der Kraftfahrzeugstärke und -zusammensetzung (Schwerverkehrsanteil  $b_{SV}$ ) gelten die in Kapitel 9.5.1 beschriebenen Randbedingungen. Für den Stadt-/Straßenbahnverkehr wurden 20-, 10- und 5-Minuten-Takte zugrunde gelegt; dies entspricht einer Anzahl  $n_{\ddot{O}V}$  von 3 Strab/(h x Ri), 6 Strab/(h x Ri) bzw. 12 Strab/(h x Ri), jeweils mit mittleren Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\ddot{O}V}$  von 25 s. Zusätzlich wurde auch jeweils ein Fall ohne Stadt-/Straßenbahnen untersucht, um eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) zu gewährleisten, u. a. zum Einfluss unterschiedlicher Teilabschnittslängen  $L_T$  unter ansonsten gleichen verkehrlichen Randbedingungen (siehe hierzu Kapitel 9.7.4).

Die Anzahlen und Dauern der weiteren Störgrößen wurden im Wesentlichen auf Basis der empirischen Untersuchungen abgeleitet (vgl. Kapitel 9.5.2). Die

<sup>56</sup> Auch die Haltestellen- und Fahrzeuggestaltungen beeinflussen die Fahrgastwechselzeit, diese haben jedoch nur eine untergeordnete Bedeutung (vgl. LEHNHOFF/JANSSEN, 2003).

Nr.	$q_B$ [Kfz/(h x Ri)]	$n_{OV}$ [Strab/(h x Ri)]	$n'_{LA,S}$ [%]	$n_{PV,S}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n_{LV,S}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{FG,S}$ [Anf./3 U]
0	500/1.000/1.500	0/3/6/12	0	0	0	0
1	500/1.000/1.500	0/3/6/12	5	0	0	0
2	500/1.000/1.500	0/3/6/12	10	0	0	0
3	500/1.000/1.500	0/3/6/12	0	100	0	0
4	500/1.000/1.500	0/3/6/12	0	0	5	0
5	500/1.000/1.500	0/3/6/12	0	0	10	0
6	500/1.000/1.500	0/3/6/12	0	0	15	0
7	500/1.000/1.500	0/3/6/12	0	0	0	1
8	500/1.000/1.500	0/3/6/12	0	0	0	2

**Tab. 15:** Belastungsfälle für Simulationsuntersuchungen zum Verkehrsablauf auf zweistreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern

Nr.	$q_B$ [Kfz/(h x Ri)]	$n_{OV}$ [Strab/(h x Ri)]	$n'_{LA,S}$ [%]	$n_{PV,S}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n_{LV,S}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{FG,S}$ [Anf./3 U]
0	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	0	0	0	0
1	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	5	0	0	0
2	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	10	0	0	0
3	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	0	100	0	0
4	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	0	0	5	0
5	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	0	0	10	0
6	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	0	0	15	0
7	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	0	0	0	1
8	1.000/1.500/2.000/2.500	0/3/6/12	0	0	0	2

**Tab. 16:** Belastungsfälle für Simulationsuntersuchungen zum Verkehrsablauf auf vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern

endgültige Festlegung erfolgte unter Berücksichtigung der von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) zugrunde gelegten Größen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Untersucht wurden die Auswirkungen folgender Störgrößen auf den Verkehrsablauf:

- Linksabbiegeranteile an Anschlussknotenpunkten  $n'_{LA,S}$  von 5 % und 10 %,
- Einparkvorgänge  $n_{PV,S}$  von 100 Kfz/(h x Ri) mit einer mittleren Stördauer  $t_{PV}$  von 12 s,
- Liefer-/Ladevorgänge  $n_{LV,S}$  von 5 Kfz/(h x Ri), 10 Kfz/(h x Ri) und 15 Kfz/(h x Ri) mit einer mittleren Stördauer  $t_{LV}$  von 5 Minuten und
- Anforderungen bedarfsgesteuerter Fußgängerfurten  $n'_{FG,S}$  von 1 Anf./3 U und 2 Anf./3 U mit einer Sperrzeit  $t_S$  für den fließenden Verkehr von 17 s bzw. 22 s (vgl. Kapitel 9.4).

Diese absoluten Störgrößen beziehen sich jeweils auf den gesamten Streckenabschnitt der Länge  $L_S$  von 400 m bzw. eine innerhalb dieses Abschnitts nutzbare Länge  $L_{SE}$  von 250 m. Bei getrennter Betrachtung von Teilabschnitten (siehe nachfolgende Kapitel 9.6 und 9.7) ist eine entsprechende Verteilung auf die jeweiligen Längen  $L_T$  zu berücksichtigen.

Die Betrachtung des Verkehrsablaufs erfolgte dabei jeweils fahrtrichtungsbezogen (siehe ebenfalls nachfolgendes Kapitel 9.6). Der Gegenverkehr hat, wie die Untersuchungen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) gezeigt haben, auf Hauptverkehrsstraßen lediglich einen Einfluss auf links abbiegende Kraftfahrzeuge sowie bei zweistreifigen Streckenabschnitten auf die Vorbeifahrmöglichkeiten an auf der Fahrbahn haltenden Kraftfahrzeugen. Insofern hat in diesen Fällen auch der Gegenverkehr eine Relevanz und ist entsprechend zu

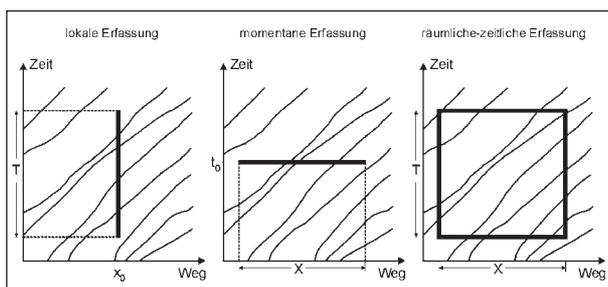
berücksichtigen (vgl. hierzu auch Kapitel 9.5.2). Die Gegenverkehrsstärken  $q_G$  entsprechen denen in Untersuchungsrichtung, d. h., es wurden symmetrische Querschnittsbelastungen zugrunde gelegt.

### 9.6 Auswertung der Simulationen

In der Simulation können prinzipiell alle relevanten verkehrlichen Kenngrößen – wie beispielsweise Verkehrsstärken, Geschwindigkeiten und Verkehrsdichten (lokal, momentan, räumlich-zeitlich) sowie auch Fahrtzeiten im Netz oder auf einzelnen Streckenabschnitten – ermittelt, archiviert und statistisch ausgewertet werden. Grundsätzlich ist auch die dreidimensionale Darstellung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Zeit und Ort mit Hilfe von Isolinen der Momentangeschwindigkeiten möglich (vgl. MAY et al., 1970; zitiert in SCHÜTTE/BOGENBERGER/ERNHOFER, 1999).<sup>57</sup>

Das maßgebende Kriterium des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen ist die mittlere Dichte  $k$  in der Dimension Pkw-E/(km x Ri), das Qualitätskriterium des Stadt-/Straßenbahnverkehrs die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{ÖV}$  in km/h (vgl. Kapitel 8.1.1 und 8.2.1). Die Auswertung erfolgte somit hinsichtlich dieser beiden Größen.

Da der Verkehrsablauf auf innerörtlichen Straßen in der Regel von Instationaritäten geprägt ist, ist zur Darstellung der benötigten q-k-Beziehungen (vgl. Konzept in Kapitel 2.3.1) eine räumlich-zeitliche Auswertung erforderlich (Bild 36). Hierdurch kann nach MARTIN (1979) die Problematik der unterschiedlichen Bezugsgrößen der Verkehrsstärke  $q$  (zeitbezogen) und der Dichte  $k$  (wegbezogen) umgangen werden. Bei der räumlich-zeitlichen Auswertung werden alle Fahrzeuge berücksichtigt, die sich während des Betrachtungszeitraums  $T$  in einem Abschnitt wenigstens teilweise aufhalten (vgl. BRILON, 1973). Dies sind die Fahrzeuge, die



**Bild 36:** Lokale, momentane und räumlich-zeitliche Erfassung des Verkehrsablaufs

während des Zeitraums  $T$  den Abschnitt vollständig durchfahren, die Fahrzeuge, die sich bereits im Abschnitt befinden und diesen während des Zeitraums  $T$  verlassen, und die Fahrzeuge, die während des Zeitraums  $T$  in den Abschnitt einfahren, aber diesen noch nicht verlassen haben.

Hier erfolgte eine getrennte Betrachtung der beiden Teilabschnitte (vgl. Bild 33 in Kapitel 9.3). Diese differenzierte Dichteermittlung begründet sich in der Notwendigkeit, die Auswirkungen punktueller Störeinflüsse wie links abbiegender Kraftfahrzeuge, haltender Stadt-/Straßenbahnen und Anforderungen bedarfsgesteuerter Fußgängerlichtsignalanlagen auf die Dichte  $k_T$  in einzelnen Teilabschnitten gesondert zu bewerten. Die räumlich-zeitliche Dichte  $k_T$  ist nach COERS (1970) allgemein definiert als (Gleichung 11)

$$k_T = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{L_T \cdot T} \text{ [Kfz/km]} \tag{Gl. 11}$$

mit

$k_T$  räumlich-zeitliche Dichte im Teilabschnitt [Kfz/km]

$t_i$  Zeit, die das Fahrzeug  $i$  in der betrachteten Weg-Zeit-Fläche (vgl. Bild 36) verbringt [Kfz x s]

$L_T$  Länge des betrachteten Teilabschnitts [km]

$T$  Betrachtungszeitraum [s]

und ist das Mittel aller unterschiedlichen Dichten  $k_i$ , gewichtet mit den Zeitintervallen  $\Delta T_i$ , innerhalb derer diese Dichten  $k_i$  konstant sind (Gleichung 12):

$$k_T = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \Delta T_i}{\sum_{i=1}^n \Delta T_i} \text{ [Kfz/km]} \tag{Gl. 12}$$

mit

$k_T$  räumlich-zeitliche Dichte im Teilabschnitt [Kfz/km]

$k_i$  Dichte innerhalb des Zeitintervalls  $\Delta T_i$  [Kfz/km]

$\Delta T_i$  Zeitintervall mit konstanter Dichte  $k_i$  [s]

<sup>57</sup> Diese Darstellungsform kann beispielsweise für Abschnitte gewählt werden, die von Lichtsignalanlagen unbeeinflusst sind.

Nach MARTIN (1979) kann  $k_T$  nach Gleichung 12 exakt bestimmt werden, wenn die Dichten  $k_i$  zu allen Zeitpunkten bekannt sind, an denen Dichtesprünge auftreten. Die Gewichtung erfolgt dabei durch die Länge der Zeitintervalle  $\Delta T_i$ , in denen die Dichten  $k_i$  konstant sind.

Die Ermittlung der mittleren – und hier richtungsbezogenen – Dichte  $k_T$  erfolgte im Rahmen der durchgeführten Simulationsuntersuchungen jedoch durch momentane Messungen in konstanten Zeitschritten. Dies begründete sich u. a. in einem deutlich geringeren Auswertumfang, bei gleichzeitig hinreichend genauen Ergebnissen. Gewählt wurde eine momentane Erfassung in Intervallen  $\tau$  von 0,33 s innerhalb eines festgelegten Bezugszeitraums von einer Stunde. Durch die Diskretisierung der Messintervalle  $\tau$  auf 0,33 s wird vermieden, dass eine Verzerrung der Dichtewerte eintritt.<sup>58</sup>

Aus den momentan erfassten Dichten  $k_m$  wurde dann – unter Berücksichtigung der Faktoren für die Umrechnung der unterschiedlichen Kraftfahrzeugarten (Pkw, Lkw und Last-/Sattelzüge) sowie der Stadt-/Straßenbahnen in Pkw-Einheiten nach dem HBS (2001/2005) bzw. den für Bahnen zugrunde gelegten Werten (vgl. Tabelle 1 in Kapitel 8.1.1) – mit Gleichung 13

$$k_T = \bar{k}_m = \frac{\sum_{m=1}^n k_m}{\frac{T}{\tau}} \quad [\text{Pkw-E}/(\text{km} \times \text{Ri})] \quad \text{Gl. 13}$$

mit

$k_T$  mittlere Dichte im Teilabschnitt [Pkw-E/(km x Ri)]

$\bar{k}_m$  Mittelwert der fortlaufend momentan erfassten Dichten  $k_m$  [Pkw-E/(km x Ri)]

$k_m$  momentan erfasste Dichte zum Zeitpunkt  $t_m$  [Pkw-E/(km x Ri)]

$T$  Betrachtungszeitraum [s]; hier:  $T = 3.600$  s (1 Stunde)

$\tau$  Messintervall [s]; hier:  $\tau = 0,33$  s

die jeweilige mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k$  in der Dimension Pkw-E/(km x Ri) ermittelt. Die mittlere momentane Dichte ist aufgrund der gewählten Randbedingungen bezüglich Abschnittslänge, Betrachtungszeitraum und Messintervall nahezu identisch mit der räumlich-zeitlichen Dichte (siehe Anhang 4). Die erzielten Ergebnisse sind somit als hinreichend genau anzusehen.

Die Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs in einem Streckenabschnitt der Länge  $L_S$  ergibt sich dann aus einer zusammenfassenden Bewertung der mittleren Dichten  $k_T$  der einzelnen Teilabschnitte zu einer Gesamtdichte  $k_S$  im Streckenabschnitt. Die Vorgehensweise hierzu ist in Kapitel 10.4.3 erläutert.

Die Ermittlung der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit der Stadt-/Straßenbahnen  $V_{\text{ÖV}}$  erfolgte, indem (ebenfalls getrennt für die beiden Teilabschnitte) die Beförderungszeit  $t_{\text{ÖV}}$ , d. h. die tatsächlich benötigte Zeit einschließlich aller Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\text{ÖV}}$  und sonstiger Zeitverluste im jeweiligen Teilabschnitt der Länge  $L_T$ , erfasst wurde. Auch die Qualität des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs in einem Streckenabschnitt ergibt sich aus einer anschließenden Gesamtbewertung (siehe hierzu Kapitel 10.5.3).

Zur statistischen Absicherung der Ergebnisse wurden für jeden Belastungsfall jeweils 10 Simulationsläufe durchgeführt. Diese Anzahl wurde anhand der vorliegenden Simulationsergebnisse von BAIER (2006) abgeleitet und ist als ausreichend anzusehen (siehe hierzu auch Anhang 4). Hiermit ist hinsichtlich der Mittelwertbildung für die Verkehrsdichte  $k_T$  selbst bei hohen Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  und überlagerten Störungen durch beispielsweise Einpark- oder Liefer-/Ladevorgänge mit einer 95%-igen Sicherheit eine Genauigkeit von 1 Pkw-E/(km x Ri) gewährleistet. Die Auswertungen zur Ermittlung der Dichte  $k_T$  sowie der Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  erfolgten mit spezifisch erstellten Softwaretools.

## 9.7 Erkenntnisse zum Verkehrsablauf aus den Simulationsuntersuchungen

Durch die Führung im Mischverkehr kommt es zu gegenseitigen Behinderungen von MIV und ÖPNV (vgl. auch Kapitel 5). Diesbezüglich sind Abschnitte mit und ohne Haltestellen differenziert zu betrach-

<sup>58</sup> Vor allem bei der Überlappung von Freigabezeiten  $t_F$  und Sperrzeiten  $t_S$  von Lichtsignalsteuerungen innerhalb eines Zeitintervalls  $\tau$  kann es zu Verzerrungen der tatsächlichen Werte kommen, die zu einer starken Mittelung der Messwerte führen (vgl. HÖFLER, 1994). Diesem Umstand wird durch die Wahl eines entsprechend kurzen Messintervalls  $\tau$  entgegengewirkt.

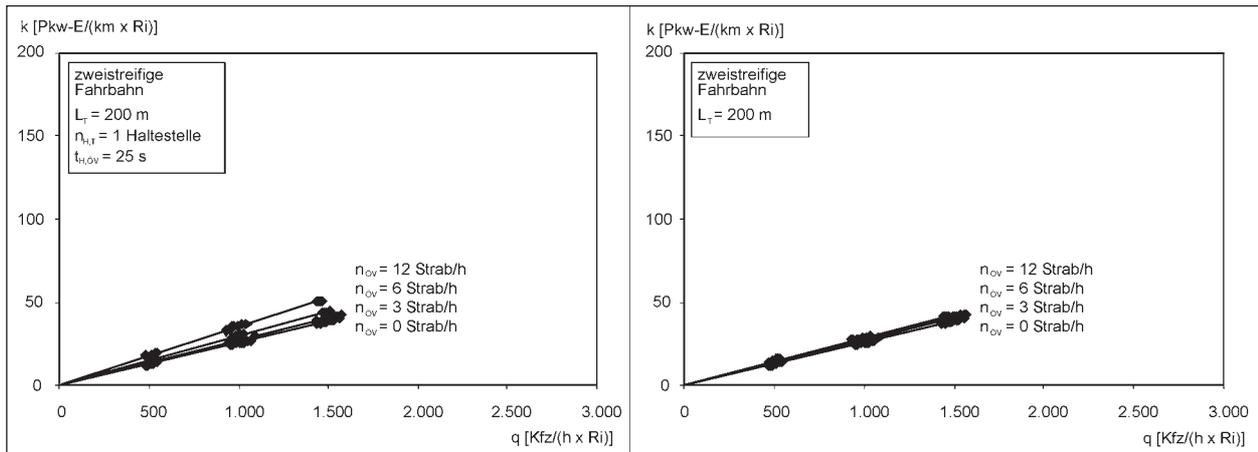
ten. Nachfolgend sind die Simulationsergebnisse zusammengefasst (Kapitel 9.7.1 bis 9.7.3) sowie die hieraus abgeleiteten Schlussfolgerungen für die Verfahren zur Bewertung des Kraftfahrzeug- bzw. Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs dargestellt (Kapitel 9.7.4). Die Einzelergebnisse aller Belastungsfälle sind in Anhang 4 dokumentiert.

**9.7.1 Grundsätzliche Auswirkungen der Mischverkehrs-führung auf den Kraftfahrzeugverkehr**

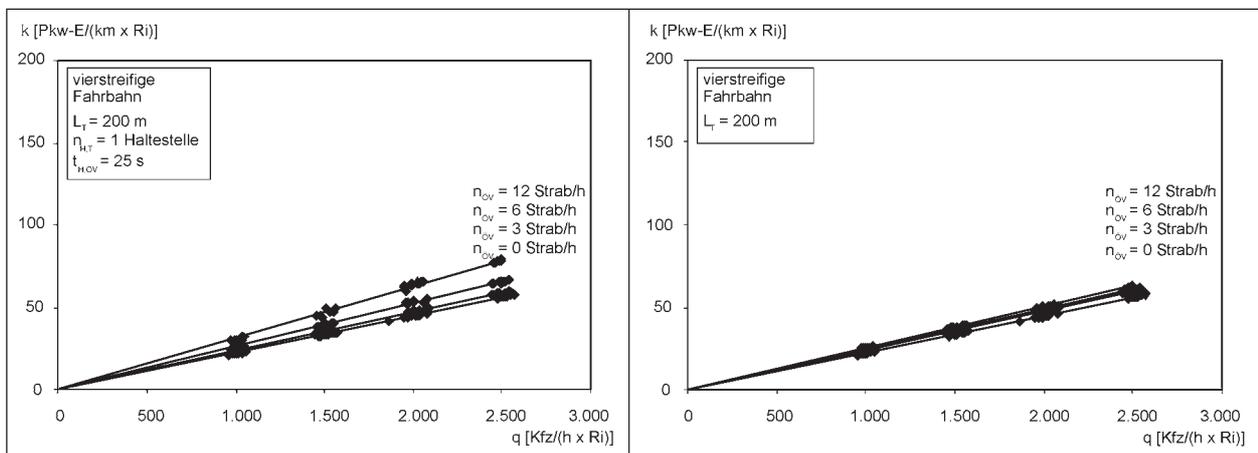
Die aus der gemeinsamen Führung resultierenden, durch die Stadt-/Straßenbahnen hervorgerufenen Störungen im Kraftfahrzeugverkehrsablauf führen – bei ansonsten ungestörtem Verkehrsablauf, d. h. keinen weiteren, sich aus der Erschließungsfunktion ergebenden Störeinflüssen (Einparkvorgänge, Liefer-/Ladevorgänge usw.) – insbesondere bei zunehmenden Verkehrsstärken  $q$  und gleichzeitig zu

nehmender Stadt-/Straßenbahnfrequenz zu höheren Verkehrsdichten  $k_T$  im Teilabschnitt. Deutlichere Dichteerhöhungen aufgrund einer zunehmenden Frequenz im ÖPNV sind dabei aber nur in Teilabschnitten festzustellen, in denen sich eine Haltestelle befindet, bei „freier“ Strecke resultieren die Dichtezunahmen fast ausschließlich aus den höheren Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  (siehe Bild 37 und Bild 38).

Auf Abschnitten ohne Haltestelle kommt es zwar selbst bei vierstreifigen Straßen zu Pulkbildungen hinter den Stadt-/Straßenbahnen, diese beschränken sich aber in ihrer zeitlichen Ausdehnung auf die Durchfahrtszeit der Bahn durch den Teilabschnitt  $t_{F,ÖV,T}$  (bei einer mittleren  $V_{ÖV,T}$  von etwa 32 km/h sind dies in einem Abschnitt der Länge  $L_T$  von 200 m knapp 23 s; siehe Kapitel 9.7.2). Deshalb wirken sich diese Pulkbildungen nur marginal auf die mittlere Dichte  $k_T$  während des Gesamtbetrachtungs-



**Bild 37:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k_T$  auf zweistreifigen Teilabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern und einer Länge  $L_T$  von 200 m mit bzw. ohne Haltestelle bei ungestörtem Verkehrsablauf (Belastungsfall Nr. 0)



**Bild 38:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k_T$  auf vierstreifigen Teilabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern und einer Länge  $L_T$  von 200 m mit bzw. ohne Haltestelle bei ungestörtem Verkehrsablauf (Belastungsfall Nr. 0)

zeitraums  $T$  von 1 Stunde (vgl. Gleichung 12) aus, zumal diese Pulks ausschließlich im fließenden Verkehr und mit entsprechenden Weglücken zwischen den einzelnen Kraftfahrzeugen auftreten.

Bei Stadt-/Straßenbahnhalten auf der Fahrbahn, hier bei vierstreifigen Straßen mit Zeitinseln lichtsignalgesteuert gesichert, kommt es zu Rückstauungen hinter den Bahnen mit deutlich geringeren Weglücken zwischen den einzelnen Kraftfahrzeugen, also einer höheren Dichte. Auch die zeitliche Ausdehnung dieser Dichtezustände ist hier länger: Die mittleren Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,\ddot{O}V}$  betragen 25 s, zuzüglich der Zeiten für die Verzögerung und Beschleunigung bei der Haltestellenanfahrt bzw. -abfahrt  $t_{H,\ddot{O}V,b}$  und  $t_{H,\ddot{O}V,a}$  von zusammen etwa 12 s (vgl. Kapitel 8.2.2) sind dies insgesamt 37 s. Hinzu kommt die Zeit für die Rückstauauflösung. Insgesamt führt dies zu entsprechenden Zunahmen der mittleren Verkehrsdichte  $k_T$  in Abhängigkeit der Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  und der Stadt-/Straßenbahnfrequenz (Anzahl der Stadt-/Straßenbahnen  $n_{\ddot{O}V}$ ).

### 9.7.2 Grundsätzliche Auswirkungen der Mischverkehrsführung auf den Stadt-/Straßenbahnverkehr

Auf den Stadt-/Straßenbahnverkehr hat die gemeinsame Führung mit den Kraftfahrzeugen bei einem ungestörten Verkehrsablauf ohne weitere Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion keine Auswirkungen. Dies resultiert aus der Tatsache, dass die Bahnen hier sowohl bei den zwei- als auch den vierstreifigen Straßen (Haltestellen mit Zeitinseln) stets als Pulkführer fungieren.

Die Beförderungsgeschwindigkeiten über den gesamten Streckenabschnitt  $V_{\ddot{O}V,S}$  liegen im Mittel unabhängig von der Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  bei rund 22 km/h (zweistreifige Streckenabschnitte) bzw. 24 km/h (vierstreifige Streckenabschnitte). Im haltestellenfreien Teilabschnitt betragen die mittleren Beförderungsgeschwindigkeiten  $V_{\ddot{O}V,T}$  in beiden Fällen etwa 32 km/h, was auf Zeitverluste aus der Beschleunigung bei der Abfahrt von der davor liegenden Haltestelle  $t_{H,\ddot{O}V,a}$  zurückzuführen ist. Ansonsten ist bei einem störungsfreien Ablauf von einer  $V_{\ddot{O}V,T}$  in Höhe der  $V_{zul}$  von 50 km/h (vgl. Kapitel 8.2.2) bzw. der festgesetzten Streckenhöchstgeschwindigkeit gemäß BOStrab auszugehen.

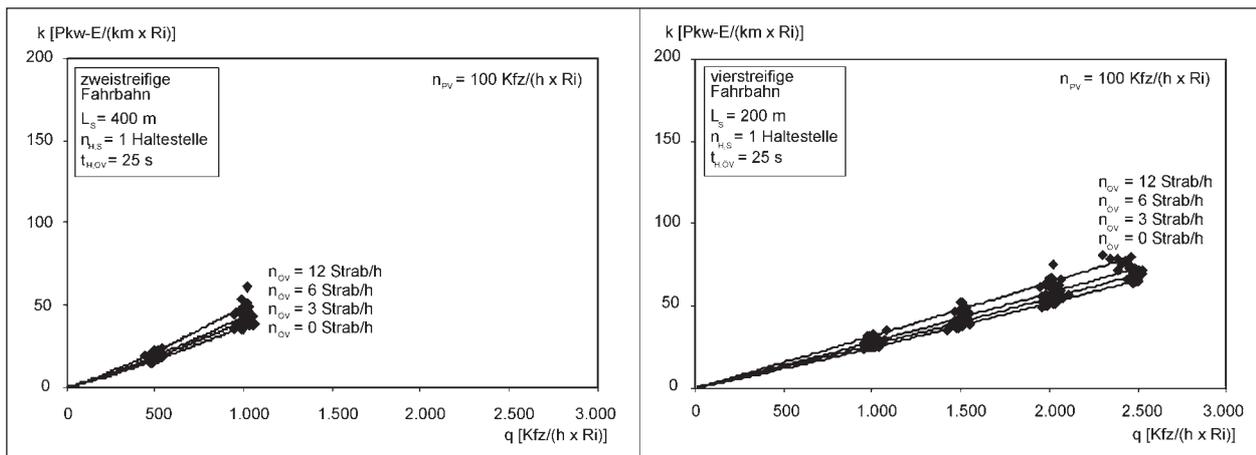
### 9.7.3 Auswirkungen von Störeinflüssen auf den MIV und den ÖPNV

Die zusätzliche Überlagerung mit weiteren Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion wirkt sich bei Strecken mit straßenbündigen Bahnkörpern teilweise erheblich auf den Verkehrsablauf aus, insbesondere bei zweistreifigen Straßen, aber auch bei vierstreifigen Streckenabschnitten. In einigen untersuchten Belastungsfällen (vgl. Tabelle 15 bzw. Tabelle 16 in Kapitel 9.5.3) wird die Kapazität des Streckenabschnitts  $C_S$  erreicht; hierauf wird in Kapitel 9.7.4 noch vertieft eingegangen.

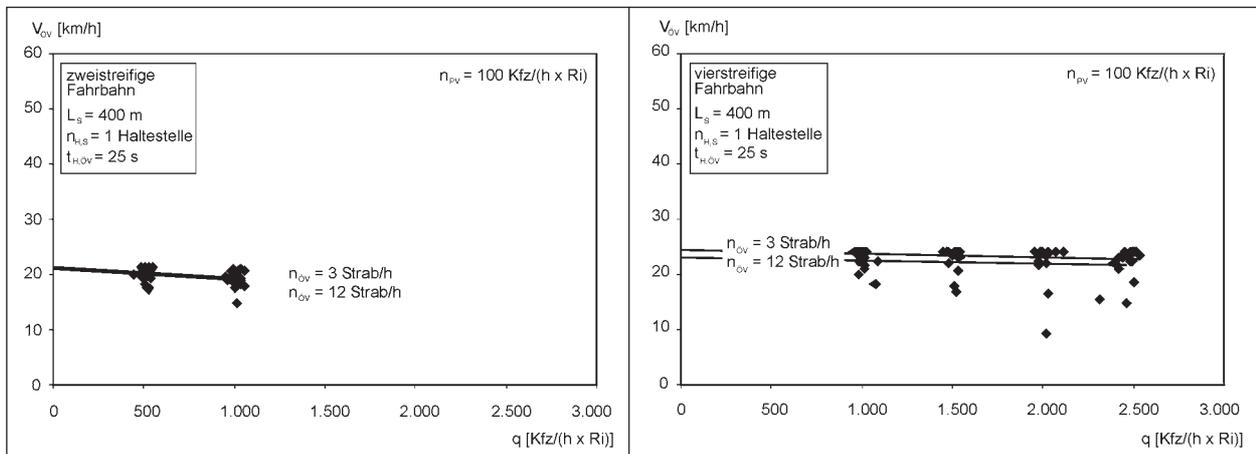
Durch links abbiegende Kraftfahrzeuge (Belastungsfälle 1 und 2) wird der Verkehrsablauf vor allem bei hohen Kraftfahrzeugverkehrsstärken beeinträchtigt. Mit zunehmendem Linksabbiegeranteil  $n'_{LA}$  wird hierbei an verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten mit nachgeordneten Straßen aufgrund der Gegenverkehrsstärke  $q_G$  (diese entspricht hier der Verkehrsstärke  $q_B$  in der untersuchten Fahrtrichtung; vgl. Kapitel 9.5.3) die Leistungsfähigkeit des Linksabbiegestroms überschritten und somit die Kapazität des Streckenabschnitts  $C_S$  auch bei vierstreifigen Straßen infolge Überstauung erreicht – mit entsprechend hohen Dichten  $k_T$  im betroffenen Teilabschnitt. Der Stadt-/Straßenbahnverkehr verstärkt diesen Effekt auch bei zunehmender Frequenz nicht, die Auswirkungen auf den ÖPNV und dessen Beförderungsgeschwindigkeit im Streckenabschnitt  $V_{\ddot{O}V,S}$  sind dagegen aufgrund der Spurgebundenheit der Bahn erheblich.

Die Störeinflüsse durch Einparkvorgänge (Belastungsfall 3) wirken sich erst bei zunehmenden Kraftfahrzeugverkehrsstärken und einer hohen Anzahl von Einparkvorgängen  $n_{PV}$ , und dann insbesondere bei höheren Stördauern  $t_{PV}$ , auf die Verkehrsdichte  $k_T$  in den betroffenen Teilabschnitten aus (vgl. auch BAIER, 2006). Der Stadt-/Straßenbahnverkehr verstärkt diesen Effekt mit zunehmender Frequenz (Bild 39).<sup>59</sup>

<sup>59</sup> In Bild 39 ist die Dichte im Streckenabschnitt  $k_S$  bei Störungen durch Einparkvorgänge – hier:  $n_{PV} = 100 \text{ Kfz}/(h \times Ri)$  – in Abhängigkeit der Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  und der Frequenz der Stadt-/Straßenbahn (Anzahl  $n_{\ddot{O}V}$ ) angegeben. Diese mittlere Dichte  $k_S$  wurde auf Basis der Dichten der einzelnen Teilabschnitte  $k_T$  ermittelt; die Vorgehensweise hierzu ist in Kapitel 10.4.3 erläutert. Durch den vorgenommenen Bezug auf den gesamten Streckenabschnitt der Länge  $L_T$  wird eine vergleichende Bewertung des Belastungsfalls für den MIV und den ÖPNV ermöglicht, da sich Letztere hier ebenfalls auf den gesamten Streckenabschnitt bezieht (siehe Bild 40).



**Bild 39:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k_S$  auf zwei- bzw. vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern und einer Länge  $L_S$  von 400 m bei Störungen durch Einparkvorgänge (Belastungsfall Nr. 3)



**Bild 40:** Mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\dot{O}V,S}$  auf zwei- bzw. vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern und einer Länge  $L_S$  von 400 m bei Störungen durch Einparkvorgänge (Belastungsfall Nr. 3)

Auf die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit der Stadt-/Straßenbahnen im Streckenabschnitt  $V_{\dot{O}V,S}$  wirken sich die Einparkvorgänge differenzierter aus (Bild 40). Bei zweistreifigen Straßen sind die Störungen bis zu einer Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  von 1.000 Kfz/(h x Ri) für den ÖPNV weitgehend unproblematisch, die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit im Streckenabschnitt  $V_{\dot{O}V,S}$  bleibt auf einem Niveau von etwa 20 km/h, auch wenn es hier schon zu Beeinflussungen im Fahrtablauf einzelner Bahnen kommt; bei höheren Verkehrsstärken  $q$  wird die Kapazität des Streckenabschnitts  $C_S$  erreicht (siehe hierzu auch Kapitel 9.7.4). Bei vierstreifigen Straßen sind die Auswirkungen durchweg geringer, die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\dot{O}V,S}$  liegt nahezu konstant um etwa 22 km/h bis 24 km/h, und zwar unabhängig von der Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  und der Frequenz der Stadt-/Straßenbahn (Anzahl  $n_{\dot{O}V}$ ); bei zunehmender Verkehrsstärke  $q$  und höherer Frequenz im ÖPNV

kommt es aber auch hier zu vermehrten Beeinflussungen im Fahrtablauf der Bahnen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es durchaus sinnvoll, wie bereits in Kapitel 8.2.1 angesprochen, die Standardabweichung  $\sigma_{V_{\dot{O}V}}$  als zusätzliches Qualitätskriterium für den ÖPNV bei Mischverkehrsstrecken heranzuziehen. Diese Möglichkeit wird im nachfolgenden Kapitel 9.7.4 diskutiert.

Der Störeinfluss aus Liefer-/Ladevorgängen (Belastungsfälle 4 bis 6) steigt mit zunehmender Verkehrsbelastung stark an, sodass bei zweistreifigen Straßen die Kapazität des Streckenabschnitts  $C_S$  erreicht wird, was sich dann auch entsprechend auf die  $V_{\dot{O}V,S}$  auswirkt. Aber auch bei vierstreifigen Straßen sind die Auswirkungen insbesondere bei häufigen Belegungen des rechten Fahrstreifens (hohe Anzahl von Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV}$ ) und zunehmender Stadt-/Straßenbahnfrequenz (Anzahl  $n_{\dot{O}V}$ ) deutlich, sowohl auf den Ablauf des Kraftfahr-

zeugverkehrs als auch des ÖPNV. Einen maßgeblichen Einfluss haben dabei die langen Stördauern der Liefer-/Ladevorgänge  $t_{LV}$  von im Mittel 5 Minuten (vgl. Kapitel 9.5.2 und 9.5.3).

Der Störeinfluss durch Anforderungen an signalisierten Fußgängerfurten (Belastungsfälle 7 und 8) auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf ist bei niedrigen Verkehrsstärken  $q$  aufgrund der koordinierten Lichtsignalsteuerung gering. Dieser nimmt jedoch bei höheren Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  und gleichzeitig zunehmender Stadt-/Straßenbahnfrequenz (Anzahl  $n_{\text{ÖV}}$ ) zu, d. h., die Dichte im betroffenen Teilabschnitt  $k_T$  steigt an. Auf den ÖPNV und dessen Beförderungsgeschwindigkeit im Streckenabschnitt  $V_{\text{ÖV,S}}$  wirken sich die Anforderungen signalisierter Fußgängerfurten dagegen weniger aus. Dies begründet sich in den (teilweise) zeitlichen Überlagerungen der Anforderungen mit den Stadt-/Straßenbahnhalten, sodass hierdurch keine bzw. nur geringfügige Zeitverluste für den ÖPNV entstehen.

#### 9.7.4 Schlussfolgerungen für die Qualitätsstufenkonzepte

Die in Kapitel 9.7.1 bis 9.7.3 zusammengefassten bzw. beispielhaft detaillierter dargestellten Zusammenhänge zum Kraftfahrzeug- und Stadt-/Straßenbahnverkehrsablauf bilden die Basis für die in Kapitel 10 dargestellten Qualitätsstufenkonzepte. Vorab sind jedoch noch verschiedene Aspekte zu überprüfen bzw. zu diskutieren. Diese betreffen

- die Grenzwerte der Verkehrsdichte  $k_T$  bzw.  $k_S$  zur Festlegung der Qualitätsstufen E und F (vgl. Kapitel 8.1.2),
- den Einfluss unterschiedlicher Abschnittslängen  $L_T$  bzw.  $L_S$  auf die Verkehrsdichte  $k_T$  bzw.  $k_S$  (vgl. Kapitel 9.5.3), aber auch auf die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV,T}}$  bzw.  $V_{\text{ÖV,S}}$ ,
- den Einfluss der Umlaufzeiten  $t_U$  auf die Verkehrsdichte  $k_T$  bzw.  $k_S$  (bei den hier durchgeführten Simulationen wurden ausschließlich  $t_U$  von 90 s zugrunde gelegt; vgl. Kapitel 9.3),
- die Auswirkungen unterschiedlicher Haltestellenformen (geregelt nach § 20 StVO vs. mit Zeitsinsel) in vierstreifigen Streckenabschnitten auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf (vgl. Kapitel 5) und
- die Möglichkeit, neben der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  deren Standardab-

weichung  $\sigma_{V,\text{ÖV}}$  als zusätzliches Qualitätskriterium für den Ablauf der Stadt-/Straßenbahnen auf Mischverkehrsstrecken heranzuziehen (vgl. Kapitel 9.7.3).

Die Stufe E steht für die Obergrenze des Leistungsvermögens einer Straße (BRILON/WEISER, 2004). Dabei treten ständige gegenseitige Behinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern auf, deren Bewegungsfreiheit dann nur in sehr geringem Umfang gegeben ist. Der Verkehr bewegt sich somit im Bereich zwischen Stabilität und Instabilität, die Kapazität  $C$  wird erreicht. Die Kapazität eines Streckenabschnitts  $C_S$  bestimmt sich aus der maximalen Verkehrsstärke  $q$ , die diesen in einem bestimmten Zeitintervall unter gegebenen Bedingungen passieren kann. Dabei ist zwischen der maximalen theoretischen Kapazität, die nur unter idealen Bedingungen erreicht wird, und der praktischen Kapazität, die sich unter den jeweils vorherrschenden Bedingungen einstellt, zu unterscheiden.

Aufgrund der auftretenden Überlagerungen von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion kommt in Hauptverkehrsstraßen vor allem der praktischen Kapazität eine entsprechende Bedeutung zu.<sup>60</sup> Diese ist stark von Störeinflüssen innerhalb des betrachteten Abschnitts abhängig (vgl. HARDER, 1967, oder HÖFLER, 1994) und verändert sich deshalb auch in Abhängigkeit der vorherrschenden Verkehrsbedingungen. Außerhalb der Spitzenverkehrszeiten kann die praktische Kapazität deutlich geringer sein, da in diesen Zeiträumen vermehrt Erschließungsvorgänge wie Liefern/Laden usw. auftreten, die zu Behinderungen des fließenden Verkehrs und somit zu einer Einschränkung der Kapazität führen. Letztendlich entscheidend ist, so auch AHN (1987), aber nicht die Tageszeit an sich, sondern die jeweils auftretenden Einflussgrößen auf den Verkehrsablauf.

Die praktische Leistungsfähigkeit von Hauptverkehrsstraßen lässt sich demnach eigentlich nicht nur durch jeweils einen Wert für einen bestimmten Fahrbahnquerschnitt definieren. Dennoch erscheint es nicht zielführend, auf der Basis einer Vielzahl von möglichen praktischen Kapazitäten die Grenze für die Qualitätsstufe E abzuleiten, da diese dann nicht konstant, sondern variabel – abhängig vom jeweils vorherrschenden Verkehrszustand – wäre,

<sup>60</sup> Zur Definition der praktischen Kapazität siehe z. B. auch KORTE/MÄCKE/LEUTZBACH (1956) oder ENGEL (1959).

dessen Qualität ja bewertet werden soll. Deshalb ist es erforderlich, für jeden relevanten Fahrbahnquerschnitt jeweils einen Verkehrsdichtewert  $k_T$  bzw.  $k_S$  als feste Obergrenze der Stufe E zu bestimmen, unterhalb derer dann eine Qualitätsabstufung für Verkehrszustände mit geringerer Auslastung möglich ist.

Vor diesem Hintergrund erscheint es grundsätzlich richtig, die Qualitätsstufe E aus den maximal möglichen bzw. den höchsten auftretenden Werten der mittleren richtungsbezogenen Dichte  $k$  zu bestimmen. BAIER (2006) hat hierzu zwei theoretische Ansätze überprüft (u. a. Festlegung auf 85 % der maximalen Dichte  $k_{max}$ ), da diese aber nicht einer gewissen Willkür entbehren, wurden für die Grenzen der Stufe E (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 8.1.2) die Simulationsergebnisse derjenigen Belastungsfälle herangezogen, bei denen die Kapazität eines Teilabschnitts  $C_T$  erreicht wurde. Zur Überprüfung dieser Grenzwerte für Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern wird hier analog verfahren.

Die Kapazitäten  $C_T$  zweistreifiger Teilabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern und Frequenzen  $n_{\text{OV}}$  von 3 Strab/(h x Ri), 6 Strab/(h x Ri) bzw. 12 Strab/(h x Ri) sowie die dabei auftretenden mittleren Verkehrsdichten  $k_T$  bei unterschiedlichen Belastungsfällen sind in Tabelle 17 angegeben. Es sind drei Zustände zu unterscheiden:

1. Bei Störeinflüssen durch Linksabbieger  $n'_{LA,S}$  (Belastungsfälle 1 und 2) sowie einem hohen Aufkommen von Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV,S}$  von 10 Kfz/(h x Ri) bzw. 15 Kfz/(h x Ri) entsprechend den Belastungsfällen 5 und 6 (bezogen auf die Streckenabschnittslänge  $L_S$  von 400 m) bricht der Verkehr zusammen, was zu hohen, länger andauernden Dichtezuständen führt und sich entsprechend auf die mittleren Dichten  $k_T$  auswirkt; diese liegen zwischen 86 Pkw-E/(km x Ri) und 107 Pkw-E/(km x Ri).
2. Bei Einflüssen mit geringeren Stördauern bzw. -häufigkeiten wie Einparkvorgängen  $n_{PV,S}$  von 100 Kfz/(h x Ri) oder Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV,S}$  von 5 Kfz/(h x Ri), jeweils bezogen auf die Streckenabschnittslänge  $L_S$  von 400 m (Belastungsfälle 3 und 4), sind die auftretenden hohen Dichtezustände deutlich kürzer; die mittleren Dichten  $k_T$  liegen zwischen 44 Pkw-E/(km x Ri) und 73 Pkw-E/(km x Ri).
3. Bei Bedarfsanforderungen von Fußgängerfurten  $n'_{FG,S}$  von 1 Anf./3 U bzw. 2 Anf./3 U (Belastungsfälle 7 und 8) wird die Kapazität  $C_T$  nur bei der Überlagerung mit einer Anzahl  $n_{\text{OV}}$  von 12 Strab/(h x Ri) erreicht; hier sind die auftretenden hohen Dichtezustände ebenfalls deutlich kürzer, die mittleren Dichten  $k_T$  liegen bei 58 Pkw-E/(km x Ri) bzw. 64 Pkw-E/(km x Ri).

Nr.	$q_B$ [Kfz/(h x Ri)]	$n_{\text{OV}}$ [Strab/(h x Ri)]	$C_T$ [Kfz/(h x Ri)]	$k_T$ [Pkw-E/ (km x Ri)]
1	1.500	3	1.130 *	86
1	1.500	6	1.060 *	89
1	1.500	12	1.000 *	90
2	1.500	3	820 *	107
2	1.500	6	850 *	103
2	1.500	12	730 *	107
3	1.500	3	1.320	49
3	1.500	6	1.270	48
3	1.500	12	1.230	44
4	1.500	3	1.090 *	67
4	1.000	6	960 *	67
4	1.000	12	930 *	73
5	1.000	3	720 *	94
5	1.000	6	680 *	97
5	1.000	12	620 *	99
6	1.000	3	580 *	90
6	1.000	6	560 *	89
6	1.000	12	510 *	92
7	1.500	12	1.420	58
8	1.500	12	1.380	64

\*  $C_T$  u. a. abhängig von Gegenverkehrsstärke  $q_G$   
(hier:  $q_G = q_B$ )

**Tab. 17:** Kapazitäten  $C_T$  zweistreifiger Teilabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern und dabei auftretende mittlere Verkehrsdichten  $k_T$  bei unterschiedlichen Belastungsfällen

tungsfälle 7 und 8) wird die Kapazität  $C_T$  nur bei der Überlagerung mit einer Anzahl  $n_{\text{OV}}$  von 12 Strab/(h x Ri) erreicht; hier sind die auftretenden hohen Dichtezustände ebenfalls deutlich kürzer, die mittleren Dichten  $k_T$  liegen bei 58 Pkw-E/(km x Ri) bzw. 64 Pkw-E/(km x Ri).

Vierstreifige Teilabschnitte sind gesondert zu betrachten. Tabelle 18 enthält deren Kapazitäten  $C_T$  für Frequenzen mit  $n_{\text{OV}}$  von 3 Strab/(h x Ri), 6 Strab/(h x Ri) bzw. 12 Strab/(h x Ri) sowie die dabei auftretenden mittleren Dichten  $k_T$ . Hier sind zwei Zustände zu unterscheiden:

1. Bei Störeinflüssen durch Linksabbieger  $n'_{LA,S}$  (Belastungsfälle 1 und 2) bricht der Verkehr zusammen, was zu hohen, länger andauernden Dichtezuständen führt; die mittleren Verkehrsdichten  $k_T$  liegen zwischen 189 Pkw-E/(km x Ri) und 228 Pkw-E/(km x Ri).

Nr.	$q_B$ [Kfz/(h x Ri)]	$n_{\text{öV}}$ [Strab/(h x Ri)]	$C_T$ [Kfz/(h x Ri)]	$k_T$ [Pkw-E/ (km x Ri)]
1	2.000	3	1.550 *	208
1	2.000	6	1.530 *	197
1	2.000	12	1.450 *	189
2	2.000	3	870 *	228
2	2.000	6	850 *	219
2	2.000	12	770 *	215
4	2.500	3	2.340	86
4	2.500	6	2.340	89
4	2.500	12	2.280	97
5	2.500	3	2.250	104
5	2.500	6	2.150	97
5	2.500	12	2.130	107
6	2.500	3	2.080	112
6	2.500	6	2.010	119
6	2.000	12	1.840	160

\*  $C_T$  u. a. abhängig von Gegenverkehrsstärke  $q_G$   
(hier:  $q_G = q_B$ )

**Tab. 18:** Kapazitäten  $C_T$  vierstreifiger Teilabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern und dabei auftretende mittlere Verkehrsdichten  $k_T$  bei unterschiedlichen Belastungsfällen

2. Bei Störeinflüssen durch Liefer- und Ladevorgänge  $n_{LV,S}$  von 5 Kfz/(h x Ri), 10 Kfz/(h x Ri) sowie 15 Kfz/(h x Ri), jeweils bezogen auf den gesamten Streckenabschnitt der Länge  $L_S$  von 400 m (Belastungsfälle 4 bis 6), sind die auftretenden hohen Dichtezustände deutlich kürzer und die sich ergebenden mittleren Verkehrsdichten  $k_T$  mit 86 Pkw-E/(km x Ri) bis zu 160 Pkw-E/(km x Ri) deutlich geringer.

Die mittleren Verkehrsdichten  $k_T$  bei Erreichen der Kapazität  $C_T$  weisen somit ein relativ breites Spektrum auf. Z. T. liegen diese in einem Bereich, der nach Tabelle 2 (vgl. Kapitel 8.1.2) mindestens noch in die Qualitätsstufe D einzuordnen ist. Diese verhältnismäßig geringen Verkehrsdichten  $k_T$  resultieren beispielsweise bei Störeinflüssen durch Liefer- und Ladevorgänge  $n_{LV,S}$  in vierstreifigen Abschnitten aus „ungenutzten“ Freiräumen zwischen den auf dem rechten Richtungsfahstreifen haltenden Fahrzeugen. Die in diesen Fällen erreichten Kapazitäten  $C_T$  liegen in Größenordnungen von über 1.200 Kfz/(h x Ri) bei zweistreifigen Abschnitten (z. B. Belastungsfälle 3, 7 und 8; vgl. Tabelle 17) bzw. über 2.000 Kfz/(h x Ri) bei vierstreifigen Abschnitten (Belastungsfälle 4 bis 6; vgl. Tabelle 18) – der-

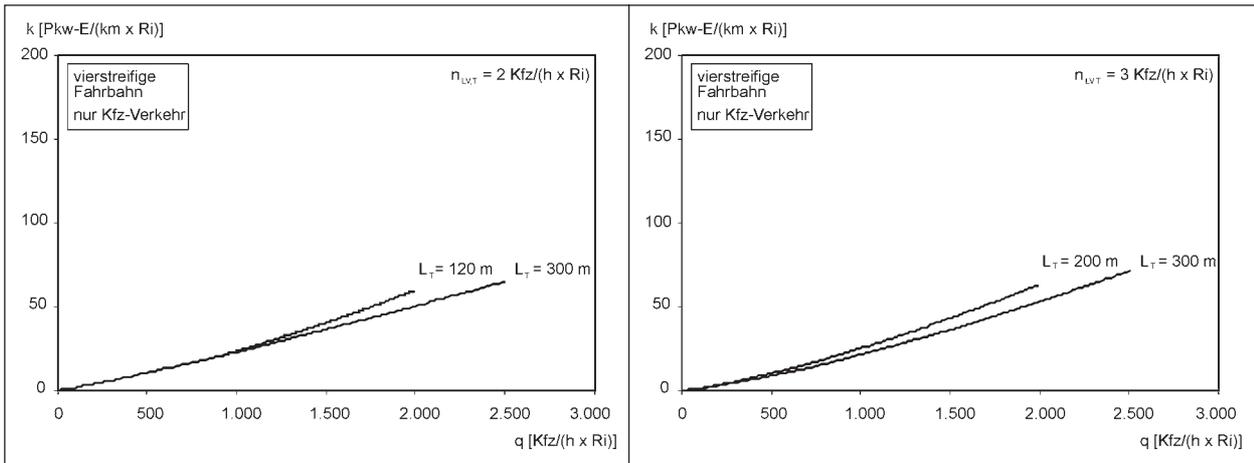
artige Kraftfahrzeugverkehrsbelastungen treten in entsprechenden Hauptverkehrsstraßen jedoch nur selten auf (vgl. hierzu auch Kapitel 9.5.1).

Da in zweistreifigen Teilabschnitten mittlere Dichten  $k_T$  von mehr als 50 Pkw-E/(km x Ri) auch unterhalb der Kapazität  $C_T$  auftreten (siehe hierzu auch BAIER et al., 2003), erscheint es sinnvoll und richtig, den Grenzwert der Verkehrsdichte  $k_T$  für die Stufe E höher anzusetzen. Deshalb wird an dem bisherigen Wert der Dichten  $k_T$  bzw.  $k_S$  von 100 Pkw-E/(km x Ri) festgehalten (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 8.1.2). Dieser liegt in der Größenordnung der mittleren Verkehrsdichte  $k_T$ , die auf Strecken mit straßenbündigen Bahnkörpern bei Kapazitäten  $C_T$  unter 1.000 Kfz/(h x Ri) erreicht werden (vgl. Tabelle 17). Für vierstreifige Hauptverkehrsstraßen wird ebenfalls an dem bisherigen Grenzwert für die Stufe E mit einer mittleren Dichte  $k_T$  bzw.  $k_S$  von 180 Pkw-E/(km x Ri) festgehalten (vgl. auch hier Tabelle 2 in Kapitel 8.1.2). Mit den genannten Grenzen der Stufe E ist dann auch jeweils die Qualitätsstufe F eindeutig definiert.

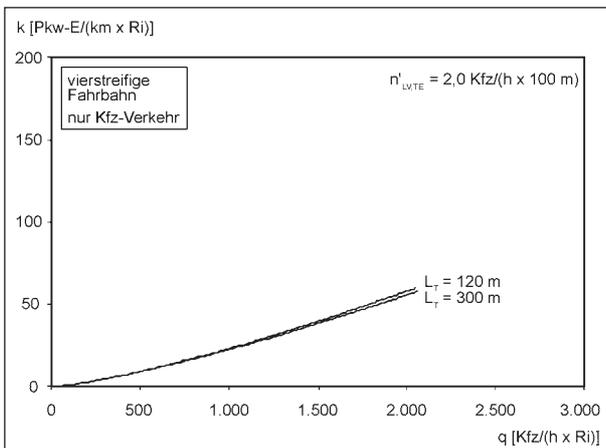
Neben den Verkehrsstärken  $q$  und den verschiedenen Störeinflüssen ist auch der Einfluss der Teilabschnittslänge  $L_T$  auf die Dichte  $k_T$ , die sich bei unterschiedlichen Belastungszuständen durch die Überlagerung der Nutzungsansprüche aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion (vgl. Kapitel 9.5.3) ergibt, zu betrachten. Diese Betrachtung kann aufgrund der bisher vorliegenden Ergebnisse zunächst nur für vierstreifige, ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahrene Straßen erfolgen, da hierzu die Simulationsergebnisse von BAIER (2006) hinzugezogen werden können.

Zunächst wurde geprüft, wie sich in Teilabschnitten unterschiedlicher Längen  $L_T$  die gleiche absolute Anzahl von Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV,T}$  auswirkt. Betrachtet wurden Liefer- und Ladevorgänge  $n_{LV,T}$  von 2 Kfz/(h x Ri) und 3 Kfz/(h x Ri) auf Längen  $L_T$  von 120 m und 300 m bzw. 200 m und 300 m.<sup>61</sup> In Tabelle 19 sind die zugehörigen nutzbaren Längen  $L_{TE}$  sowie die sich hieraus jeweils ergebende relative Anzahl  $n'_{LV,TE}$  angegeben.

<sup>61</sup> Die Betrachtung einer Teilabschnittslänge  $L_T$  von 120 m konnte erfolgen, da bei den Simulationen im Abschnitt mit der Stadt-/Straßenbahnhaltestelle (vgl. Bild 33 in Kapitel 9.3) eine Zeitinsel angeordnet war und hierzu programmtechnisch bedingt der 200 m lange Abschnitt geteilt werden musste; der sich hieraus ergebende haltestellenfreie Teilabschnitt ist 120 m lang.



**Bild 41:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichten  $k_T$  auf vierstreifigen Teilabschnitten unterschiedlicher Länge  $L_T$  bei jeweils gleicher absoluter Anzahl von Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV,T}$



**Bild 42:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichten  $k_T$  auf vierstreifigen Teilabschnitten unterschiedlicher Länge  $L_T$  bei gleicher relativer Anzahl von Liefer-/Ladevorgängen  $n'_{LV,TE}$

$n_{LV,T}$ [Kfz/(h x Ri)]	$L_T$ [m]	$L_{TE}$ [m]	$n'_{LV,TE}$ [Kfz/(h x 100 m)]
2	120	100	2,0
2	300	250	0,8
3	200	150	2,0
3	300	250	1,2

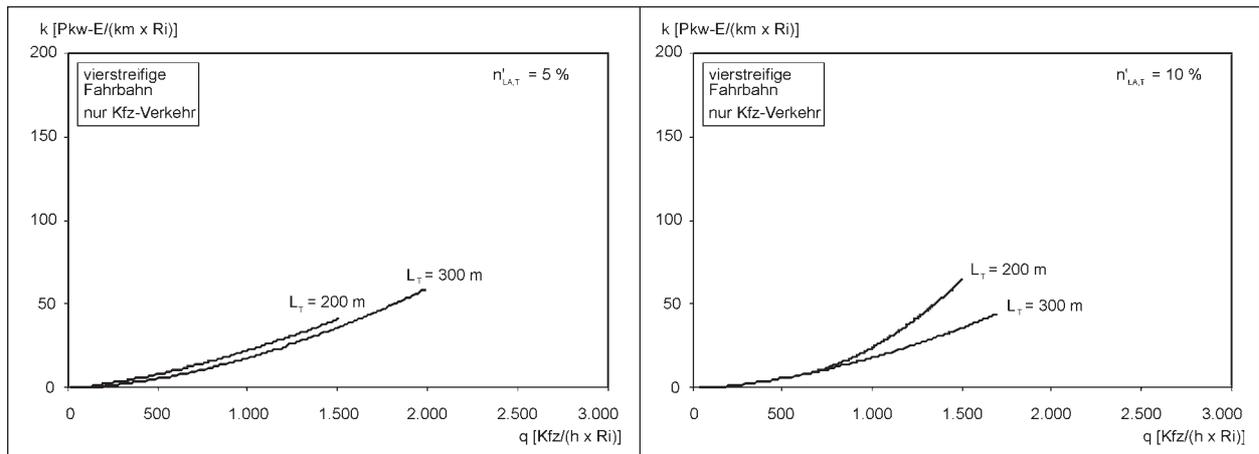
**Tab. 19:** Kennwerte der Liefer- und Ladevorgänge  $n_{LV,T}$  und  $n'_{LV,TE}$  der betrachteten Teilabschnitte mit unterschiedlichen Längen  $L_T$  und  $L_{TE}$

Es zeigt sich, dass die gleiche absolute Anzahl von Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV,T}$  bei gleichen Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  in kürzeren Teilabschnitten zu höheren mittleren Dichten  $k_T$  führen (Bild 41). Dies begründet sich in der bei kürzeren Längen  $L_T$  bzw.  $L_{TE}$  höheren „Störungsdichte“ (vgl. auch relative Anzahl  $n'_{LV,TE}$  in Tabelle 19). Bei gleicher „Störungsdichte“  $n'_{LV,TE}$  ist die sich ergebende Dichte  $k_T$  dagegen unabhängig von der Länge des Teilabschnitts  $L_T$  (Bild 42).

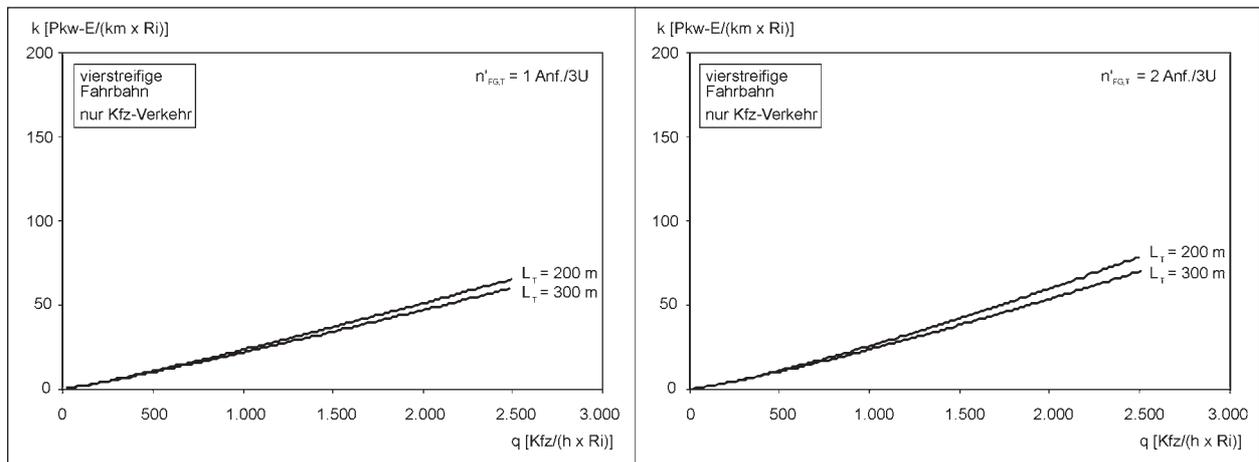
Neben diesen Betrachtungen zu den Auswirkungen längenbezogener Störeinflüsse, wie dies Liefer- und Ladevorgänge sind, wurde des Weiteren untersucht, inwieweit sich punktuelle Störungen in Teilabschnitten unterschiedlicher Längen  $L_T$  auf die Dichte  $k_T$  auswirken. Betrachtet wurden Linksabbiegeranteile  $n'_{LA,T}$  von 5 % und 10 % (Bild 43) sowie Bedarfsanforderungen an Fußgängerfur-

ten  $n'_{FG,T}$  von 1 Anf./3 U und 2 Anf./3 U (Bild 44). Auch hier führen die Störungen bei gleichen Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  in kürzeren Teilabschnitten zu höheren mittleren Verkehrsdichten  $k_T$ , diese sind jedoch unterschiedlich ausgeprägt. Bei Störungen durch Linksabbieger  $n'_{LA,T}$  ist der Einfluss der Teilabschnittslänge  $L_T$  deutlicher, da es hier zu entsprechenden Rückstauungen auf dem linken Fahrstreifen kommt, die bei einer kürzeren Teilabschnittslänge  $L_T$  zu entsprechend höheren Dichten  $k_T$  führen.

Diese Betrachtungen beziehen sich auf ausschließlich vom Kraftfahrzeugverkehr befahrene Straßen. Für Streckenabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern wurden deshalb in Teil 2 des Forschungsvorhabens Untersuchungen zu den Auswirkungen unterschiedlicher Abschnittslängen  $L_S$  auf die Verkehrsdichte  $k_S$  durchgeführt (vgl. LANK et al., 2008). In Bild 45 sind beispielhaft die mittleren Dichten  $k_S$  auf vierstreifigen Streckenabschnitten im Zuge der Grafenberger Allee in Düsseldorf mit unterschiedlichen Längen  $L_S$  und jeweils einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle bei einer Frequenz  $n_{OV}$  von



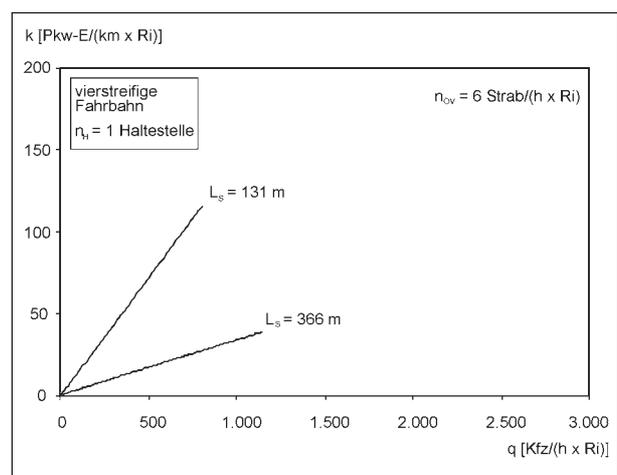
**Bild 43:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichten  $k_T$  auf vierstreifigen Teilabschnitten unterschiedlicher Länge  $L_T$  bei jeweils gleichem Linksabbiegeranteil  $n'_{LA,T}$



**Bild 44:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichten  $k_T$  auf vierstreifigen Teilabschnitten unterschiedlicher Länge  $L_T$  bei jeweils gleicher Anforderungshäufigkeit bedarfsgesteuerter Fußgängerfurten  $n'_{FG,T}$

6 Strab/(h x Ri) dargestellt.<sup>62</sup> Auch hier zeigt sich deutlich der Einfluss der Abschnittslänge  $L_S$ .

Vor diesem Hintergrund ist für die Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs in Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen eine Bildung von Teilabschnitten erforderlich. Des Weiteren erscheint die Vorgabe einer Mindestlänge  $L_{T,min}$  für Teilabschnitte sinnvoll; diese sollte grundsätzlich 100 m betragen. Bei Abschnitten mit einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle sollte die  $L_{T,min}$  auf 200 m festgelegt werden. Die Abschnittsbildung ist in Kapitel 10.3.2 beschrieben, die Bewertung einzelner Teilabschnitte in Kapitel 10.4.2 und die zusammenfas-



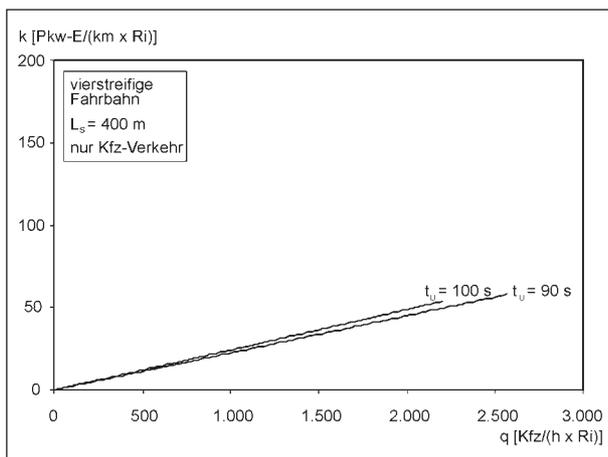
**Bild 45:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichten  $k_S$  auf vierstreifigen Streckenabschnitten unterschiedlicher Länge  $L_S$  im Zuge der Grafenberger Allee in Düsseldorf bei jeweils gleicher Anzahl von Stadt-/Straßenbahnhalten  $n_{OV,H}$

<sup>62</sup> Die in Bild 45 dargestellten Verkehrsdichten  $k_S$  im Streckenabschnitt wurden von LANK et al. (2008) auf Basis der Dichten  $k_T$  einzelner Teilabschnitte mit dem in Kapitel 10.4.3 beschriebenen Ansatz ermittelt.

sende Beurteilung der Verkehrsqualität auf einem Streckenabschnitt in Kapitel 10.4.3 erläutert.

Für die Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs ist ebenfalls eine Betrachtung einzelner Teilabschnitte erforderlich. Auch hier hat – ausgenommen den Fall eines störungsfreien Abschnitts ohne Haltestelle – die Länge der betrachteten Strecke einen Einfluss auf die Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$ . Ist eine Haltestelle vorhanden, wirkt sich die Länge des Teilabschnitts  $L_T$  maßgeblich auf die erreichbare  $V_{\text{ÖV}}$  aus. Die Vorgehensweise zur Bewertung einzelner Teilabschnitte ist in Kapitel 10.5.2 und die zusammenfassende Beurteilung für einen Streckenabschnitt in Kapitel 10.5.3 erläutert.

Der Einfluss der Umlaufzeit  $t_U$  auf die Verkehrsdichte in Streckenabschnitten  $k_S$  konnte nur bei-

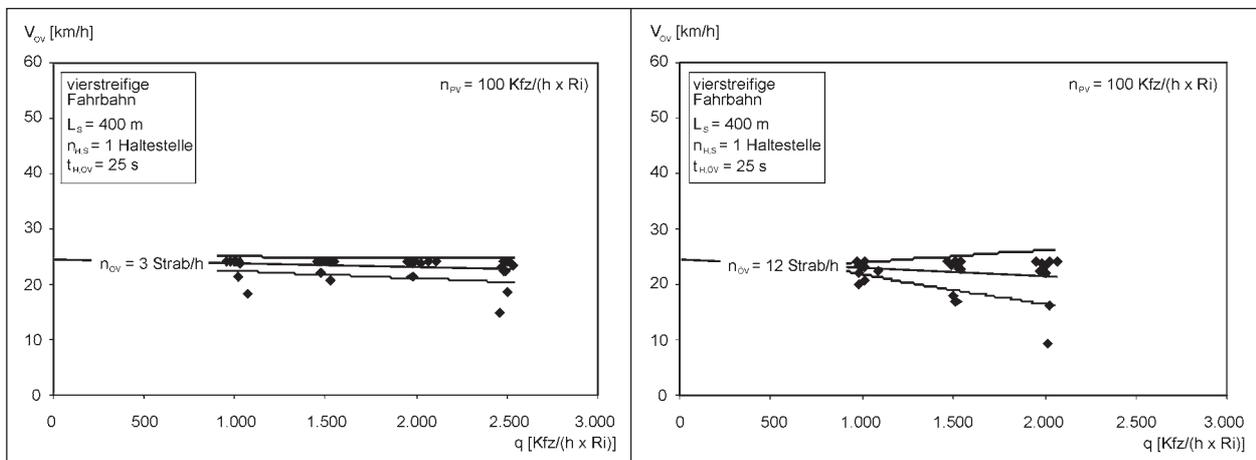


**Bild 46:** Mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k_S$  auf vierstreifigen Streckenabschnitten gleicher Länge  $L_S$  bei unterschiedlichen Umlaufzeiten  $t_U$

spielhaft für vierstreifige Abschnitte mit einer Länge  $L_S$  von 400 m untersucht werden. Hierzu wurden die Simulationsergebnisse aus Teil 2 des Forschungsvorhabens zum Verkehrsablauf auf der Detmolder Straße in Bielefeld herangezogen, in deren Zuge zwei entsprechend lange haltestellenfreie Streckenabschnitte zwischen Lichtsignalanlagen mit einer Umlaufzeit  $t_U$  von 100 s liegen (siehe LANK et al., 2008). In Bild 46 sind die dort ermittelten Dichten  $k_S$  den hier erzielten Ergebnissen bei einer Umlaufzeit  $t_U$  von 90 s gegenübergestellt.

Es ist kein maßgeblicher Einfluss der Umlaufzeit  $t_U$  erkennbar. Insofern werden die diesbezüglichen Ergebnisse von MARTIN (1979) bestätigt, der ebenfalls festgestellt hat, dass der Einfluss der Umlaufzeit  $t_U$  auf die Verkehrsdichte  $k$  sehr gering ist. Tendenziell ist die Dichte  $k_S$  aber bei einer längeren Umlaufzeit  $t_U$  (und ansonsten gleichen Randbedingungen) etwas höher (vgl. Bild 46). Im Umkehrschluss ist deshalb davon auszugehen, dass bei kürzeren Umlaufzeiten  $t_U$  die Verkehrsdichte  $k_S$  im Streckenabschnitt tendenziell geringer ist. Dieser vermutete Effekt lässt sich mit den vorliegenden Simulationsergebnissen jedoch nicht überprüfen. Hierzu besteht noch Untersuchungsbedarf (siehe auch Kapitel 11.3.2).

Zu den Auswirkungen unterschiedlicher Formen von Stadt-/Straßenbahnhaltestellen in vierstreifigen Streckenabschnitten – also einerseits Haltestellen, die nach § 20 StVO geregelt sind, und andererseits solche mit Zeitinsel – auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf sind auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen ebenfalls nur allgemeingültige Aussagen ableitbar. Bei Haltestellen, die nach § 20



**Bild 47:** Mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV,S}}$  und deren Standardabweichung  $\sigma_{V_{\text{ÖV}}}$  auf vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern und einer Länge  $L_S$  von 400 m bei Störungen durch Einparkvorgänge (Belastungsfall Nr. 3)

StVO geregelt sind, können die nachfolgenden Kraftfahrzeuge z. T. bereits während des Haltestellenaufenthalts der Bahn vorbeifahren, bei Zeitinseln erfolgt in der Regel erst nach Ende der Haltedauer der Bahn eine Freigabe (vgl. auch Kapitel 5). Infolgedessen sind die Zeitverluste für Kraftfahrzeuge an Haltestellen mit StVO-Regelung bei gleicher Haltestellenaufenthaltszeit  $t_{H,\ddot{O}V}$  gegenüber Haltestellen mit Zeitinseln in den meisten Fällen geringer (vgl. Kapitel 8.1.1). Dies führt zu einer schnelleren „Entzerrung“ bzw. Auflösung der Rückstauungen hinter haltenden Stadt-/Straßenbahnen und somit zu tendenziell geringeren mittleren Dichten  $k_T$  in den betroffenen Teilabschnitten. Auch hierzu besteht noch Untersuchungsbedarf (siehe ebenfalls Kapitel 11.3.2).

Der Stadt-/Straßenbahnenverkehrsablauf wird bei der Führung im Mischverkehr durch Störungen wie z. B. Einparkvorgänge insbesondere bei zunehmenden Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  und höheren Bahnfrequenzen  $n_{\ddot{O}V}$  insbesondere auf zweistreifigen Strecken erheblich beeinflusst. Aber selbst auf vierstreifigen Streckenabschnitten nimmt dann die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\ddot{O}V}$  tendenziell ab, vor allem kommt es aber zu vermehrten Beeinflussungen im Fahrtablauf der Bahnen. In Bild 47 sind beispielhaft die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\ddot{O}V}$  und deren Standardabweichung  $\sigma_{V,\ddot{O}V}$  auf vierstreifigen Strecken bei Störungen durch Einparkvorgänge für Stadt-/Straßenbahnfrequenzen  $n_{\ddot{O}V}$  von 3 Strab/(h x Ri) und 12 Strab/(h x Ri) dargestellt.

Vor diesem Hintergrund erscheint es durchaus sinnvoll, neben der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\ddot{O}V}$  zusätzlich deren Standardabweichung  $\sigma_{V,\ddot{O}V}$  als Qualitätskriterium heranzuziehen (vgl. auch Kapitel 9.7.2). Die vorliegenden Simulationsergebnisse sind jedoch nicht ausreichend, um das bisherige Qualitätsstufenkonzept der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\ddot{O}V}$  bzw. des darauf basierenden Geschwindigkeitsindex  $I_{\ddot{O}V}$  (vgl. Kapitel 8.2.2) diesbezüglich konkret zu erweitern. In diesem Zusammenhang besteht noch Untersuchungsbedarf (siehe Kapitel 11.3.3).

## 10 Darstellung der Qualitätsstufenkonzepte

Nachfolgend sind die Verfahren zur Bewertung der Qualität des Kraftfahrzeug- und des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten

mit straßenbündigen Bahnkörpern dargestellt. Diese basieren auf den in Kapitel 9.7 zusammengefassten Ergebnissen der hier durchgeführten Simulationsuntersuchungen, ergänzt um zusätzliche Erkenntnisse aus Teil 2 des Forschungsvorhabens (vgl. LANK et al., 2008). Die dargestellten Zusammenhänge dienen als Grundlage für die HBS-Fortschreibung.

### 10.1 Anwendungsbereich und Einsatzgrenzen

Die Qualitätsstufenkonzepte dienen als Grundlage für den Nachweis, dass auf einem Streckenabschnitt mit straßenbündigen Bahnkörpern zum einen die zu erwartende Kraftfahrzeugverkehrsbelastung und zum anderen der Stadt-/Straßenbahnverkehr mit der jeweils angestrebten Verkehrsqualität abgewickelt werden kann. Sie gelten für angebaute Hauptverkehrsstraßen der Kategoriengruppe HS mit den Verbindungsfunktions-Stufen III und IV gemäß den RIN (2008).

Die Verfahren sind für Streckenabschnitte anzuwenden, die keinen wesentlichen Einflüssen (z. B. Verlustzeiten, Rückstauerscheinungen) durch Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen unterliegen. Anschlussknotenpunkte von Erschließungsstraßen an die betrachtete Hauptverkehrsstraße sind, unabhängig von ihrer Verkehrsregelung und -steuerung, Bestandteil des Streckenabschnitts. Dies begründet sich wie folgt (vgl. Kapitel 2.1): Die Knotenpunkte mit dem nachgeordneten Straßennetz dienen der Erschließung der angrenzenden Gebiete, d. h., die dort ab- und einbiegenden Verkehre resultieren aus der Erschließungsfunktion der Hauptverkehrsstraße. Diese und die sich hieraus gegebenenfalls ergebenden Störeinflüsse auf den Verkehrsablauf sind dem Streckenabschnitt zuzuordnen. Die Betrachtung der Anschlussknotenpunkte als Bestandteil des Streckenabschnitts erübrigt jedoch nicht deren gesonderte Bewertung; dies gilt insbesondere im Hinblick auf den Verkehrsablauf der nachgeordneten Ströme.<sup>63</sup>

<sup>63</sup> Hierfür sind die Verfahren des HBS (2001/2005; Kapitel 6 „Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage“ bzw. Kapitel 7 „Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage“) anzuwenden. Bei Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage bietet sich zur Berücksichtigung des nicht-motorisierten Verkehrs auch die Anwendung des Konfliktmatrixverfahrens von MILTNER (2003) an, das aktuell von MAIER et al. (2008) weiterentwickelt wird.

Diese Abschnitte sind – unter der Voraussetzung gleich bleibender städtebaulicher und verkehrlicher Funktion im Straßennetz sowie gleich bleibender Anzahl durchgehender Fahrstreifen für den Kraftfahrzeugverkehr – als homogen anzusehen. Streckenabschnitte mit wechselnden Eigenschaften, z. B. hinsichtlich der Verkehrsbelastung, werden in Teilabschnitte eingeteilt (siehe Kapitel 10.3.2).

Die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an den Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen erfolgt gesondert nach den Verfahren des HBS (2001/2005).<sup>64</sup> Für die übergreifende Bewertung der Verkehrs- sowie der Verbindungsqualität eines Hauptverkehrsstraßenzugs als Folge von Streckenabschnitten und Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen wurden im Teil 2 des Forschungsvorhabens (vgl. LANK et al., 2008) entsprechende Verfahren entwickelt.

## 10.2 Einflussgrößen und Bewertungsgrundlagen

Der Streckenentwurf für den Umbau einer Hauptverkehrsstraße ergibt sich aus den vorangehenden Stufen des Planungsprozesses. Die Wahl bzw. Dimensionierung des Fahrbahnquerschnitts (Anzahl und Breite der Fahrstreifen) im Streckenabschnitt sollte den Grundsätzen und Vorgaben der RAST (2006) entsprechen. Bei Lichtsignalanlagen an im Streckenabschnitt befindlichen Knotenpunkten mit dem Erschließungsstraßennetz und an signalisierten Fußgängerfurten sind zusätzlich die Grundsätze und Vorgaben der RiLSA (2007)<sup>65</sup> zu berücksichtigen.

### 10.2.1 Linienführung

Die Kurvigkeit hat auf innerörtlichen Strecken keinen relevanten Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufs und wird daher nicht berücksichtigt. Die Verfahren sind für Streckenabschnitte mit einer Längsneigung  $s \leq 5\%$  gültig.

### 10.2.2 Fahrbahnquerschnitt

Es werden grundsätzlich die empfohlenen Querschnitte nach den RAST (Ausgabe 2006) vorausgesetzt. Für Streckenabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern sind dies die in Bild 7 (vgl. Kapitel 4.1) und Bild 8 (vgl. Kapitel 4.2) dargestellten Fahrbahnquerschnitte. Geringfügige Abweichungen von den dort gemachten Vorgaben der Fahrstreifenbreiten wirken sich nicht wesentlich auf den Verkehrsablauf aus.

### 10.2.3 Steuerungsbedingungen

Die Verfahren gelten für Abschnitte mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit  $V_{zul}$  von 50 km/h. Bei einer niedrigeren oder einer höheren  $V_{zul}$  können sich einzelne Störeinflüsse stärker bzw. schwächer auswirken. Hierzu liegen bislang nur wenige, teilweise widersprüchliche Erkenntnisse vor, beispielsweise von SCHLEICHER-JESTER (1996) und RETZKO/KORDA (1999). Diese sind deshalb nicht ausreichend, um hieraus konkrete Aussagen für die Bewertungsverfahren abzuleiten.

Die in Kapitel 10.4.2 bzw. Kapitel 10.5.2 dargestellten Zusammenhänge wurden für eine Umlaufzeit  $t_U$  von 90 s ermittelt, gelten aber jeweils für Umlaufzeiten  $t_U$  zwischen 60 s und 120 s. Im Hinblick auf die Verkehrsdichten  $k_T$  in Teilabschnitten ist bei kürzeren Umlaufzeiten  $t_U$  als 90 s von tendenziell etwas geringeren Dichten  $k_T$ , bei längeren Umlaufzeiten  $t_U$  als 90 s von tendenziell leicht höheren Dichten  $k_T$  auszugehen.

### 10.2.4 Bemessungsverkehrszustände

Der Verkehrsablauf in einem Streckenabschnitt wird von dem maßgebenden Bemessungsverkehrszustand bestimmt, der sich aus der Überlagerung der Nutzungsansprüche aus der Verbindungsfunktion – ausgedrückt einerseits durch die Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  mit deren Zusammensetzung (Schwerverkehrsanteil  $b_{SV}$ ), andererseits durch den Takt im ÖPNV – und der Nutzungsansprüche der Erschließungsfunktion der Hauptverkehrsstraße ergibt. Voraussetzung ist somit die Kenntnis der Tagesganglinie der Verkehrsstärke  $q$  und der Tagesganglinien der einzelnen Erschließungsvorgänge.

Die Ermittlung der Verkehrsqualität sollte im Normalfall nach einem Stundenraster erfolgen, d. h., sich auf diejenigen Stunden eines Normalwerktags

<sup>64</sup> Siehe dort Kapitel 6 (Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage) bzw. Kapitel 7 (Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage).

<sup>65</sup> Die RiLSA liegen im Entwurf mit Stand vom 20. März 2007 vor und sollen zukünftig die derzeit noch gültigen RiLSA (Ausgabe 1992 und Teilfortschreibung 2003) ersetzen.

beziehen, für die sich aus der Kombination einzelner Einflussfaktoren die ungünstigsten Belastungszustände ergeben. Diese liegen nicht zwangsläufig in den Zeiten maximaler Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  oder in den Zeiten des höchsten Aufkommens einzelner Erschließungsvorgänge.

Bei Hauptverkehrsstraßen wird die Verkehrsstärke pro Fahrtrichtung als maßgebliche Größe für die Verkehrsnachfrage aus der Verbindungsfunktion betrachtet. Deshalb sind für beide Fahrtrichtungen getrennt die Angabe der Belastung aller Kraftfahrzeuge in der Einheit  $\text{Kfz}/(\text{h} \times \text{Ri})$  sowie die Angabe des Schwerverkehrsanteils  $b_{SV}$  in % erforderlich. Der Schwerverkehr hat jedoch auf innerörtlichen Strecken keinen relevanten Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufs. Die Qualitätsstufenkonzepte berücksichtigen vor diesem Hintergrund pauschal einen Schwerverkehrsanteil  $b_{SV}$  von bis zu 10 %.

Die Nutzungsansprüche aus der Erschließungsfunktion sind definiert durch Art, Anzahl und Dauer von Störeinflüssen auf den fließenden Verkehr. Relevante Erschließungsvorgänge mit potenziellem Einfluss sowohl auf den MIV als auch den ÖPNV (im Mischverkehr) sind:

- Linksabbiegevorgänge an Anschlussknotenpunkten und/oder höher frequentierten Grundstückszufahrten bzw. der Anteil der Linksabbieger  $n'_{LA}$  bezogen auf die richtungsbezogene Verkehrsstärke  $q$ ,

- Einparkvorgänge bzw. deren Anzahl  $n_{PV}$  und Dauer  $t_{PV}$ ,
- Halte- und Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn bzw. deren Anzahl  $n_{LV}$  und  $n_{HV}$  sowie Dauern  $t_{LV}$  und  $t_{HV}$ ,
- Bedarfsanforderungen signalisierter Fußgängerfurten  $n_{FG}$  bzw.  $n'_{FG}$ .

Diese sind im Hinblick auf eine eventuelle Teilabschnittsbildung (siehe Kapitel 10.3.2) räumlich zu differenzieren.

Für den Kraftfahrzeugverkehr sind auf Mischverkehrsstrecken darüber hinaus Störungen aus Bus- und/oder Stadt-/Straßenbahnhalten auf der Fahrbahn, die ebenfalls aus der Erschließungsfunktion resultieren, gegeben. Ebenso hat der fließende Stadt-/Straßenbahnverkehr in Abschnitten mit straßenbündigen, vom Kraftfahrzeugverkehr mitbenutzten Bahnkörpern entsprechende Auswirkungen auf den Ablauf des MIV und umgekehrt.

### 10.3 Festlegung von Streckenabschnitten

Die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs erfolgt in den vorliegenden Verfahren grundsätzlich für beide Fahrtrichtungen getrennt (eine querschnittsbezogene Gesamtbeurteilung ist nicht vorgesehen). Hierzu ist es erforderlich, richtungsgetrennte Streckenabschnitte festzulegen.

QSV	Beschreibung
A	Kraftfahrer im fließenden Verkehr werden äußerst selten von anderen Verkehrsteilnehmern beeinflusst. Störeinflüsse auf den fließenden Kraftfahrzeugverkehr aus der Erschließungsfunktion sind ebenfalls nicht festzustellen. Die Kraftfahrer besitzen die gewünschte Bewegungsfreiheit in dem Umfang, wie sie auf der Fahrbahn zugelassen ist. Der Verkehrsfluss ist frei. Die Verkehrsqualität für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr ist sehr gut.
B	Die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer, sei es im fließenden Verkehr oder als Störeinfluss aus der Erschließungsfunktion, macht sich bemerkbar, bewirkt aber eine nur geringe Beeinträchtigung des einzelnen Kraftfahrers. Der Verkehrsfluss ist nahezu frei. Die Verkehrsqualität für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr ist gut.
C	Die individuelle Bewegungsmöglichkeit des einzelnen Kraftfahrers hängt in erhöhtem Maße vom Verhalten der übrigen Fahrzeugführer im fließenden Verkehr und von den Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion ab. Die Bewegungsfreiheit ist spürbar eingeschränkt. Der Verkehrszustand ist stabil. Die Verkehrsqualität für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr ist befriedigend.
D	Der Verkehrsablauf im fließenden Kraftfahrzeugverkehr ist gekennzeichnet durch hohe Verkehrsstärken und erhebliche Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion, die zu deutlichen Beeinträchtigungen in der Bewegungsfreiheit führen. Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern finden nahezu ständig statt. Der Verkehrszustand ist noch stabil. Die Verkehrsqualität für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr ist ausreichend.
E	Es treten ständig gegenseitige Behinderungen zwischen Kraftfahrern im fließenden Verkehr und anderen im Streckenabschnitt befindlichen Verkehrsteilnehmern auf. Bewegungsfreiheit ist nur in sehr geringem Umfang gegeben. Geringfügige Verschlechterungen der Einflussgrößen, sei es der Verkehrsdichte im fließenden Kraftfahrzeugverkehr, sei es der Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion, können zum Zusammenbruch des Verkehrsflusses führen. Der Verkehr bewegt sich im Bereich zwischen Stabilität und Instabilität. Die Kapazitätsgrenze der Verkehrsanlage wird erreicht. Die Verkehrsqualität für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr ist mangelhaft.
F	Die Nachfrage ist größer als die Kapazität, die Verkehrsanlage ist überlastet.

Tab. 20: Beschreibung der Qualitätsstufen des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen

### 10.3.1 Ermittlung der Einflussbereiche von Knotenpunkten

Zur Festlegung dieser Abschnitte sind die Einflussbereiche der Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen  $L_{KE}$  zu bestimmen. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 7.2 beschrieben.

Die Mindestlänge eines Streckenabschnitts  $L_S$  beträgt 100 m. Bei Strecken mit straßenbündigen Bahnkörpern und einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle sollte die Streckenabschnittslänge  $L_S$  mindestens 200 m betragen (siehe hierzu auch Kapitel 10.3.2). In einem Streckenabschnitt muss die Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen für den Kraftfahrzeugverkehr konstant sein.

### 10.3.2 Bildung von Teilabschnitten

Bei wechselnden Bemessungsverkehrszuständen innerhalb eines Streckenabschnitts werden Teilabschnitte gebildet. Jeder Teilabschnitt soll eine Länge  $L_T$  von mindestens 100 m, bei Abschnitten mit einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle auf straßenbündigen Bahnkörpern eine Länge  $L_T$  von wenigstens 200 m haben.

Für jeden Teilabschnitt sind die Bewertungen des Verkehrsablaufs nach Kapitel 10.4.2 bzw. Kapitel 10.5.2 durchzuführen. Eine zusammenfassende Beurteilung eines Streckenabschnitts über mehrere Teilabschnitte ergibt sich dann nach Kapitel 10.4.3 bzw. Kapitel 10.5.3.

## 10.4 Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs

Der Verkehrsablauf auf Hauptverkehrsstraßen ist in der Regel von Instationaritäten geprägt. Diese resultieren aus der Überlagerung der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion.

### 10.4.1 Qualitätskriterium und Qualitätsstufen

Wesentliches Kriterium zur Beschreibung der Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen ist die mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichte  $k_S$  im Streckenabschnitt in der Einheit Pkw-E/(km x Ri). Diese kennzeichnet die Bewegungsfreiheit der Kraftfahrer im Rahmen der rechtlichen, örtlichen und verkehrlichen Randbedingungen.

Zur Einteilung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs von A bis F gelten die nach Fahrbahnquer-

schnitten differenzierten Grenzwerte der Verkehrsdichte  $k_T$  bzw.  $k_S$  nach Tabelle 2 in Kapitel 8.1.2. Eine allgemeine verbale Beschreibung der den einzelnen Qualitätsstufen zugeordneten Verkehrszustände ist in Tabelle 20 gegeben.

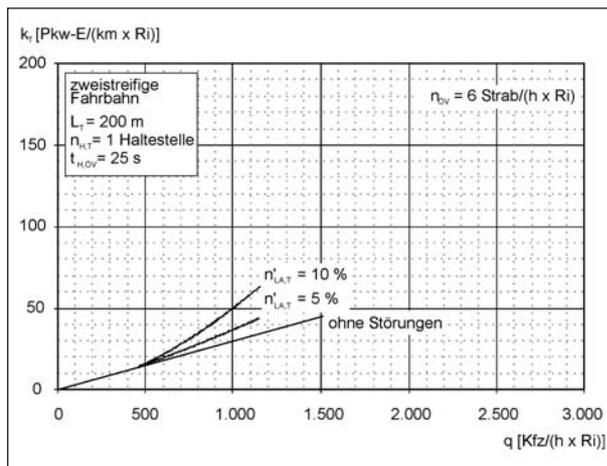
### 10.4.2 Bewertung einzelner Teilabschnitte

Die Ermittlung der Verkehrsdichte  $k_T$  auf einem Teilabschnitt der Länge  $L_T$  erfolgt mit Hilfe von q-k-Beziehungen, die ebenfalls nach Fahrbahnquerschnitten differenziert sind. Diese beschreiben die Dichte  $k_T$  für charakteristische Bemessungsverkehrszustände, die sich aus der Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion ergeben. Eingangsgröße ist die fahrtrichtungsbezogene Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  in Kfz/(h x Ri), für die sich dann in Abhängigkeit unterschiedlicher Erschließungsvorgänge die Dichte  $k_T$  in Pkw-E/(km x Ri) und damit die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs ermitteln lassen.

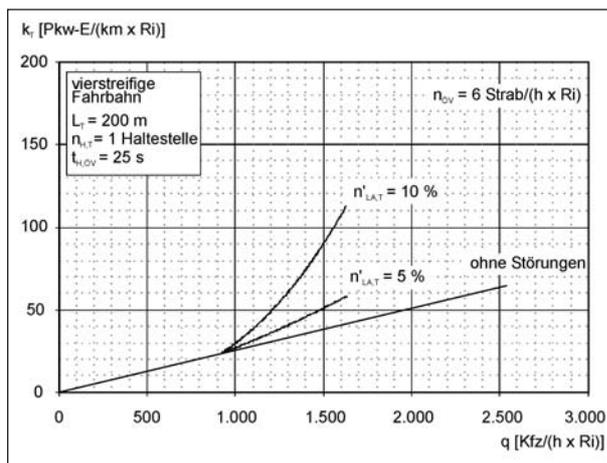
In den Bildern 48 und 49 sind für einen zwei- und einen vierstreifigen Teilabschnitt mit einer Länge  $L_T$  von jeweils 200 m und einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle beispielhaft die q-k-Beziehungen bei einer Bahnfrequenz  $n_{OV}$  von 6 Strab/(h x Ri) für einen ansonsten störungsfreien Verkehrsablauf sowie bei Störungen durch Linksabbieger mit Anteilen  $n'_{LA,T}$  von 5 % und 10 % an der richtungsbezogenen Verkehrsstärke  $q$  dargestellt. Weitere Diagramme mit entsprechenden q-k-Beziehungen für andere Störeinflüsse enthält Anhang 5.

In einzelnen Fällen wird die Kapazität des Teilabschnitts  $C_T$  erreicht. Dabei kann die Dichte  $k_T$  durchaus unterhalb des Grenzwerts der Stufe E (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 8.1.2) liegen bzw. sie steigt dann sprunghaft an. Diese Übergänge im Bereich vom stabilen zum instabilen Verkehrszustand sind in den Diagrammen aufgrund noch fehlender Kenntnisse über den Anstieg der Verkehrsdichte  $k_T$  in diesem Bereich bislang nur angedeutet (vgl. Bild 48 und Bild 49).

Auch gelten die dargestellten Zusammenhänge grundsätzlich nur für symmetrische Querschnittsbelastungen, d. h., die Gegenverkehrsstärken  $q_G$  entsprechen den Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$ , der jeweiligen Untersuchungsrichtung. Dies ist vor allem bei Störungen durch links abbiegende Kraftfahrzeuge  $n'_{LA,T}$  sowie bei zweistreifigen Abschnitten bei Störungen durch haltende Kraftfahrzeuge  $n_{HV,T}$  bzw. Liefer- und Ladevorgänge auf der Fahrbahn  $n_{LV,T}$  relevant.



**Bild 48:** q-k-Beziehungen für zweistreifige Teilabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern und einer Länge  $L_T$  von 200 m sowie einer Haltestelle bei einer Frequenz  $n_{OV}$  von 6 Strab/(h x Ri) und Störungen durch Linksabbieger mit Anteilen  $n'_{LA,T}$  von 5 % und 10 %



**Bild 49:** q-k-Beziehungen für vierstreifige Teilabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern und einer Länge  $L_T$  von 200 m sowie einer Haltestelle bei einer Frequenz  $n_{OV}$  von 6 Strab/(h x Ri) und Störungen durch Linksabbieger mit Anteilen  $n'_{LA,T}$  von 5 % und 10 %

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass bei der Anlage zusätzlicher Abbiegestreifen der Einfluss von Linksabbiegevorgängen  $n'_{LA,T}$  in der Regel vernachlässigt werden kann. Bei Einparkvorgängen  $n_{PV,T}$  ist vorausgesetzt, dass diese nur für Längsparkstände gelten. Schräg- und Senkrechtparkstände werden nicht berücksichtigt.

Bei Abweichungen der im Bewertungsfall vorhandenen Größen der Erschließungsvorgänge von den in den dargestellten q-k-Beziehungen (siehe Bild 48 bzw. Bild 49 sowie Anhang 5) enthaltenen Größen ist die Verkehrsdichte  $k_T$  aus den vorgegeben q-k-Beziehungen sinnvoll durch Inter- bzw. Extrapolation abzuleiten. Eine Addition der aus einzelnen Er-

schließungsvorgängen resultierenden Verkehrsdichten  $k_T$  ist nicht möglich.

### 10.4.3 Zusammenfassende Beurteilung des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt

Zur Bestimmung der Qualität des Verkehrsablaufs für einen Streckenabschnitt der Länge  $L_S$ , der sich aus mehreren Teilabschnitten  $i$  der Längen  $L_{T,i}$  zusammensetzt, ist aus den Einzeldichten  $k_{T,i}$  mit Gleichung 14 die mittlere Dichte  $k_S$  zu berechnen:

$$k_S = \frac{\sum_{i=1}^n k_{T,i} \cdot L_{T,i}}{L_S} \quad [\text{Pkw-E}/(\text{km} \times \text{Ri})] \quad \text{Gl. 14}$$

mit

$k_S$  mittlere Dichte auf dem Streckenabschnitt [Pkw-E/(km x Ri)]

$k_{T,i}$  mittlere Dichte im Teilabschnitt  $i$  [Pkw-E/(km x Ri)]

$L_{T,i}$  Länge des Teilabschnitts  $i$  [m]

$L_S$  Länge des Streckenabschnitts [m]

Die Ermittlung der Verkehrsqualitätsstufe für den Streckenabschnitt erfolgt anhand der Angaben in Tabelle 2 (vgl. Kapitel 8.1.2). Wurde für einen der Teilabschnitte die Qualitätsstufe F ermittelt, so gilt diese für den gesamten Streckenabschnitt.

## 10.5 Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs

Der Ablauf der Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr wird durch den fließenden Kraftfahrzeugverkehr sowie durch Erschließungsvorgänge auf der Strecke beeinflusst. Eine geeignete Maßnahme, um Behinderungen durch z. B. abbiegende Kraftfahrzeuge zu unterbinden, ist die zeitliche Trennung der Verkehrsarten durch eine dynamische Straßenraumfreigabe.

### 10.5.1 Qualitätskriterium und Qualitätsstufen

Das Kriterium für die Qualität des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt ist die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{OV,S}$ . Maßgeblichen Einfluss auf die  $V_{OV,S}$  haben neben den fahrplanmäßigen Haltestellenaufenthaltszeiten  $t_{H,OV}$  und den dabei entstehenden Zeitverlusten bei

QSV	Beschreibung
A	Die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit ist sehr hoch. Die Stadt-/Straßenbahnen werden in keiner Weise vom Kraftfahrzeugverkehr beeinflusst. Es besteht ein freier Verkehrsfluss. Die Verkehrsqualität für den ÖPNV ist sehr gut.
B	Die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit ist hoch. Die Anwesenheit des Kraftfahrzeugverkehrs macht sich bemerkbar, bewirkt aber keine direkte Beeinträchtigung der Stadt-/Straßenbahnen. Der Verkehrsfluss ist nahezu frei. Die Verkehrsqualität für den ÖPNV ist gut.
C	Die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit ist noch zufrieden stellend. Die individuelle Bewegungsmöglichkeit einzelner Stadt-/Straßenbahnen hängt vielfach vom Verhalten der übrigen Verkehrsteilnehmer ab. Der Verkehrszustand ist stabil. Die Verkehrsqualität für den ÖPNV ist befriedigend.
D	Die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit ist niedrig. Der Verkehrsablauf im Streckenabschnitt ist gekennzeichnet durch hohe Belastungen, die zu deutlichen Behinderungen führen. Der Verkehrszustand ist noch stabil. Die Verkehrsqualität für den ÖPNV ist ausreichend.
E	Die Beförderungsgeschwindigkeit ist sehr niedrig. Es treten ständig gegenseitige Behinderungen zwischen den Stadt-/Straßenbahnen und dem Kraftfahrzeugverkehr auf. Bewegungsfreiheit ist nur in sehr geringem Umfang gegeben. Der Verkehr bewegt sich im Bereich zwischen Stabilität und Instabilität. Die Kapazitätsgrenze der Verkehrsanlage wird erreicht. Die Verkehrsqualität für den ÖPNV ist mangelhaft.
F	Die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit ist extrem niedrig. Die Nachfrage ist größer als die Kapazität, die Verkehrsanlage ist überlastet.

**Tab. 21:** Beschreibung der Qualitätsstufen des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs im Mischverkehr auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen

der Haltestellenanfahrt/-abfahrt  $t_{H,\dot{O}V,b}$  bzw.  $t_{H,\dot{O}V,a}$  auch eventuelle Wartezeiten  $t_W$  an Anschlussknotenpunkten sowie Störeinflüsse auf der Strecke, die sich u. a. aus dem fließenden und ruhenden Kraftfahrzeugverkehr ergeben können.

Die Bewertung erfolgt mit dem Beförderungsgeschwindigkeitsindex  $I_{\dot{O}V}$ , der sich mit Gleichung 10 aus der erreichbaren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\dot{O}V,S}$  und der (jeweils spezifisch zu bestimmenden) angepassten idealen Beförderungsgeschwindigkeit  $V'_{\dot{O}V,ideal,S}$  ergibt (vgl. Kapitel 8.2.2). Zur Einteilung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs von A bis F gelten die Grenzwerte nach Tabelle 10 in Kapitel 8.2.2. Eine allgemeine verbale Beschreibung der den einzelnen Qualitätsstufen zugeordneten Verkehrszustände ist in Tabelle 21 gegeben.

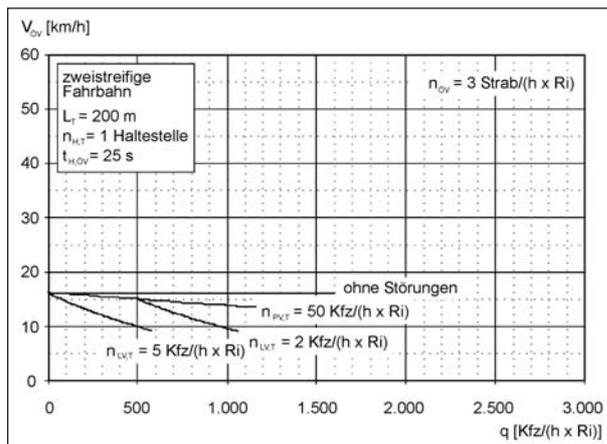
### 10.5.2 Bewertung einzelner Teilabschnitte

Die Ermittlung der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\dot{O}V,T}$  auf einem Teilabschnitt der Länge  $L_T$  erfolgt mit Hilfe von nach Fahrbahnquerschnitten differenzierten  $q$ - $V_{\dot{O}V}$ -Beziehungen. Diese beschreiben die mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\dot{O}V,T}$  für charakteristische Bemessungsverkehrszustände, die sich aus der Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion ergeben. Eingangsgröße sind die Frequenz des Stadt-/Straßenbahnverkehrs  $n_{\dot{O}V}$  und die fahrtrichtungsbezogene Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  in  $\text{Kfz}/(\text{h} \times \text{Ri})$ , für die sich in Abhängigkeit unterschiedlicher Erschließungsvorgänge die mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\dot{O}V,T}$  in

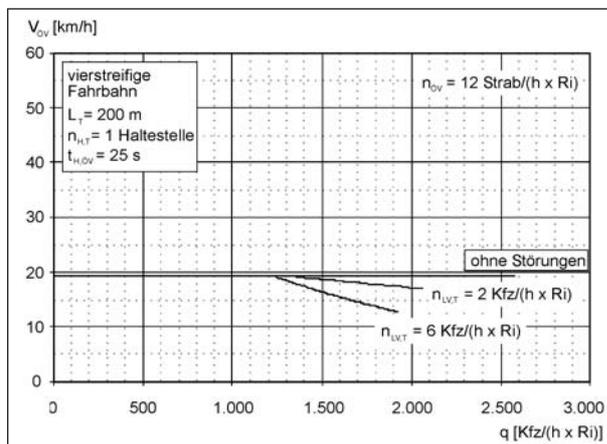
$\text{km/h}$  und damit die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs ermitteln lassen.

In Bild 50 sind für einen zweistreifigen Teilabschnitt mit der Länge  $L_T$  von 200 m und einer Haltestelle beispielhaft die  $q$ - $V_{\dot{O}V}$ -Beziehungen bei einer Bahnfrequenz  $n_{\dot{O}V}$  von 3 Strab/(h x Ri) für einen ansonsten störungsfreien Verkehrsablauf sowie bei Einparkvorgängen  $n_{PV,T}$  von 50 Kfz/(h x Ri) und Liefer-/Ladevorgängen  $n_{LV,T}$  von 2 Kfz/(h x Ri) bzw. 5 Kfz/(h x Ri) dargestellt. Ein Beispiel für einen vierstreifigen Teilabschnitt der Länge  $L_T$  von jeweils 200 m und einer Haltestelle zeigt Bild 51: Dargestellt sind die  $q$ - $V_{\dot{O}V}$ -Beziehungen bei einer Bahnfrequenz  $n_{\dot{O}V}$  von 12 Strab/(h x Ri) für einen ansonsten störungsfreien Verkehrsablauf sowie bei Störungen durch Liefer-/Ladevorgänge  $n_{LV,T}$  von 2 Kfz/(h x Ri) bzw. 6 Kfz/(h x Ri). Weitere Diagramme mit entsprechenden  $q$ - $V_{\dot{O}V}$ -Beziehungen für weitere Stadt-/Straßenbahnfrequenzen  $n_{\dot{O}V}$  und andere Störeinflüsse enthält Anhang 5.

Die dargestellten Zusammenhänge gelten ebenfalls grundsätzlich nur für symmetrische Querschnittsbelastungen, d. h., die Gegenverkehrsstärken  $q_G$  entsprechen den Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  der jeweiligen Untersuchungsrichtung. Dies ist insbesondere bei Störungen durch links abbiegende Kraftfahrzeuge  $n'_{LA,T}$  von Bedeutung. Bei zweistreifigen Abschnitten kann dies auch im Hinblick auf den Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs bei Störungen durch haltende Kraftfahrzeuge  $n_{HV,T}$  bzw. Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn  $n_{LV,T}$  relevant sein.



**Bild 50:**  $q$ - $V_{OV}$ -Beziehungen für zweistreifige Teilabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern und einer Länge  $L_T$  von 200 m sowie einer Haltestelle bei einer Frequenz  $n_{OV}$  von 3 Strab/(h x Ri) und Störungen durch Einparkvorgänge  $n_{PV,T}$  von 50 Kfz/(h x Ri) und Liefer-/Ladevorgänge  $n_{LV,T}$  von 2 Kfz/(h x Ri) bzw. 5 Kfz/(h x Ri)



**Bild 51:**  $q$ - $V_{OV}$ -Beziehungen für vierstreifige Teilabschnitte mit straßenbündigen Bahnkörpern und einer Länge  $L_T$  von 200 m sowie einer Haltestelle bei einer Frequenz  $n_{OV}$  von 12 Strab/(h x Ri) und Störungen durch Liefer-/Ladevorgänge  $n_{LV,T}$  von 2 Kfz/(h x Ri) bzw. 6 Kfz/(h x Ri)

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass bei der Anlage zusätzlicher Abbiegestreifen der Einfluss von Linksabbiegevorgängen  $n'_{LA,T}$  auf den Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs deutlich geringer sein kann, gegebenenfalls sogar vernachlässigt werden kann. Bei Einparkvorgängen  $n_{PV,T}$  ist vorausgesetzt, dass diese nur für Längsparkstände gelten. Schräg- und Senkrechtparkstände werden nicht berücksichtigt.

### 10.5.3 Zusammenfassende Beurteilung des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt

Zur Bestimmung der Qualität des Verkehrsablaufs für einen Streckenabschnitt der Länge  $L_S$ , der sich aus mehreren Teilabschnitten  $i$  der Längen  $L_{T,i}$  zusammensetzt, ist aus den einzelnen Beförderungsgeschwindigkeiten  $V_{OV,T,i}$  mit Gleichung 15 die mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{OV,S}$  zu berechnen:

$$V_{OV,S} = \frac{L_S}{\sum_{i=1}^n \frac{L_{T,i}}{V_{OV,T,i}}} \quad [\text{km/h}] \quad \text{Gl. 15}$$

mit

$V_{OV,S}$  mittlere Beförderungsgeschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt [km/h]

$L_S$  Länge des Streckenabschnitts [m]

$L_{T,i}$  Länge des Teilabschnitts  $i$  [m]

$V_{OV,T,i}$  mittlere Beförderungsgeschwindigkeit auf dem Teilabschnitt  $i$  [km/h]

Die Ermittlung der Verkehrsqualitätsstufe für den Streckenabschnitt erfolgt anhand der Angaben in Tabelle 10 (vgl. Kapitel 8.2.2).

## 11 Ergebnisbetrachtung

Der gewählte Untersuchungsansatz gewährleistet die Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse und somit die Anwendung der in Kapitel 10 dargestellten Verfahren zur Bewertung der Qualität des Kraftfahrzeug- und des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs im Mischverkehr bei praxisrelevanten Fragestellungen im Rahmen von Planungs- und Entwurfsmaßnahmen in städtischen Hauptverkehrsstraßen. Es wird dabei nicht verkannt, dass der Simulation modellbedingt Grenzen gesetzt sind und diese nur in beschränktem Maße über die ihr zugrunde gelegte Realität extrapolieren kann (siehe auch HÖFLER, 1994). Dennoch weisen die erzielten Ergebnisse im Hinblick auf ihren Anwendungszweck – der differenzierten Bewertung verkehrspolitischer Maßnahmen in Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Verkehrsablauf – eine hinreichende Genauigkeit auf. Denn: Eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung der beiden Bewertungsverfahren sind zwar die durchgeführten mikroskopi-

schen Verkehrsflusssimulationen, die Verfahren basieren aber ausschließlich auf makroskopischen Größen. Dies gilt sowohl für die Eingangsgrößen (Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$ , Stadt-/Straßenbahnfrequenz  $n_{\text{ÖV}}$  und die verschiedenen Einflussgrößen aus der Erschließungsfunktion) als auch für die Ausgangs- und Bewertungsgrößen (mittlere Kraftfahrzeugverkehrsdichte  $k$  bzw. mittlere Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$ ).

### 11.1 Einsatzgrenzen straßenbündiger Stadt-/Straßenbahnkörper

Die Anlage straßenbündiger Bahnkörper ohne räumliche Trennung der Verkehrsarten erfordert eine gewisse Flexibilität aller Verkehrsvorgänge (vgl. Kapitel 4). Die diesbezüglichen Einsatzgrenzen können auf Grundlage der erzielten Ergebnisse bestätigt bzw. konkretisiert werden:

- Auf zweistreifigen Streckenabschnitten können Stadt-/Straßenbahnen bei Verkehrsstärken  $q$  von bis zu rund 1.000 Kfz/(h x Ri) weitgehend störungsfrei im Mischverkehr geführt werden, vorausgesetzt Halte-, Liefer- und Ladevorgänge auf der Fahrbahn werden unterbunden. Linksabbiegevorgänge auf der Strecke machen sich erst ab einer Kraftfahrzeugverkehrsstärke  $q$  von etwa 1.000 Kfz/(h x Ri) bemerkbar, dann jedoch spürbar.
- Auf vierstreifigen Strecken ist eine Führung von Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr bei Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  von bis zu etwa 1.000 Kfz/(h x Ri), bei Unterbindung von Linksabbiegevorgängen, bei Verkehrsstärken  $q$  bis zu 1.500 Kfz/(h x Ri) weitgehend störungsfrei möglich.

Bei Einsatz dynamischer Straßenraumfreigaben ist eine Mischverkehrsführung durchaus auch bei höheren Kraftfahrzeugverkehrsstärken  $q$  möglich (vgl. hierzu auch Kapitel 5 sowie z. B. KLOPPE, 2000). In jedem Fall haben die aus der Erschließungsfunktion resultierenden potenziellen Störungen einen maßgeblichen Einfluss auf den Ablauf des Stadt-/Straßenbahnverkehrs und damit dessen Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$ . Die Anlage straßenbündiger Bahnkörper mit Führung von Kraftfahrzeugen und Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr ist somit letztendlich immer von den im konkreten Fall gegebenen Randbedingungen abhängig. Die entwickelten, in Kapitel 10 darge-

stellten Bewertungsverfahren dienen hier zur Schaffung entsprechender Entscheidungsgrundlagen (siehe auch nachfolgendes Kapitel 11.2).

### 11.2 Anwendungsmöglichkeiten der Qualitätsstufenkonzepte

In städtischen Straßenräumen sind die Baufluchten in der Regel vorgegeben, sodass diese wesentliche städtebauliche Randbedingungen für den Entwurf darstellen (vgl. z. B. SCHÄFER, 1995). Gleichzeitig stellen Hauptverkehrsstraßen aufgrund der vielfältigen Nutzungsansprüche, die an sie gestellt werden, häufig Problembereiche bezüglich Verkehrsablaufs, aber auch Verkehrssicherheit dar. Verbesserungen lassen sich hier nach PFUNDT/MEEWES/STOLTE (1980) u. a. dadurch erreichen, dass beispielsweise Parken unterbunden wird und die Straße baulich so ausgebildet wird, dass die ihr zugewiesenen Funktionen optimal erfüllt werden. Dies kann aber auch durch eine zeitliche Beschränkung für die Abwicklung von z. B. Liefer- und Ladevorgängen, mit dem Ziel, gegenseitige Behinderungen zu minimieren, erreicht werden (LEUTZBACH, 1989).

Die entwickelten Verfahren erlauben die Bewertung der unter infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen erreichbaren Verkehrsqualitäten in Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern, sowohl für den MIV als auch für den Stadt-/Straßenbahnverkehr. Die Qualitätsstufenkonzepte dienen zum einen zur Einstufung von gegebenen Verkehrszuständen in Streckenabschnitten mit straßenbündigen Bahnkörpern sowie zur planerischen Diskussion von verkehrsorganisatorischen (z. B. straßenverkehrsrechtlichen) bzw. verkehrstechnischen Modifikationen in solchen Abschnitten, wie beispielsweise der Einführung von Zeitfenstern für den Liefer- und Ladeverkehr oder der Einrichtung einer bedarfsgezielten Fußgängerlichtsignalanlage. Zum anderen können – unter Hinzuziehung der von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) ermittelten Zusammenhänge für ausschließlich vom Kraftfahrzeugverkehr befahrene Strecken – verschiedene Entwurfsvarianten im Zuge der Neu- und Umgestaltung von Hauptverkehrsstraßen bei gegebenen bzw. prognostizierten Verkehrsstärken und Nutzungsansprüchen aus der Erschließungsfunktion vergleichend bewertet werden. Im Zusammenhang mit Planungs- und Entwurfsaufgaben ist es dadurch möglich,

- diejenigen verkehrsschwächeren Zeiten zu ermitteln, in denen ohne Einbußen bei der Verkehrsqualität (sprich: Herabstufung in eine niedrigere Qualitätsstufe als die bisher vorhandene und/oder verkehrsplanerisch bzw. -politisch gewollte) z. B. Liefer- und Ladevorgänge auf der Fahrbahn zugelassen werden können,
- abzuwägen, ob die Einrichtung einer Fußgängerfurt ohne Qualitätseinbußen möglich ist oder ob die Verkehrsqualität im Streckenabschnitt dann nur bei gleichzeitiger Wegnahme oder Reduzierung eines anderen Einflussfaktors (z. B. Liefern/Laden oder Parken) erhalten werden kann,
- zu prüfen, wie weit sich die Verkehrsqualität durch verkehrsregelnde Maßnahmen (z. B. durch Anordnung von Linksabbiegeverboten oder durch Veränderung des Zeitfensters für Liefer-/Ladevorgänge) verbessern ließe oder
- aufgrund des Baufluchtabstands grundsätzlich mögliche, unterschiedliche Querschnittsvarianten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Verkehrsqualität zu diskutieren, z. B. im Hinblick darauf, ob der Stadt-/Straßenbahnverkehr auf straßenbündigen Bahnkörpern geführt werden kann oder besondere Bahnkörper angelegt werden müssen.

Die für die genannten Anwendungsfälle mögliche Beurteilung der aus den verschiedenen Nutzungsansprüchen resultierenden Auswirkungen auf den Verkehrsablauf bezieht sich auf die Betrachtung von Streckenabschnitten einschließlich der Anschlussknotenpunkte mit dem nachgeordneten Erschließungsstraßennetz. Diese erübrigt jedoch nicht die verkehrstechnische Überprüfung dieser Knotenpunkte, insbesondere der untergeordneten Verkehrsströme aus den Nebenstraßen, aber auch der Linksabbiegeströme von der Hauptverkehrsstraße (siehe nachfolgendes Kapitel 11.3). Auch die detaillierte Betrachtung des Ablaufs des ÖPNV an Haltestellen wird weiterhin erforderlich sein.

### 11.3 Offene Fragen und weiterer Untersuchungsbedarf

Unabhängig von den in Kapitel 11.2 dargestellten konkreten Anwendungsmöglichkeiten der beiden Verfahren bestehen noch verschiedene offene Fragen. Diese sowie der sich hieraus ergebende weitere Untersuchungsbedarf sind in den nachfolgenden Kapiteln 11.3.1 bis 11.3.3 diskutiert.

#### 11.3.1 Quantifizierung der Nutzungsansprüche aus der Erschließungsfunktion bezogen auf typische Entwurfsituationen

Für die praktische Anwendung der Verfahren ist es sinnvoll, Anhaltswerte für die Häufigkeit der relevanten Erschließungsvorgänge in Abhängigkeit vorliegender Randnutzungen anzugeben. Zur Ermittlung der Parkraumnachfrage existieren zahlreiche Ansätze, auch neuere wie die von GERLACH et al. (2000) abgeleiteten Kennlinien, die in die EAR (2005) aufgenommen wurden, ebenso gibt es Ansätze zur Abschätzung des Liefer- und Ladeverkehrsaufkommens, z. B. von STAVEN (1975) und SCHWERDTFEGER (1976). Da jedoch eine Verkehrsaufkommensberechnung für den ruhenden Verkehr, Liefer-/Ladeverkehre usw. für kleinräumige Bereiche, wie Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen sie darstellen, nach BAIER et al. (1979) sehr problematisch und auch nicht zielführend ist, erscheint es sinnvoll, entsprechende Anhaltswerte für typische Entwurfsituationen anzugeben. Gegebenenfalls sollten diese zusätzlich differenziert werden nach (groben) Größenordnungen der vorhandenen bzw. vorgesehenen Randnutzungen, aber auch des Parkraumangebots. Hiermit wäre eine ausreichende Genauigkeit für die Abschätzung der erforderlichen Eingangsgrößen gegeben, wenn diese nicht bekannt sind bzw. empirisch nicht erfasst werden können.

Mit den von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) sowie den hier empirisch erfassten Kenngrößen (vgl. Kapitel 9.5.2) besteht bereits eine umfangreiche Datengrundlage. Diese sollte durch weitere Empirie ergänzt werden.

#### 11.3.2 Konkretisierung und Erweiterung der teilabschnittsbezogenen Bewertungsgrundlagen

Zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen ist eine Teilabschnittsbildung in den vielen Fällen unumgänglich, da zwischen zwei Knotenpunkten von gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen durchaus wechselnde Randbedingungen z. B. hinsichtlich der zu erwartenden Störungen aus Parkvorgängen (Teilabschnitte mit/ohne Parkmöglichkeiten) oder Liefer-/Ladevorgängen (Teilabschnitte mit/ohne Geschäftsbesatz) bestehen können. Auch bei Vorhandensein von Stadt-/Straßenbahnhaltestellen ist aufgrund deren räumlichen Ausdehnung eine entsprechende Bildung von Teilabschnitten erforderlich.

Die in Kapitel 10 dargestellten q-k-Beziehungen und q- $V_{\text{ÖV}}$ -Beziehungen zur Bewertung der Qualität des Kraftfahrzeug- bzw. Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs gelten für Teilabschnitte mit einer Länge  $L_T$  von 200 m. Diese ergibt sich aus der empirisch abgeleiteten Streckenabschnittslänge  $L_S$  von 400 m (vgl. Kapitel 7.1 sowie Kapitel 9.3). Wie die unter Hinzuziehung der Ergebnisse aus Teil 2 des Forschungsvorhabens (siehe LANK et al., 20087) durchgeführten Überprüfungen gezeigt haben, hat die Teilabschnittslänge  $L_T$  aber durchaus einen Einfluss auf die Verkehrsdichte  $k_T$  (vgl. Kapitel 9.7.4), sodass eine Erweiterung der teilabschnittsbezogenen Bewertungsgrundlagen für variierende Teilabschnittslängen  $L_T$  durch weitere Simulationsuntersuchungen erforderlich ist.

In diesem Zusammenhang sollten auch die Auswirkungen unterschiedlicher Umlaufzeiten  $t_U$  systematisch untersucht werden. Detaillierter zu untersuchen wären auch die Auswirkungen unterschiedlicher Formen von Stadt-/Straßenbahnhaltstellen in vierstreifigen Streckenabschnitten mit straßenbündigen Bahnkörpern – also einerseits Haltstellen, die nach § 20 StVO geregelt sind, und andererseits solche mit Zeitinsel – auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf und infolgedessen auf die Dichte  $k_T$  im betroffenen Teilabschnitt.

Des Weiteren konnte bislang nicht abschließend geklärt werden, wie die Auswirkungen von überlagerten Einflussgrößen aus der Erschließungsfunktion auf den Verkehrsablauf ermittelt werden können. Diese sind z. B. im Hinblick auf die Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs nicht durch Addition von „Einzeldichten“ zu bestimmen (vgl. Kapitel 10.4.2). Hierzu sind ebenfalls weitere Simulationsuntersuchungen erforderlich, um die ermittelten Zusammenhänge weiter zu fundieren und gegebenenfalls ein formelmäßiges Berechnungsverfahren für die Ermittlung der Auswirkungen kombinierter Störeinflüsse auf die Verkehrsqualität abzuleiten. Dabei sollten auch differenzierte Betrachtungen im Bereich des Übergangs vom stabilen zum instabilen Verkehrsablauf erfolgen.

Auch ist zu prüfen, inwieweit sich von den zugrunde gelegten Störeinflüssen abweichende Größen, z. B. die Stördauern von Einparkvorgängen  $t_{PV}$  in Straßen mit hohem Parkdruck und geringer dimensionierten Längsparkständen bzw. Längsparkstreifen am Fahrbahnrand ohne Parkstandsmarkierungen oder die Häufigkeit  $n_{LV}$  und Dauer  $t_{LV}$  von Liefer-/Ladevorgängen auf Straßen mit dichtem bzw.

durchgehendem Geschäftsbesatz, auf die Qualität des Verkehrsablaufs auswirken. Hier sind zunächst weitere empirische Untersuchungen erforderlich, auf deren Basis dann eventuelle weitere Simulationen durchgeführt werden können.

Ebenfalls zu untersuchen sind die Auswirkungen von links abbiegenden Kraftfahrzeugen auf die Verkehrsqualität im Streckenabschnitt bei variablen Stärken im Gegenverkehr (in den durchgeführten Simulationen wurden nur symmetrische Belastungen betrachtet; vgl. Kapitel 9.5.3). Hierzu sind aber zunächst weitergehende Untersuchungen zu Zeitlückenverteilungen auf mehrstreifigen Straßen und ihren Auswirkungen auf die Kapazität von Linksabiegeströmen an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage erforderlich, da mehrstreifige Straßen nach BRILON (2003) mit dem bisherigen Verfahren des HBS (2001/2005) nicht mit der erwünschten Genauigkeit betrachtet werden können.

Die dargelegte erforderliche Konkretisierung und Erweiterung der teilabschnittsbezogenen Bewertungsgrundlagen können zu einem großen Teil durch weitere Simulationsuntersuchungen erfolgen, bei denen die bestehenden, bisher verwendeten Netzgeometrien genutzt werden können. Damit ist auch die Verwendung entsprechend kalibrierter und bereits validierter Modelle gewährleistet.

### 11.3.3 Erweiterung der Bewertungskriterien für den ÖPNV auf Mischverkehrsstrecken

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse zum Stadt-/Straßenbahnverkehrsablauf bei gemeinsamer Führung mit dem Kraftfahrzeugverkehr (vgl. insbesondere Kapitel 9.7.2 und 9.7.4) erscheint es sinnvoll, neben der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  zusätzlich deren Standardabweichung  $\sigma_{V_{\text{ÖV}}}$  als Qualitätskriterium für den ÖPNV im Mischverkehr heranzuziehen. Die vorliegenden Simulationsergebnisse sind jedoch nicht ausreichend, um das bisherige Qualitätsstufenkonzept der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit  $V_{\text{ÖV}}$  bzw. des darauf basierenden Geschwindigkeitsindex  $I_{\text{ÖV}}$  (vgl. Kapitel 8.2.2) diesbezüglich konkret zu erweitern.

Hierzu sind zunächst grundsätzliche Überlegungen zu akzeptablen Streuungen der  $V_{\text{ÖV}}$  notwendig, z. B. im Hinblick auf eine zulässige Standardabweichung  $\sigma_{V_{\text{ÖV}}}$ . Die dann als Bewertungsgrundlagen erforderlichen q- $V_{\text{ÖV}}$ -Beziehungen mit Standardab-

weichung  $\sigma_{V,\text{ÖV}}$  (vgl. Bild 47 in Kapitel 9.7.4) können durch entsprechende Simulationsuntersuchungen ermittelt werden.

## 12 Fazit

Hauptverkehrsstraßen befinden sich in einem Spannungsfeld zwischen den überörtlichen Funktionen aus dem Verbindungsbedarf und den örtlichen Funktionen aus dem angrenzenden städtebaulichen Umfeld. Hierdurch kommt es zu Überlagerungen von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion, welche die Verkehrsqualität auf Hauptverkehrsstraßen in starkem Maße prägen: abbiegende Kraftfahrzeuge, Parkvorgänge, Halte- bzw. Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn usw. können für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr und für im Mischverkehr geführte Stadt-/Straßenbahnen durchaus zu massiven Störungen führen.

Für den Entwurf von Hauptverkehrsstraßen ist die Kenntnis über die Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs in den Streckenabschnitten zwischen Knotenpunkten gleichrangiger Straßen – sowie auf Mischverkehrsstrecken des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs – unverzichtbar. Hierzu wurde das bereits von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) entwickelte Verfahren zur Bewertung der Kraftfahrzeugverkehrsqualität in Streckenabschnitten für Strecken mit straßenbündigen Bahnkörpern erweitert. Des Weiteren wurde ein Verfahren zur Bewertung des Stadt-/Straßenbahnverkehrsablaufs auf Mischverkehrsstrecken entwickelt.

Die Verfahren erlauben, unterschiedliche Entwurfsvarianten sowie verkehrsorganisatorische Maßnahmen in Streckenabschnitten im Zuge der Neu- bzw. Umgestaltung von Hauptverkehrsstraßen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Verkehrsqualität zu bewerten. Mit den hier erzielten Ergebnissen, ergänzt um die Ergebnisse zu ausschließlich von Kraftfahrzeugen befahrenen Hauptverkehrsstraßen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006), liegen ausreichende Grundlagen für einen Formulierungsvorschlag für die derzeit in Bearbeitung befindliche HBS-Fortschreibung vor. Die Qualitätsstufenkonzepte können darüber hinaus als Bewertungsgrundlagen für Simulationsuntersuchungen herangezogen werden.

Die entwickelten Verfahren ermöglichen – im Sinne des HBS (2001/2005) – ausschließlich die ver-

kehrstechnische Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten außerhalb des Einflussbereichs von Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen. Darüber hinaus ist aber auch die Bewertung von Straßenzügen auf Basis der Verkehrsqualitäten der Einzelanlagen (Knotenpunkte und Streckenabschnitte) erforderlich. Eine solche übergreifende Betrachtung ermöglicht die Bewertung der Verbindungsqualität von Hauptverkehrsstraßennetzen und ist Voraussetzung für z. B. weitergehende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Die Ermittlung eines Verfahrens zur Bestimmung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten in städtischen Hauptverkehrsstraßenzügen unter Berücksichtigung der Verkehrsqualitäten der Einzelanlagen und eventueller Netzeffekte erfolgt in Teil 2 des Forschungsvorhabens (siehe LANK et al., 2008). Die hier erzielten Ergebnisse stellen dazu einen Baustein dar.

## Literatur

- AHN, M.: Veränderung der Leistungsfähigkeit städtischer Hauptverkehrsstraßen über die Tageszeit. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 4, Bochum 1987
- ALBERS, A.: Dynamische Straßenraumfreigabe für Nahverkehrsfahrzeuge. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, Heft 17, Hannover 1996
- ALBERTI, C. J., KORN, M., MASAK, H.-O., PAHL, B.: Straßenbahn auf Grüner Welle. In: Der Nahverkehr 0/82 B, S. 18-24
- ANGENENDT, W., BRÄUER, D., KLÖCKNER, D., COSSÉ, L., ROETERINK, R., SPRUNG, M., WILKEN, M.: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnanhebung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 96, Bergisch Gladbach 2002
- ANGENENDT, W., ERKE, H., HOFFMANN, G., MARBURGER E. A., MOLT, W., ZIMMERMANN, G.: Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr. Projektgruppenbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Nr. 18, Bergisch Gladbach 1987

- ANGENENDT, W., JANSEN, V., UNKHOFF, R., MATERN, U., MEIER, M.: Bemessung von Stadtstraßen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Verkehrsqualitäten bei Beachtung der Auswirkungen auf die Wohnumfeldqualität. FE 02.061 S78F im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen 1983 (unveröffentlicht)
- APPEL, H., BOCK, O., BRAESS, H. H., DONGES, E., KELLER, H., LÖFFELHOLZ, H., MITSCHKE, M., ROMPE, K.: Fahrer-Fahrzeug-Verhalten in kritischen Situationen. Projektgruppenberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Nr. 2, Bergisch Gladbach 1978
- ARNOLD, S., BAUER, P., TEUFEL, D., WAGNER, Th.: Umgestaltung enger Hauptstraßen mit MIV, ÖV und Fahrradverkehr am Beispiel Friedberger Landstraße. UPI-Bericht Nr. 38, Heidelberg 1996
- AXHAUSEN, K. W., FELLENDORF, M., HOOK, D.: Zur Abhängigkeit der Zeitbedarfswerte von der Knotenpunktsgeometrie. In: Straßenverkehrstechnik 33 (1989), Heft 5, S. 170-175
- BAIER, M. M.: Einsatz mikroskopischer Verkehrsflusssimulation zur Entwicklung von Bemessungsverfahren für städtische Straßenverkehrsanlagen. In: 17. Symposium Simulationstechnik (ASIM 2003). Tagungsband (S. 239-244), Frontiers in Simulation, Fortschritte in der Simulationstechnik, Band FS 13, SCS European Publishing House, Erlangen/Delft 2003
- BAIER, M. M.: Qualitätsstufenkonzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von vierstreifig befahrenen Hauptverkehrsstraßen. Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Nr. 48, Aachen 2006
- BAIER, M. M.: Begriffsdefinitionen in den Richtlinien für integrierte Netzgestaltung. Anmerkungen zum RIN-Entwurf 2008 (Stand: 22. Juni 2008), Aachen 2008 (unveröffentlicht)
- BAIER, M. M., KATHMANN, Th., BAIER, R., SCHÄFER, K. H.: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 108, Bergisch Gladbach 2003
- BAIER, M. M., KATHMANN, Th., SCHUCKLIEß, W., TRAPP, R., BAIER, R., SCHÄFER, K. H.: Verkehrsqualität auf Busspuren bei Mitnutzung durch andere Verkehre. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 89, Bergisch Gladbach 2001
- BAIER, M. M., SCHUCKLIEß, W.: Visualisierung von Verkehrsabläufen – Mittel zum Zweck oder planerische Notwendigkeit? In: Simulation und Visualisierung 2004, Tagungsband (S. 335-346), SCS European Publishing House, Erlangen/San Diego 2004
- BAIER, R.: Die neuen Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) – Zwei Wege zum ganzheitlichen Entwurf. In: Straßenverkehrstechnik 49 (2005), Heft 1, S. 28-36
- BAIER, R., BENTHAUS, D., KLEMP, A., SCHÄFER, K. H., MAIER, R., ENKE, M., SCHÜLLER, H.: Potenziale zur Verringerung des Unfallgeschehens an Haltestellen des ÖPNV/ÖPSV. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Heft M 190, Bergisch Gladbach 2007
- BAUMGARTNER, C., GARBEN, M.: Erhebungen zum Lieferverkehr: Fallbeispiele Berlin und Hagen. In: Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung. Loseblattsammlung mit Ergänzungen, Grundwerk (1992) mit 3. Ergänzungslieferung, Kapitel 2.4.6.1, Economica Verlag, Bonn 1993
- BENZ, Th.: Mikroskopische Simulation von Energieverbrauch und Abgasemission im Straßenverkehr (MISEVA). Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe, Heft 32, Karlsruhe 1985
- BERENDS, H., OVERKAMP, W., WAPPLER, M.: Ein Beschleunigungsprogramm des ÖPNV in Dresden. In: Der Nahverkehr 15 (1997), Heft 1-2, S. 42-45
- BLEILE, Th.: Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens im innerstädtischen Pkw-Verkehr. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12: Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Nr. 395, VDI Verlag, Düsseldorf 1999
- BRENNER, M., SIEGLOCH, W.: Steuerung des Individualverkehrs und des Straßenbahnverkehrs im Zuge Grüner Wellen. In: Straßenverkehrstechnik 25 (1981), Heft 1, S. 8-17
- BRILON, W.: Der Zusammenhang zwischen räumlich-zeitlichen Kennwerten des Verkehrsablaufs

- und lokal ermittelten Parametern. Vorläufige Berichte aus dem Institut für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe, Nr. 18, Karlsruhe 1973
- BRILON, W., GROßMANN, M., BLANKE, H.: Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 669, Bonn-Bad Godesberg 1994
- BRILON, W., GROßMANN, M., BLANKE, H.: Ein Deutsches Highway Capacity Manual? In: Straßenverkehrstechnik 38 (1994), Heft 5, S. 261-277
- BRILON, W., SCHNABEL, W.: Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen. In: Straßenverkehrstechnik 47 (2003), Heft 1, S. 21-26
- BRILON, W., WEISER, F.: Kapazität und Verkehrsqualität auf zweistreifigen Landstraßen. In: Straßenverkehrstechnik 48 (2004), Heft 10, S. 532-542
- BROCKFELD, E., KÜHNE, R. D., SKABARDONIS, A., WAGNER, P.: Towards a Benchmarking of Microscopic Traffic Flow Models. In: TRB 82<sup>nd</sup> Annual Meeting, Proceedings (CD-ROM), Transportation Research Board, Washington, D. C. 2003
- BRÜCKNER, B., GERLACH, J.: Verkehrsqualität auf einer innerstädtischen Hauptverkehrsstraße – Wirkungsanalyse zur Umgestaltung der B 7 in Wuppertal. In: Straßenverkehrstechnik 44 (2000), Heft 3, S. 105-115
- COERS, H. G.: Die internationale Forschungsentwicklung und das räumlich-zeitliche Prinzip mikroskopischer und makroskopischer Untersuchungen des Verkehrsflusses. In: Die Straße 10 (1970), Heft 7, S. 368-374
- DITTEMER, Th.: ÖPNV-Haltestellen mit Kap – Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit untersucht an Straßenbahnhaltestellen. Grüne Reihe des Fachgebiets Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern, Nr. 14, Kaiserslautern 1990
- DRÖGE, R.: Straßenbündige Bahnkörper – Ein Vergleich verschiedener Ausbauformen. Diplomarbeit am Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, Hannover 1997 (unveröffentlicht)
- DÜRR, P.: Evolution adaptiver Steuerungsverfahren für den städtischen Mischverkehr. In: Straßenverkehrstechnik 46 (2002), Heft 4, S. 188-195
- Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ), Ausgabe 2003. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR), Ausgabe 2005. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2005
- Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen (EAE), Ausgabe 1985, Ergänzte Fassung 1995. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1985/1995
- Empfehlungen für die Anlage von Hauptverkehrsstraßen (EAHV), Ausgabe 1993. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1993
- Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE), Ausgabe 1991. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1991
- ENGEL, E.: Zur Frage der praktischen Leistungsfähigkeit signalisierter Knotenpunkte des Straßenverkehrs. In: Straße + Autobahn 10 (1959), Heft 6, S. 223-228
- FASTENMEIER, W.: Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem. In: Autofahrer und Verkehrssituation: Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme, Mensch/Fahrzeug/Umwelt, Band 33 (S. 27-78), Verlag TÜV Rheinland/Deutscher Psychologen-Verlag, Köln/Bonn 1995
- FRIEDRICH, B.: Steuerung von Lichtsignalanlagen: BALANCE – ein neuer Ansatz. In: Straßenverkehrstechnik 44 (2000), Heft 7, S. 321-328
- FRIEDRICH, B., FISCHER, N.: Nahverkehrsbevorzugung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 92, Bergisch Gladbach 2002
- FRITZSCHE, H.-Th.: A model for traffic simulation. In: Traffic Engineering + Control 35 (1994), No. 5, pp. 317-321

- FRITZSCHE, H.-Th.: Entwicklung und Anwendung eines mikroskopischen Modells zur Verkehrssimulation auf mehrspurigen Richtungsfahrbahnen. Bericht aus dem Institut A für Mechanik der Universität Stuttgart, Nr. 2/1999, Stuttgart 1999
- GERLACH, J., DOHMEN, R., BLOCHWITZ, H., ENGELS, M., FUNKE, R., HARMAN, E., SCHMIDT, S., ZIMMERMANN, J.: Kennlinien der Parkraumnachfrage. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 78, Bergisch Gladbach 2000
- GÖTTSCHE, J.: Einsatzbereiche überbreiter – von Pkw zweistreifig, von Lkw einstreifig befahrbarer – Fahrstreifen auf städtischen Hauptstraßen. Grüne Reihe des Fachgebiets Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern, Nr. 7, Kaiserslautern 1987
- HAMED, A.: Abwicklung des Lieferverkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen. Veröffentlichungen aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 16, Stuttgart 1994
- Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2001, Fassung 2005. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001/2005
- HARDER, G.: Ein-Richtungsstraßen als Elemente von Ein-Richtungsstraßen-Systemen – Ein Beitrag zur Gestaltung und Bewertung von Stadtstraßennetzen. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 71, Bad Godesberg 1967
- HAUGER, G.: Geschwindigkeitsverhalten im motorisierten Individualverkehr auf Innerortsstraßen. In: Straßenverkehrstechnik 41 (1997), Heft 11, S. 542-551 (Teil 1), Heft 12, S. 602-607 (Teil 2)
- HERKT, St.: Situationsabhängige Steuerung des Straßenverkehrs in innerstädtischen Straßennetzen, Teil 1: Analyse der Auswirkungen wetterbedingter Störeinflüsse auf den Verkehrsablauf im innerstädtischen Straßennetz. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 468, Bonn-Bad Godesberg 1986
- HERKT, St.: Abstimmung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und knotenpunktfreien Strecken innerörtlicher Hauptverkehrsstraßen. Veröffentlichungen aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Heft 14, Stuttgart 1994
- HINTERMEISTER, O., BÄRSCH, A., MERLO, O., MORSCH, D.: Mischverkehr MIV/ÖV auf stark befahrenen Strassen. Forschungsauftrag Nr. 39/00 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure, Winterthur/Parpan/Cham 2002 (unveröffentlicht)
- Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation, Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2006
- HÖFLER, F.: Leistungsfähigkeit von Ortsdurchfahrten bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen – untersucht mit Hilfe der Simulation. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe, Heft 50, Karlsruhe 1994
- HOFFMANN, G., AREND, H., GAST, J., SCHWENCKE, K. R., ZMECK, D.: Witterungsbedingte Veränderungen der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs auf innerstädtischen Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 409, Bonn-Bad Godesberg 1984
- HOFFMANN, G., NIELSEN, S.-M.: Beschreibung von Verkehrsabläufen an signalisierten Knotenpunkten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 693, Bonn-Bad Godesberg 1994
- HOFFMANN, ST., POTT, B.: Signaltechnisch gesteuerte Mehrfachnutzung von Knotenpunktelementen. In: Straßenverkehrstechnik 41 (1997), Heft 4, S. 177-183
- HOTOP, R., LENZ, K.-H.: Reisegeschwindigkeit in einer deutschen Großstadt – Ein Vergleich zwischen Individualverkehr und öffentlichem Nahverkehr. In: Verkehr + Technik 28 (1975), Heft 1, S. 23-28
- HUHN, St.: Einfluss von Straßenbahnhaltestellen auf den Verkehrsablauf von Hauptverkehrsstraßen. Seminararbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2001 (unveröffentlicht)
- JANSEN, S.: Lieferverkehrsaufkommen an Hauptverkehrsstraßen. Seminararbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2003 (unveröffentlicht)
- KAPPEL, L.: Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs im Nahverkehr beim Einsatz unterschiedlicher Bahnkörperformen. Studienarbeit

- am Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, Hannover 1999 (unveröffentlicht)
- KLOPPE, U.: Einsatzbereiche unkonventioneller Bahnkörperformen in Hauptverkehrsstraßen. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, Heft 26, Hannover 2000
- KNOFLACHER, H.: Bestimmung von Einflussfaktoren auf die Reise- und Fahrgeschwindigkeit im Stadtgebiet. In: Straße Brücke Tunnel 22 (1970), Heft 6, S. 150-154
- KNOTE, Th., KORN, J., LÄTZSCH, L., RINGEL, R., SCHNABEL, W.: Bewertung des Verkehrsablaufs auf städtischen Hauptverkehrsstraßen – gezeigt am Beispiel der Reisezeitmessungen in der Stadt Dresden. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden, Heft 6, Dresden 1999
- KÖHLER, U.: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – Straßengebundener öffentlicher Personennahverkehr. In: Straßenverkehrstechnik 46 (2002), Heft 5, S. 251-254
- KÖHLER, U., EICKENBERG, O.: Qualitätsstufen im straßengebundenen ÖPNV. FE 2/2005 im Auftrag der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Kassel 2007 (unveröffentlicht)
- KÖHLER, U., STRAUß, S., WICHMANN, S.: Auswirkungen von Haltestellen auf Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität innerstädtischer Hauptverkehrsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 57, Bergisch Gladbach 1998
- KÖRSTEN, R.: Beurteilung von Straßenbahnhaltestellen in Fahrbahnlage. In: Die Straße 17 (1977), Heft 8, S. 312-315
- KORTE, J. W., MÄCKE, P. A., LEUTZBACH, W.: Die Leistungsfähigkeit von Verkehrsanlagen des motorisierten städtischen Straßenverkehrs. Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, Nr. 293, Köln/Opladen 1956
- KRÜGER, J.: Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage in Abhängigkeit von der Anzahl der Phasen. In: Straßenverkehrstechnik 30 (1986), Heft 2, S. 59-64
- KRUG, H.: Der eigene Gleiskörper oder wer überholt hier wen? – Anmerkungen zur städtebaulichen Integration von Straßenbahnen. Berichte zur Verkehrsplanung, Nr. 9, Kassel 1999
- KRUG, H.: Flächensparender Vorrang von Straßenbahnen und Bussen – GVFG-Anwendung versus Flächeneffizienz. In: Planerin 2/2000, S. 61-63
- LANK, Chr., SÜMMERMANN, A., STEINAUER, B., BAUR, O., KEMPER, D., PROBST, D., BAIER, M. M., BAIER, R., KLEMP-S-KOHNEN, A., JACHTMANN, Y., HEBEL, Chr.: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen. Teil 2 zum FE 77.476/2003 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Aachen 2008 (unveröffentlicht)
- LEERKAMP, B.: Entwurfs-elemente des Lieferverkehrs für Hauptverkehrsstraßen. In: Straßenverkehrstechnik 42 (1998), Heft 9, S. 463-474
- LEHNHOFF, N., JANSSEN, S.: Untersuchung und Optimierung der Fahrgastwechselzeit: Acht Hypothesen zur Beeinflussung der Wartezeiten an Haltestellen. In: Der Nahverkehr 21 (2003), Nr. 7-8, S. 14-20
- LENK, R., THEURICH, H.-P.: Beschleunigungsmaßnahmen für Busse und Straßenbahnen. Stadt Region Land, Schriftenreihe des Instituts für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Bericht 24, Aachen 1980
- LEUTZBACH, W.: Zur Problematik der Messungen und Beobachtungen aus einem fahrenden Fahrzeug. Vorläufige Berichte aus dem Institut für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe, Nr. 25, Karlsruhe 1981
- LEUTZBACH, W.: Zur Beachtung von Verkehrsvorschriften. In: Internationales Verkehrswesen 38 (1986), Heft 1, S. 16-19
- LEUTZBACH, W.: Der städtische Lieferverkehr – eine unbekannte Störgröße? In: Internationales Verkehrswesen 41 (1989), Heft 6, S. 398-404
- LEUTZBACH, W., EGERT, Ph.: Geschwindigkeitsmessungen vom fahrenden Fahrzeug aus. In: Straße + Autobahn 10 (1959), Heft 3, S. 23-28
- LEUTZBACH, W., PAPAVALIOU, V.: Wahrnehmungsbedingungen und sicheres Verhalten im Straßenverkehr: Wahrnehmung in konkreten

- Verkehrssituationen. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Nr. 177, Bergisch Gladbach 1988
- LEUTZBACH, W., SCHMIDT, M.: Auswirkungen aus Lieferverkehr auf den Verkehrsablauf auf einem Stadtstraßenabschnitt. FE 77.041/1985 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Karlsruhe 1987 (unveröffentlicht)
- LINNENBERG, E.: Verkehrsgerechte Lage von Haltestellen im Straßenraum unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Heft 203, Bergisch Gladbach 1989
- MAIER, R.: Fußgängersicherheit in Städten – Untersuchungen zu Unfallgeschehen, Verkehrsstärken, Verhalten. Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 24, Köln 1984
- MAIER, R.: Zeitverluste für Fußgänger beim Queren von Straßen. In: Straßenverkehrstechnik 30 (1986), Heft 4, S. 155-158
- MAIER, R., ENKE, M., SCHMOTZ, M., BAIER, M. M.: Weiterentwicklung des Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. FE 02.277/2006/ARB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Dresden/Aachen 2008 (2. Zwischenbericht, unveröffentlicht)
- MARTIN, W.: Verkehrsablauf auf Stadtstraßen mit Lichtsignalen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 268 (Teil II), Bonn-Bad Godesberg 1979
- MAY, A. D., MAGIKAMI, Y., YBARA, W., WOODIE, L.: Bay Area freeway operations study. Final Report. Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California, Berkeley 1970
- MERHI, L.: Einfluss der Umfeldnutzung auf das Parkverhalten am Beispiel der Stadt Köln. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 1999 (unveröffentlicht)
- MILTNER, Th.: Verkehrsqualität an vorfahrtsgeregelten Innerortsknotenpunkten. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 27, Bochum 2003
- MÜLLER-EBERSTEIN, F., WORTMANN, I.: Flächensparender Vorrang von Straßenbahnen und Bussen: Triviales Problem mit Standardlösungen? In: Planerin 4/2000, S. 56-58
- PARAMICS-Report: Traffic Simulation – Car-Following, Lane-Changing and Junction Modelling. Version 1.1, Edinburgh 1997
- Personenbeförderungsgesetz (PBefG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. August 1990 (BGBl. I S. 1690), zuletzt geändert durch Artikel 292 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
- PFUNDT, K., MEEWES, V., STOLTE, A.: Verkehrsstraßen in Geschäftsbereichen – Berliner Straße und Dürener Straße in Köln: Untersuchungen, Vorschläge. Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 18, Köln 1980
- RETZKO, H.-G., CERWENKA, P., KOSHI, M., SASAKI, T.: Optimierungskriterien für die Steuerung des Straßenverkehrs mit Lichtsignalanlagen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 194, Bonn-Bad Godesberg 1975
- RETZKO, H.-G., KORDA, Chr.: Auswirkungen unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten auf städtischen Verkehrsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 65, Bergisch Gladbach 1999
- Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2006
- Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes (RAS-N), Ausgabe 1988. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1988
- Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN), Ausgabe 2008. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008 (Druckfassung mit Stand vom 17. Oktober 2008)
- Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Ausgabe 1992. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1992
- Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Teilfortschreibung 2003. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Entwurf 2007. Forschungsgesellschaft für Straßen- und

- Verkehrswesen, Köln 2007 (Stand: 20. März 2007)
- RIEL, J.: Modellierung von Störungen des Verkehrsablaufs durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand. Grüne Reihe des Fachgebiets Verkehrswesen der Universität Kaiserslautern, Nr. 56, Kaiserslautern 2003
- RINGEL, R., SCHNABEL, W.: ÖPNV-Abwicklung in koordinierten Straßenzügen. In: HEUREKA '99: Optimierung in Verkehr und Transport. Tagungsband (S. 369-382), Köln 1999
- SCHÄFER, K. H.: Städtebauliche Integration von Hauptgeschäftsstraßen. In: Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung. Loseblattsammlung mit Ergänzungen, Grundwerk (1992) mit 9. Ergänzungslieferung, Kapitel 3.4.5.1, Economica Verlag, Bonn 1995
- SCHLEICHER-JESTER, F.: Verkehrsablauf in innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen bei verschiedenen Geschwindigkeiten. In: Straßenverkehrstechnik 40 (1996), Heft 9, S. 417-442
- SCHNABEL, W.: Verkehrsablauf auf Straßenknoten mit Fahrbahnverengung in der Knotenabfahrt. In: Die Straße 27 (1987), Heft 11, S. 321-324
- SCHNABEL, W.: Die Bewertung des Verkehrsflusses in Grünen Wellen. In: Die Straße 28 (1988), Heft 9, S. 275-279
- SCHNABEL, W., KORN, J.: Die Kapazität von Knotenpunkten nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001) – Teil 1. In: Straßenverkehrstechnik 48 (2004), Heft 8, S. 387-393
- SCHNABEL, W., LÄTZSCH, L.: Quo vadis, Dresdner Straßenverkehr? In: Dresdner Universitätsjournal 13 (2002), Nr. 8, S. 4
- SCHNABEL, W., RINGEL, R., LÄTZSCH, L., KNOTE, Th.: Die Qualität des Verkehrsablaufs auf städtischen Hauptverkehrsstraßen. In: Straßenverkehrstechnik 42 (1998), Heft 12, S. 635-643
- SCHNÜLL, R.: Beschleunigung von Nahverkehrsfahrzeugen. In: Der Nahverkehr 15 (1997), Heft 3, S. 35-45
- SCHNÜLL, R., ALBERS, A.: Unterbringung des ruhenden Verkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 566, Bonn-Bad Godesberg 1989
- SCHNÜLL, R., JOHANNISMEIER, R.: Nahverkehrsfahrzeuge in Hauptverkehrsstraßen. In: Der Nahverkehr 16 (1998), Heft 5, S. 19-24
- SCHNÜLL, R., JOHANNISMEIER, R., ALBERS, A., ETZOLD, P., KLOPPE, U., SPORBECK, J., WILMS, A.: Führung von Nahverkehrsfahrzeugen in Hauptverkehrsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 62, Bergisch Gladbach 1999
- SCHNÜLL, R., STRAUBE, E.: Möglichkeiten zur Integration von Bahnkörpern der Stadtbahn/Straßenbahn in Straßenräume von städtischen Hauptverkehrsstraßen mit Wohnbebauung. Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, Heft 12, Hannover 1993
- SCHUBERT, H.: Einflüsse des Fahrradverkehrs auf den innerstädtischen Verkehrsablauf. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 47, Bad Godesberg 1961
- SCHUCKLIEß, W.: Entwicklung eines makroskopischen Modells zur Prognose von MIV-Reisezeiten. In: Perspektiven für das Straßenwesen, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Nr. 43 (S. 569-591), Aachen 2003
- SCHUCKLIEß, W., BAIER, M. M.: Neuplanung eines innerstädtischen Knotenpunkts – Variantenvergleich mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation. In: Aachener Straßenbau- und Verkehrstage 2002, Straße Tunnel Report 1 (S. 17-19), Aachen 2003
- SCHUCKLIEß, W., BAIER, M. M., BAUR, O.: Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs an Kreisverkehren – Wartezeit, Haltezeit oder Verlustzeit? In: Perspektiven für das Straßenwesen, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Nr. 43 (S. 383-400), Aachen 2003
- SCHUCKLIEß, W., BECHER, Th., STEINAUER, B.: Übergreifende Bewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten auf Landstraßen. FE 03.371/2004/AGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Aachen 2007 (unveröffentlicht)
- SCHÜTTE, Chr., BOGENBERGER, K., ERNHOFER, O.: Analyse der Verkehrsqualität mit inno-

- vativer Datenerfassung – Beispiel Mittlerer Ring München. In: Straßenverkehrstechnik 43 (1999), Heft 5, S. 212-219
- SCHWERDTFEGER, W.: Städtischer Lieferverkehr – Bestimmungsgründe, Umfang und Ablauf des Lieferverkehrs von Einzelhandels- und Dienstleistungsbetrieben. Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig, Heft 20, Braunschweig 1976
- SCHWIETERING, Chr.: Entwicklung eines Programms zur Berechnung von Nachfolgefahrlen in PARAMICS. Seminararbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2002 (unveröffentlicht)
- SOMMER, Chr., PRIEUR, H.: Was ist eine ausreichende oder angemessene Verkehrsbedienung? – Die Ableitung von ÖPNV-Leistungsstandards dargestellt am Beispiel der Landeshauptstadt Dresden. Projektskizze, Dresden 2002 (Quelle: <http://www.vkt-gmbh.de>)
- STAVEN, K.: Verkehrsaufkommen und Stellflächenbedarf des Lieferverkehrs von Einzelhandelsgeschäften – Ein Beitrag zur Bedarfsermittlung im Wirtschaftsverkehr. In: Straße Brücke Tunnel 27 (1975), Heft 1, S. 14-22 (Teil 1), Heft 2, S. 38-51 (Teil 2), Heft 5, S. 130-132 (Teil 3), Heft 6, S. 153-161 (Teil 4), Heft 8, S. 207-211 (Teil 5), und Heft 10, S. 272-278 (Teil 6)
- STEIERWALD, G.: Bewertung verschiedener Konzeptionen zur verkehrsabhängigen Signalsteuerung. In: Straße Brücke Tunnel 23 (1971), Heft 8, S. 201-205
- STEIERWALD, G., FEIER-FRITZ, H.: Zusammenhänge zwischen dem Kraftstoffverbrauch und Kenngrößen des Verkehrsablaufs in innerörtlichen Straßennetzen mit Lichtsignalanlagen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 565, Bonn-Bad Godesberg 1989
- STEIERWALD, G., HEINZ, G.: Untersuchungen zur Signalisierung städtischer Straßennetze unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Stauräume. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 419, Bonn-Bad Godesberg 1984
- Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Artikel 474 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
- TEPPER, M.: Einflüsse des Parksuch- und Lieferverkehrs auf die Leistungsfähigkeit von Hauptverkehrsstraßen. Seminararbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2000 (unveröffentlicht)
- TOPP, H. H., HAAG, M., HUPFER, Chr., ACKERMANN, K.: Haltestellenformen an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 12, Bergisch Gladbach 1994
- UHRIG, A.: Parkvorgänge an Hauptverkehrsstraßen in Abhängigkeit von Randnutzung und Parkraumangebot. Seminararbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2003 (unveröffentlicht)
- Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen: Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) vom 11. Dezember 1987, zuletzt geändert am 20. Juli 2000
- WIEDEMANN, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Straßenwesen der Universität (TH) Karlsruhe, Heft 8, Karlsruhe 1974
- WILMS, A.: Verkehrssicherheitsbelange bei der Bevorrechtigung von Bussen und Bahnen im Stadtverkehr. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, Heft 19, Hannover 1998
- WU, N.: Rückstaulängen an Lichtsignalanlagen unter verschiedenen Verkehrsbedingungen. In: Straßenverkehrstechnik 40 (1996), Heft 5, S. 226-234
- ZEITVOGEL, M.: Untersuchung über die Bewertung der Verkehrsqualität im Individualverkehr auf Stadtstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 286, Bonn-Bad Godesberg 1980

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2004

- V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00
- V 111: Autobahnverzeichnis 2004 (erschienen 2005)  
Kühnen € 21,50
- V 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände (vergriffen)  
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher € 21,50
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden  
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Acken € 15,00
- V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing  
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00
- V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50
- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/  
Ingenieurarbeitsplatz  
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere  
Surkus, Tegethof € 13,50
- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer  
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

## 2005

- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren  
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung  
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko  
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum – Band 1 bis Band 5  
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik  
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten  
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simovió Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM<sub>10</sub>-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen  
Düring, Bösinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen  
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 24,50

- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation  
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst  
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02  
Steven € 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken  
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme  
Boltze, Breser € 15,50

## 2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge  
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen  
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen  
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen  
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00
- V 137: PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO<sub>x</sub>)- und Ozon (O<sub>3</sub>)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen  
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003  
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen  
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen  
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis  
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland  
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen  
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –  
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung  
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50

V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst  
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

## 2007

V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO  
Böhl, Mausa, Kloppe, Brückner € 16,50

V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer  
Gerlach, Oderwald € 15,50

V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen  
Lemke € 13,50

V 154: Autobahnverzeichnis 2006  
Kühnen € 22,00

V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht  
Bartolomaeus € 12,50

V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen  
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00

V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317  
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50

V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen  
Wirtz € 13,50

V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006  
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50

V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 25,50

V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe  
Listl, Otto, Zackor € 14,50

V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta  
Grahl, Sander € 14,50

V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrabhängigen Steuerungen  
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50

V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

## 2008

V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM<sub>10</sub>-Emissionen von Straßen  
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kühlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50

V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen, Koßmann € 26,00

V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung  
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50

V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit  
Frost, Schulze € 15,50

V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen  
Wermuth, Wulff € 15,50

V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen  
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50

V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)  
Weinert, Vengels € 17,50

V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007  
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50

V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge  
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00

V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM<sub>x</sub>-Belastung an Straßen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00

V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes  
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

## 2009

V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw  
Schulze, Hübel € 13,00

V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24  
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50

V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen € 13,00

V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50

V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn  
Hausmann € 14,50

V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen  
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern  
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Komplettverzeichnis erhältlich.