Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 183

Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen

von

Christian Lank
Andreas Sümmermann
Bernhard Steinauer

unter Mitwirkung von

Oliver Baur
Dirk Kemper
Dennis Probst

Institut für Straßenwesen Aachen
RWTH Aachen

Michael M. Baier
Reinhold Baier
Alexandra Klemps-Kohnen

unter Mitwirkung von

Yvonne Jachtmann
Christoph Hebel

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

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 183

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 2)

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
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86509-915-0

Bergisch Gladbach, Juni 2009

Kurzfassung – Abstract

Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen

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 Verbindungsqualität in städtischen Hauptverkehrsstraßenzügen und damit auch -netzen 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 Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Bahnkörpern (Teil 1) und
- zum anderen die Ermittlung von Verfahren zur Bestimmung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten in städtischen Hauptverkehrsstraßenzügen unter Berücksichtigung des Verkehrsablaufs auf/an den Einzelanlagen und eventueller Netzeffekte (Teil 2).

Die im hier vorliegenden Teil 2 entwickelten Verfahren zur übergreifenden Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Straßenzügen gelten für alle Hauptverkehrsstraßen der Kategorie C III der RAS-N (1988) bzw. der Kategorie HS III der RIN (2008). Des Weiteren wurden angepasste Stufen der verbindungsbezogenen Angebotsqualität abgeleitet, die eine praxisgerechte Beurteilung der Erreichbarkeitsqualität in innerörtlichen Straßennetzen ermöglichen.

Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Fortschreibung des HBS, die für das Jahr 2009 vorgesehen ist. Darüber hinaus sollen sie dazu dienen, Diskussionen zur Netzgestaltung zu objektivieren.

Der Originalbericht enthält als Anhänge zusätzliche Informationen, unter anderem zu Zuordnungsfunktionen, Bestimmungsverfahren, Netzgeometrien und zu den Simulationsergebnissen. 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.

Evaluation procedures for the traffic and linking qualities of main roads

As a rule, main roads are a component of supralocal road networks but at the same time also represent important urban planning and urban traffic axes and are therefore situated in a conflicted area between the connectivity requirements of municipalities and urban districts and the service function of the urban infrastructural context with allied architectural and other peripheral utilities. First of all, the hubs of equivalent main roads are critical to network capacity because here roads with the same connection importance and correspondingly high traffic volumes coincide. The quality of traffic flow on the road sections between these hubs is on the other hand affected to a high degree by the respective utilization profiles of the road area that can be determined. The quality of traffic and connectivity in stretches urban main road and consequently also in main road networks are consequently not only dependent on the hubs, whose separations and the structure of the traffic signal control (their coordination quality is particularly important in this context) but also on the segments situated between them and their service 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 track centers flush with the street (Part 1) and
- on the other hand, definition of methods for determination of traffic and connectivity qualities in stretches of urban main roads while taking into account traffic flow on/at the individual systems and any network effects (Part 2).

The methods developed in this Part 2 for overall assessment of the traffic and connectivity qualities of stretches of road apply to all RAS-N (1988) Category C III or RIN Category HS III (2008) main roads. In addition adapted levels of connectivity-related service quality were deduced that enable practical evaluation of the accessibility quality in intraregional road networks.

The results are used as the basis for the updated HBS that is planned for 2009. Furthermore, they should also be used to objectify discussions on network design.

The original report contains additional information in the appendices, including information about allocation functions, definition procedures, network geometries and the simulation results. These appendices have not been included in this publication. They are available from the Federal Highway Research Institute and may be viewed there. Any references to the appendices in the body of the report have been retained for the information of the reader.

Inhalt

1 Ausgangslage und Zielsetzung 11

2 Bewertungsproblematik und Untersuchungsansatz 12

2.1 Definition von Verkehrs-, Verbindungs- und Angebotsqualitäten in städtischen Hauptverkehrsstraßennetzen 13

2.1.1 Verkehrsqualität einzelner und zusammenhängender Straßenverkehrsanlagen 15

2.1.2 Verbindungsqualität von Straßenzügen bzw. Netzabschnitten 17

2.1.3 Verbindungsbezogene Angebotsqualität in Straßennetzen 18

2.2 Differenzierung von Knotenpunkten und Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen 19

2.3 Bisherige Ansätze zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen 21

2.3.1 Verkehrsablauf auf Streckenabschnitten 21

2.3.2 Verkehrsablauf an Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignalanlage 22

2.3.3 Verkehrsablauf an Kreuzungen und Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen 24

2.3.4 Verkehrsablauf an Kreisverkehren 24

2.3.5 Verkehrsablauf in Straßenzügen 25

2.4 Schlussfolgerungen für die zu entwickelnden Bewertungsverfahren 27

3 Prinzip der Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Straßenzügen 30

3.1 Konzept zur Bewertung der Verkehrsqualität 31

3.1.1 Überführung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs von Einzelanlagen in numerische Bewertungsgrößen 31

3.1.2 Bestimmung der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs für einen Straßenzug 33

3.2 Konzept zur Bewertung der Verbindungsqualität 34

3.2.1 Festlegung der Verbindungsqualitätsstufen 34

3.2.2 Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit in einem Straßenzug 37

4 Typisierung von Hauptverkehrsstraßennetzen 38

4.1 Grundformen städtischer Straßennetze 38

4.1.1 Radial-Ring-Netze 38

4.1.2 Rasternetze 39

4.1.3 Lineare Netze 39

4.2 Überprüfung des Typisierungsansatzes 39

5 Empirische Untersuchungen des Verkehrsablaufs an ausgewählten Fallbeispielen 43

5.1 Auswahl der Straßenzüge 43

5.1.1 Grevenbroicher Straße (Mönchengladbach) 43

5.1.2 Zülpicher Straße (Köln) 44

5.1.3 Derendorfer Straße (Düsseldorf) 45

5.1.4 Grafenberger Allee (Düsseldorf) 46

5.1.5 Detmolder Straße (Bielefeld) 47

5.2 Durchführung und Auswertung der empirischen Untersuchungen 47

5.3 Erkenntnisse zum Verkehrsablauf aus den empirischen Untersuchungen 49

6 Zerlegung von Straßenzügen in Einzelanlagen 51

6.2 Bestimmung der Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen 51

6.2 Bestimmung der Streckenabschnitte 51

6.2.1 Analyse von Geschwindigkeitsprofilen zur Ermittlung der Streckenabschnittslängen 53

6.2.2 Ableitung eines Verfahrens zur Bestimmung der Einflussbereiche von Knotenpunkten 56
6.2.3 Festlegung der Streckenabschnitte und Bildung von Teilabschnitten 58

7 Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums durch mikroskopische Verkehrsflusssimulationen 59
7.1 Grundlagen des eingesetzten Simulationsmodells 59
7.2 Grundlagen der Kalibrierung und Validierung 60
7.3 Aufbau der Netzgeometrien und Validierung 61
7.4 Belastungsfälle 64
7.4.1 Variation der Kraftfahrzeugverkehrsstärke 64
7.4.2 Quantifizierung und Abbildung relevanter Erschließungsvorgänge 64
7.4.3 Belastungszustände aus Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus Verbindungs- und Erschließungsfunktion 70
7.5 Auswertung der Simulationen 72
7.5.1 Ermittlung von Dichte und Fahrtzeiten auf Streckenabschnitten 73
7.5.2 Ermittlung von Warte-, Verlust- und Fahrtzeiten an Knotenpunkten 75
7.5.3 Ermittlung von Fahrtzeiten in Straßenzügen 76

8 Schlussfolgerungen für die Bewertungsverfahren 76
8.1 Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf der Strecke und an Knotenpunkten 76
8.2 Bewertung der Verkehrsqualität von Straßenzügen 79
8.3 Bewertung der Verbindungsqualität von Straßenzügen 80
8.3.1 Differenzierte q-V_F-Beziehungen für Streckenabschnitte 80
8.3.2 Differenzierte t_W-V_F-Beziehungen für Knotenpunkte 81
8.3.3 Fahrgeschwindigkeiten in Straßenzügen 82
8.3.4 Überschlägige q-V_F-Beziehungen für Straßenzüge 83
8.4 Zusammenhang zwischen funktionaler Verkehrsqualität und Verbindungsqualität von Straßenzügen 84
8.5 Anwendungsmöglichkeiten 85

9 Betrachtung von Netzeffekten 86

10 Verknüpfung mit der verbindungsbezogenen Angebotsqualität in Straßennetzen 90
10.1 Festlegung des relevanten Entfernungsbereichs 90
10.2 Überprüfung der Stufen der Angebotsqualität 92
10.2.1 Ermittlung der erforderlichen Fahrgeschwindigkeit im übergeordneten Straßennetz 93
10.2.2 Betrachtung ausgewählter Innerorts-Relationen 95

11 Offene Fragen und weiterer Untersuchungsbedarf 98
11.1 Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren für Knotenpunkte 99
11.2 Berücksichtigung von Wechselwirkungen des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten und an Knotenpunkten 99
11.3 Konkretisierung der Geschwindigkeitsmodellierung für Strecken, Knotenpunkte und Straßenzüge 100
11.4 Bewertung von Netzqualitäten 100
11.5 Ableitung angepasster Stufen der verbindungsbezogenen Angebotsqualität 101

12 Fazit 101

Literatur 102

Glossar

B	(numerische) Bewertungsgröße des Verkehrsablaufs [-]
B_{HS}	(numerische) Gesamtbewertung des Verkehrsablaufs auf einem Hauptverkehrsstraßenzug [-]
B_K	(numerische) Bewertung des Verkehrsablaufs an einem Knotenpunkt [-]
B_S	(numerische) Bewertung des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt [-]
b_{FS}	Fahrstreifenbreite [m]
b_{SV}	Schwerverkehrsanteil [%]
C	Kapazität [Kfz/h] bzw. [Kfz/(h x Ri)]
C_Z	Kapazität einer Zufahrt [Kfz/h]
DTV_W	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke an Werktagen [Kfz/24 h]
F_{Kreis}	Kreisfläche [km^2]
f_U	Umwegfaktor [-]
g	Sättigungsgrad [-]
Kfz	Kraftfahrzeug
k	(mittlere) Dichte [Pkw-E/(km x Ri)]
k_i	Dichte innerhalb des Zeitintervalls ΔT_i [Kfz/km]
k_m	momentan erfasste Dichte zum Zeitpunkt t_m [Pkw-E/(km x Ri)]
$\bar{k}_m$	Mittelwert der fortlaufend momentan erfassten Dichten k_m [Pkw-E/(km x Ri)]
k_{max}	maximale Dichte [Pkw-E/(km x Ri)]
k_s	(mittlere) Dichte auf einem Streckenabschnitt [Pkw-E/(km x Ri)]
k_T	räumlich-zeitliche Dichte im Teilabschnitt [Kfz/km] bzw. mittlere Dichte im Teilabschnitt [Pkw-E/(km x Ri)]
L_{HS}	Länge des Hauptverkehrsstraßenzugs [m] bzw. [km]
$L_{F,HN}$	Länge des Fahrwegs im übergeordneten Straßennetz [km]
L_K	Knotenpunktabstand, bezogen auf die Knotenpunktmitte [m]
L'_K	Knotenpunktabstand als Abstand von Haltelinie zu Haltelinie [m]
L_{KE}	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts [m]
$L_{KE,Aus}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Ausfahrt, bezogen auf die Knotenpunktmitte [m]
$L'_{KE,Aus}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Ausfahrt, bezogen auf die Haltelinie [m]
$L_{KE,Zu}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Zufahrt, bezogen auf die Knotenpunktmitte [m]
$L'_{KE,Zu}$	Länge des Einflussbereichs eines Knotenpunkts in der Zufahrt, bezogen auf die Haltelinie [m]
$L_{KE,Zu,b}$	Länge des Annäherungsbereichs mit Geschwindigkeitsverzögerung [m]
L_{KI}	Abstand von der Haltlinie bis Knotenpunktmitte [m]
L_L	Luftlinienentfernung zwischen Quelle und Ziel [km]
L_R	Länge der Route zwischen Quelle und Ziel [km]
L_{RE}	Rückstaulänge bei Rotzeitende [m]
L_S	Länge des Streckenabschnitts außerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen [m]
L_{SE}	nutzbare Länge des Streckenabschnitts [m]
L_T	Länge des Teilabschnitts [m]
$L_{T,min}$	Mindestlänge eines Teilabschnitts [m]
L_{TE}	nutzbare Länge des Teilabschnitts [m]
Lkw	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
MIV	motorisierter Individualverkehr
N_{GE}	mittlerer Stau am Ende der Grünzeit [Kfz]
n'_D	Anteil der Durchfahrten ohne Halt [%]
n_{FG}	Anzahl der Anforderungen an bedarfsgesteuerten Fußgängerfurten [Anf.]
n'_{FG}	Anzahl der Anforderungen an bedarfsgesteuerten Fußgängerfurten pro 3 Umläufe [Anf./3 U]

n_{FS}	Anzahl der Fahrstreifen [?]
$n_{FS,K}$	Anzahl der Fahrstreifen in der Knotenpunktzufahrt [-]
$n_{FS,S}$	Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen im Querschnitt des betrachteten Streckenabschnitts [-]
$n_{FS,S,kr}$	Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen im Querschnitt auf der Strecke der kreuzenden Hauptverkehrsstraße [-]
n_{HS}	Anzahl der Hauptverkehrsstraßenzüge auf einer Route [-]
$n_{H,ÖV}$	Anzahl von Halten des ÖPNV [-]
n_{HV}	Haltevorgänge auf der Fahrbahn [Kfz/(h x Ri)]
n'_{HV}	Haltevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge [Kfz/(h x 100 m)]
$n_{HV,SE}$	Haltevorgänge auf der Fahrbahn im Streckenabschnitt [Kfz/(h x Ri)]
$n'_{HV,SE}$	Haltevorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge auf der Fahrbahn [Kfz/(h x 100 m)]
$n_{HV,T}$	Haltevorgänge auf der Fahrbahn im Teilabschnitt [Kfz/(h x Ri)]
n_K	Anzahl der Knotenpunkte [-]
n'_K	Dichte der Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen [KP mit LSA/km]
n'_{LA}	Linksabbiegeranteil [%]
$n'_{LA,S}$	Linksabbiegeranteil an Anschlussknotenpunkten im Streckenabschnitt [%]
n_{LSA}	Anzahl der Lichtsignalanlagen [-]
n'_{LSA}	relative Anzahl von Lichtsignalanlagen, [LSA/km]
n_{LV}	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn [Kfz/(h x Ri)]
n'_{LV}	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge [Kfz/(h x 100 m)]
$n_{LV,SE}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn im Streckenabschnitt [Kfz/(h x Ri)]
$n'_{LV,SE}$	Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Länge im Streckenabschnitt [Kfz/(h x 100 m)]
$n_{ÖV}$	Stadt-/Straßenbahnfrequenz [Strab/h]
n_{PV}	Einparkvorgänge [Kfz/(h x Ri)]
n'_{PV}	Einparkvorgänge je 100 m nutzbarer Länge [Kfz/(h x 100 m)]
$n_{PV,S}$	Anzahl stündlicher Parkvorgänge auf dem beobachteten Streckenabschnitt [Kfz/(h x Ri)]
$n_{PV,SE}$	Einparkvorgänge im Streckenabschnitt [Kfz/(h x Ri)]
$n'_{PV,SE}$	Einparkvorgänge je 100 m nutzbarer Länge im Streckenabschnitt [Kfz/(h x 100 m)]
n'_{qD}	Anteil des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs [%]
n_S	Anzahl der Streckenabschnitte [-]
n'_{tF}	Freigabezeitanteil [%]
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen
Pkw-E	Pkw-Einheit
QSV	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs
QSV_{HS}	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs des Hauptverkehrsstraßenzugs
QSV_K	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs an einem Knotenpunkt
QSV_{LS}	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs des Landstraßenzugs
QSV_S	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs auf einem Streckenabschnitt
q	Verkehrsstärke [Kfz/h] bzw. [Kfz/(h x Ri)]
q_B	Bemessungsverkehrsstärke [Kfz/(h x Ri)]
$q_{B,HS}$	Bemessungsverkehrsstärke für den Hauptverkehrsstraßenzug [Kfz/(h x Ri)]
q_G	Gegenverkehrsstärke [Kfz/(h x Ri)]
q_K	Verkehrsstärke des zu beachtenden Hauptstroms an Knotenpunkten [Kfz/h]
q_S	Sättigungsverkehrsstärke [Kfz/h]
q_{tats}	tatsächliche Verkehrsstärke [Kfz/h]
R	Kapazitätsreserve [Kfz/h]
RBL	rechnergestütztes Betriebsleitsystem

SAQ	Stufe der Angebotsqualität
S-Nr.	Streckenabschnitt-Nummer
Strab	Stadt-/Straßenbahn
s	Längsneigung [%]
T	Betrachtungszeitraum [s]
ΔT_i	Zeitintervall mit konstanter Dichte k_i [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]
$t_{F,ES}$	Fahrtzeit im Erschließungsstraßennetz [min]
$t_{F,ES,Q}$	Fahrtzeit im Erschließungsstraßennetz im Quellgebiet [min]
$t_{F,ES,Z}$	Fahrtzeit im Erschließungsstraßennetz im Zielgebiet [min]
$t_{F,HN}$	Fahrtzeit im übergeordneten Straßennetz [min]
$t_{F,HS}$	Fahrtzeit im Hauptstraßennetz [s] bzw. [min]
$t_{F,KE}$	Fahrtzeit im Einflussbereich des Knotenpunkts [s]
$t_{F,S}$	Fahrtzeit auf dem Streckenabschnitt [s]
t_f	Fahrtzeit bei freier Fahrt ohne Wartezeiten an Knotenpunkten und Haltezeiten auf der „freien“ Strecke [s]
$t_{f,KE}$	Zeit für die freie Durchfahrt durch den Einflussbereich des Knotenpunkts [s]
t_{Gr}	Grünzeit [s]
t_H	Haltezeit [s]
$t_{H,S}$	mittlere Zeit für einen Halt auf der „freien“ Strecke außerhalb der Knotenpunkte [s]
t_i	Zeit, die das Fahrzeug i innerhalb der betrachteten Weg-Zeit-Fläche verbringt [Kfz x s]
t_{PS}	Parksuchzeit [min]
t_R	(mittlere) Reisezeit als Fahrzeit über den zurückgelegten Weg zuzüglich Zu- und Abgangszeiten t_{Zu} und t_{Ab} sowie Parksuchzeiten t_{PS} [s] oder [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]
$t_{W,I}$	Grundwartezeit [s]
$t_{W,II}$	Reststauwartezeit [s]
t_Z	Zwischenzeit [s]
t_{Zu}	Zugangszeit [min]
τ	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]
$V_{F,HN}$	Fahrgeschwindigkeit im übergeordneten Straßennetz [km/h]
$V_{F,HS}$	Fahrgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßenzug [km/h]
$V_{F,KE}$	Fahrgeschwindigkeit im Einflussbereich des Knotenpunktes [km/h]
$V_{F,ÖV}$	Fahrgeschwindigkeit des ÖPNV [km/h]
$V_{F,qD}$	mittlere Fahrgeschwindigkeit des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs [km/h]
$V_{F,S}$	Fahrgeschwindigkeit auf Streckenabschnitt [km/h]
$V_{F,Ziel}$	angestrebte Fahrgeschwindigkeit [km/h]
V_f	freie Fahrgeschwindigkeit [km/h]
V_L	Luftliniengeschwindigkeit [km/h]

V_M	mittlere Geschwindigkeit [km/h]
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]
V_{zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]
VQS	Verbindungsqualitätsstufe
VQS_{HS}	Verbindungsqualitätsstufe des Hauptverkehrsstraßenzugs

1 Ausgangslage und Zielsetzung

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 (zur Definition siehe Kapitel 2.1.1 und 2.1.2) innerörtlicher Hauptverkehrsstraßenzüge 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.[1]

Mit den Verfahren des HBS (2001/2005) können Einzelanlagen im Straßennetz, 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 ist hier jeweils die mittlere Wartezeit t_W (in s).[2]

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 im Streckenabschnitt, die Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs erfolgt dabei in Abhängigkeit von der Kraftfahrzeugverkehrsstärke sowie unterschiedlichen Ausprägungen von Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion, wie Linksabbieger (an Knotenpunkten mit nachrangigen Erschließungsstraßen 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, vom Kraftfahrzeugverkehr mitbenutzten Bahnkörpern konnte bislang noch kein schlüssiges Qualitätsstufenkonzept abgeleitet werden.[3] Gerade in angebauten Hauptverkehrsstraßen 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. Gleichermaßen hat aber auch der Kraftfahrzeugverkehr einen Einfluss auf den Stadt-/Straßenbahnverkehr.

Des Weiteren erfolgt mit den Verfahren des HBS (2001/2005) für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage sowie mit dem von BAIER et al.

---

1 Als Straßenzug wird hier die Folge von Streckenabschnitten und Knotenpunkten verstanden (zur Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen siehe Kapitel 2.2). Häufig wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff der Strecke verwendet, um aber Verwechselungen 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, 2008a; siehe auch Kapitel 2.1.2).

2 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 2.3.2) – weisen bei Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage unterschiedliche Bezüge auf (vgl. SCHUCKLIEß/BAIER/BAUR, 2003). Inwieweit sich diese Differenzen letztendlich auf die Bewertung auswirken, bleibt zu überprüfen; hierauf wird noch in Kapitel 2.3.6 eingegangen.

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

(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)[4] her. Da die in den RIN (2008) als Zielgröße definierte angestrebte Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ auf einem Netzabschnitt (zur Definition siehe Kapitel 3.2.1) ebenso wie die erreichbare Verkehrsqualitätsstufe gemäß dem HBS (2001/2005) eine Vorgabe für die Ausbildung einer Straße bildet, ist eine solche Verknüpfung jedoch anzustreben.

Vor diesem Hintergrund werden mit diesem Forschungsvorhaben 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 Teils 1 (vgl. SÜMMERMANN et al., 2008) sind ein erforderlicher Input für die Bearbeitung des hier vorliegenden Teils 2, da erst hiermit Qualitätsstufenkonzepte für alle relevanten Fahrbahnquerschnitte von Hauptverkehrsstraßen vorliegen. Die beiden Teile werden dabei teilweise parallel bearbeitet und somit sich ergebende Synergieeffekte genutzt, jedoch getrennt veröffentlicht. Durch diese vorgenommene Trennung ergeben sich zwangsläufig inhaltliche Redundanzen (z. T. identische Textpassagen), beide Berichte sind somit aber unabhängig voneinander lesbar.

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. Darüber hinaus sind zur Bestimmung der Verbindungsqualitäten städtischer Hauptverkehrsstraßenzüge auch makroskopische Verkehrssimulationen (Umlegungsrechnungen) zur Berücksichtigung netzspezifischer Effekte erforderlich. Die Wahl einer Route für eine Relation (Quelle-Ziel-Beziehung, z. B. von einem Stadtteil in das Stadtzentrum) hängt von der Verbindungsqualität des zugehörigen Straßenzugs ab, die wiederum von der Qualität des Verkehrsablaufs der einzelnen Streckenabschnitte und Knotenpunkte beeinflusst werden kann. Eine Veränderung der Verbindungsqualität eines Straßenzugs durch beispielsweise die Überlastung einer oder mehrerer Einzelanlagen kann je nach betrachtetem Netz bzw. Netzausschnitt zur Wahl einer anderen Route führen.

Als Ergebnis des hier vorliegenden Teils 2 sollen Verfahren bereitgestellt werden, die es erlauben, unterschiedliche Veränderungen des städtischen Straßennetzes in ihren Auswirkungen zu analysieren und zu prognostizieren. Diese Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßenzügen sollen u. a. auch dazu dienen, die örtlichen Diskussionen zur Netzgestaltung (z. B. Sperrungen von Straßenzügen für den MIV, Anlage von Netzergänzungen, Kapazitätsreduktionen in stark belasteten Straßen) zu objektivieren.[5] Somit kann ein Beitrag zur Versachlichung der Diskussion um die Straßennetzgestaltung geleistet werden.

2 Bewertungsproblematik und Untersuchungsansatz

Bei der Betrachtung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen ist zum einen die Funktion dieser für die verkehrliche Verbindung und Erschließung, zum anderen deren infrastrukturelle Dimensionierung zu berücksichtigen. Letztere (hierzu gehören neben dem Fahrbahnquerschnitt auch die Abstände und die Lichtsignalsteuerung der Knotenpunkte) beeinflusst sowohl die Verkehrs- als auch die Verbindungsqualität eines Straßenzugs.

---

4 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 auf die Endfassung der RIN (Stand: 17. Oktober 2008), andernfalls wird die jeweilige Entwurfsfassung explizit benannt.

5 Bisher stützten sich diese Diskussionen nur auf subjektive Eindrücke und bestenfalls empirische Ergebnisse aufwändiger Messfahrten auf ausgesuchten Routen (siehe Kapitel 2.1).

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)[6] und im straßengebundenen ÖPNV sowie auch im Radverkehr, die deren jeweilige Verbindungsansprüche beschreiben.

Die Erschließungsfunktion wird bestimmt durch Art und Maß der städtebaulichen Umfeldnutzungen 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. Hier sind ebenfalls die straßenverkehrsrechtlichen Maßnahmen (Verkehrsregelung) zu betrachten. Dies gilt vor allem für die V_{zul}, da diese gegebenenfalls die Intensität der Auswirkungen einzelner Erschließungsvorgänge auf den Verkehrsablauf beeinflusst (HÖFLER, 1994, SCHLEICHER-JESTER, 1996).

2.1 Definition von Verkehrs-, Verbindungs- und Angebotsqualitäten in städtischen Hauptverkehrsstraßennetzen

Bereits im Rahmen der neuen Generation der Verkehrsentwicklungsplanung als Nachfolger der Generalverkehrsplanung ab Mitte der 1980er Jahre wurden Verkehrs- und Verbindungsqualitäten in städtischen Hauptverkehrsstraßennetzen analysiert. Diese bezogen sich in der Regel auf ausgewählte Routen wichtiger innerstädtischer Verbindungen und sollten sowohl die Verkehrs- und Verbindungsqualitäten im Kraftfahrzeugverkehr absolut, d. h. gemessen an Standards, als auch relativ im Vergleich zum ÖPNV darstellen. Als Kenngrößen dienten die Fahrtzeit t_F bzw. die Fahrgeschwindigkeit V_F sowie auch das zeitliche und räumliche Ausmaß von Stauerscheinungen.[7]

Dies zeigt u. a. eine Studie zur Verkehrsentwicklung in Bremen (APPEL/BAIER/HARTLICH, 1988). Die Beurteilung der Qualität des Straßennetzes für den MIV erfolgte hier anhand von Fahrtzeiten t_F bzw. -geschwindigkeiten V_F, die durch Messfahrten an Werktagen während der Spitzenstunden sowie zum Vergleich in den übrigen Zeiten ermittelt wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass (von kurzen Zeiten mit ausgeprägten Verkehrsspitzen abgesehen) Stauerscheinungen mit Fahrgeschwindigkeiten V_F unter 30 km/h nur auf kurzen Netzabschnitten auftraten. Temporär hohe Belastungen zwischen einem großen Automobilwerk und der nächsten Autobahnanschlussstelle zu Schichtwechselzeiten bedingten sogar eine mittlere V_F nahe 10 km/h. Zu weiteren kurzen Stauerscheinungen führte morgens und abends der Zusammenfluss starker Verkehrsströme in einem Teilbereich des Netzes. Auf fast allen untersuchten Hauptverkehrsstraßen wurden selbst zu Spitzenzeiten – von lokalen verkehrlichen Engpässen abgesehen – über längere Routen durchaus die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ von 30 km/h bis 50 km/h erreicht.[8]

Ein weiteres Beispiel hierzu stellen BAIER et al. (1993) in ihren Untersuchungen zum Verkehrsentwicklungsplan für Ulm/Neu-Ulm dar. Hier wurde die Qualität des Straßennetzes ebenfalls über Fahrgeschwindigkeiten V_F ausgedrückt, die durch Messfahrten ermittelt wurden. Das Ergebnis zeigt, dass die Qualität im Kraftfahrzeugverkehrsablauf in vielen Hauptverkehrsstraßen über den Tag insgesamt hoch war. Selbst während der Hauptverkehrszeiten traten nur an wenigen Punkten der Fahrtrouten ausgedehnte Stausituationen auf. Außerhalb der Spitzenstunden herrschte in der Regel ein „normaler“, z. T. sogar flüssiger Verkehrsablauf. Die drei Beispiele in Bild 1 sollen dies verdeutlichen:

---

6 Nach ANGENENDT et al. (1983) hat der Schwerverkehr jedoch innerorts keinen relevanten Einfluss auf die Qualität des Verkehrsablaufs in Streckenabschnitten, an Knotenpunkten dagegen kann der Schwerverkehr die Verkehrsqualität durchaus beeinflussen (vgl. z. B. HOFFMANN/NIELSEN, 1994).

7 Die Fahrgeschwindigkeit V_F ergibt sich aus der Länge eines zurückgelegten Fahrwegs L_F und der dazu benötigten Zeit einschließlich aller verkehrlich bedingter Warte-/Haltezeiten t_W bzw. t_H (= Fahrtzeit t_F). In der Literatur wird hierfür z. T. auch der Begriff der Reisegeschwindigkeit V_R verwendet (vgl. hierzu STEIERWALD/HEINZ, 1984), im Sinne der RIN (2008) ergibt sich die verbindungsbezogene Reisegeschwindigkeit V_R jedoch aus der Fahrtzeit t_F über den Weg der Länge L_F zuzüglich der Zu-/Abgangszeiten t_{Zu} und t_{Ab} sowie eventueller Parksuchzeiten t_{PS} (siehe Kapitel 2.1.3).

8 Die Zielgrößen von 30 km/h bis 50 km/h entsprechen den angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ auf Hauptverkehrsstraßen der Kategorie C III nach den RAS-N (1988); siehe hierzu auch Tabelle 1 in Kapitel 2.1.2.

- Auf der Route 1 traten Staus während der nachmittäglichen Spitzenstunde in zwei relativ kurzen Abschnitten auf,
- auf der Route 2 war während der morgendlichen Spitzenstunde durchgängig ein flüssiges Fahren möglich,
- auf der Route 3 staute sich der Kraftfahrzeugverkehr während der nachmittäglichen Spitzenstunde nur in einem kurzen Bereich.

In jüngerer Zeit wurden ähnliche Untersuchungen z. B. für den mittleren Ring in München von SCHÜTTE/BOGENBERGER/ERNHOFER (1999)

Bild 1: Ergebnisse der Messfahrten in Ulm/Neu-Ulm für drei ausgewählte Routen (BAIER et al., 1993)

durchgeführt. Wesentliche Qualitätskenngröße war auch hier die Fahrtzeit t_F.

Potenzielle Anwendungsfälle für Untersuchungen der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßennetzen machen zwei weitere Arbeiten deutlich: SOBOTTA/NUßRAINER (2000) führten Fahrtzeitmessungen ausgewählter Routen in München durch, BRÜCKNER/GERLACH (2000) analysierten die Auswirkungen der Umgestaltung der B 7 in Wuppertal. Damit werden zwei wichtige Aspekte innerstädtischer Netze betrachtet, nämlich das Vorhandensein bzw. die Nutzung von Alternativrouten und die Auswirkungen von Umgestaltungsmaßnahmen auf die Verkehrs- und Verbindungsqualitäten.

Allen genannten Untersuchungen gemein ist, dass sie sich auf empirische Messfahrten stützen. Diese sind somit zwar zur Bewertung des Status quo, aber nicht eines geplanten Zustands geeignet. Die dargestellten Beispiele verdeutlichen aber auch, dass jeweils sowohl Verkehrs- als auch Verbindungsqualitäten bewertet werden, ohne diese genauer voneinander abzugrenzen. Im Hinblick auf die vorgesehene Entwicklung differenzierter Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen sowie deren Verknüpfung erscheint es notwendig, vorab die unterschiedlichen „verkehrsablaufbezogenen" Qualitäten zu definieren und eindeutig voneinander abzugrenzen bzw. deren Abhängigkeiten darzustellen. Dies betrifft

- die funktionale Qualität des Verkehrsablaufs einzelner Straßenverkehrsanlagen (im Weiteren auch als Verkehrsqualität bezeichnet) und

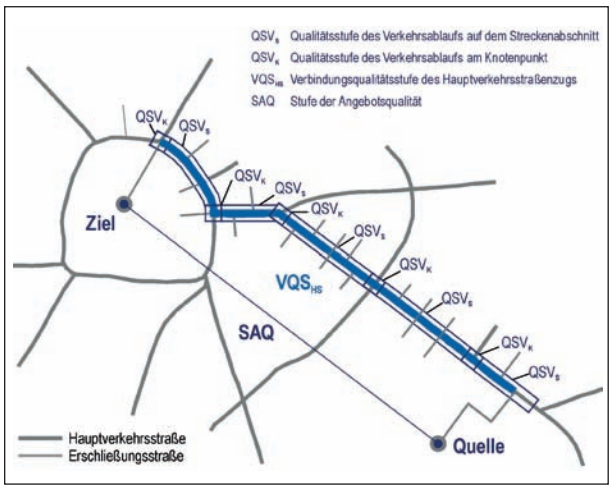


Bild 2: Bezugselemente von Verkehrs-, Verbindungs- und Angebotsqualitäten innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze

- die verbindungsbezogene Verkehrsqualität von Straßenzügen bzw. Netzabschnitten (im Weiteren als Verbindungsqualität bezeichnet) sowie
- die verbindungsbezogene Angebotsqualität von Straßennetzen.

In der Literatur wird die im HBS (2001/2005) beschriebene Qualität des Verkehrsablaufs, welche gemäß den Begriffsbestimmungen der FGSV (2000) die „zusammenfassende Gütebeurteilung des Verkehrsflusses" darstellt, häufig auch verkürzt als Verkehrsqualität bezeichnet (vgl. beispielsweise BRILON/WEISER, 2004) bzw. die beiden Begriffe werden synonym verwendet. Dabei werden in der Regel einzelne Anlagen betrachtet. In den RIN (2008) wird der Begriff der Verkehrsqualität dagegen im Zusammenhang mit der Verbindungsfunktion von Straßen verwendet. Gleichzeitig verwenden bereits die RAS-N (1988) im Zusammenhang mit der Übertragung der Verbindungsfunktionsstufen auf das Straßennetz den Begriff der Verbindungsqualität. Diese bezieht sich auf Netzabschnitte, also Straßenzüge. Des Weiteren wird in den RIN (2008) die verbindungsbezogene Angebotsqualität beschrieben, die sich auf das gesamte Netz bezieht. FRIEDRICH (2005) bezieht den Begriff der Angebotsqualität darüber hinaus auf Einzelanlagen, meint aber die Qualität des Verkehrsablaufs im Zusammenhang mit der verkehrstechnischen Bemessung einer Straßenverkehrsanlage. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer eindeutigen Definition und Abgrenzung der verschiedenen „verkehrsablaufbezogenen" Qualitäten von einzelnen und zusammenhängenden Straßenverkehrsanlagen sowie gesamten Straßennetzen.

In Bild 2 werden die unterschiedlichen „Bezugselemente" dieser drei Qualitäten verdeutlicht. Die Verkehrsqualität und auch die Verbindungsqualität beziehen sich unmittelbar auf die zu bewertenden Straßenverkehrsanlagen (Streckenabschnitte und Knotenpunkte bzw. Straßenzug als Folge von Einzelanlagen) und deren jeweilige Längen, die Erreichbarkeitsqualität in einem Straßennetz auf die Quelle-Ziel-Verbindung bzw. konkret auf die Luftlinienentfernung zwischen diesen.

2.1.1 Verkehrsqualität einzelner und zusammenhängender Straßenverkehrsanlagen

Die Verkehrsqualität dient als Maßstab, ob und wie der Verkehr auf/an einer Straßenverkehrsanlage in Abhängigkeit der verkehrlichen, entwurfstechni-

schen und umfeldbezogenen Randbedingungen abgewickelt werden kann. Dazu erfolgt nach dem HBS (2001/2005) die Einordnung in eine von sechs Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs A bis F (kurz: QSV), die eine Vergleichbarkeit ermöglichen sollen. Die Verkehrsqualität beschreibt letztendlich die „Bewegungsfreiheit“ der Verkehrsteilnehmer auf/an einer Straßenverkehrsanlage und bewertet somit die Funktionalität dieser Anlage unter den jeweiligen Randbedingungen.

Diese Betrachtung bezieht sich für innerörtliche Straßen ebenso wie für Landstraßen bislang nur auf einzelne Anlagen, also auf Streckenabschnitte und Knotenpunkte getrennt (zur Differenzierung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten von Hauptverkehrsstraßen siehe auch Kapitel 2.2). Qualitätskriterien für den Kraftfahrzeugverkehr sind die mittlere Verkehrsdichte im Streckenabschnitt k_S (siehe Kapitel 2.3.1) sowie die mittlere Wartezeit am Knotenpunkt t_W (siehe Kapitel 2.3.2 bis 2.3.4).

Die übergreifende Bewertung von Straßenzügen als Folge von Streckenabschnitten und Knotenpunkten ist mit den bestehenden Verfahren zur Verkehrsqualitätsbewertung nicht möglich.[9] Diese Einschränkung hat laut dem HBS (2001/2005) zur Folge, dass keine Verknüpfung mit der verbindungsbezogenen Bewertung nach den RAS-N (1988) bzw. den RIN (2008) herstellbar ist.

Von SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007) wurde inzwischen ein Verfahren zur übergreifenden Beurteilung der Verkehrsqualität auf zweistreifigen Landstraßen entwickelt. Dabei zeigte sich, dass auch mit einer zusammenfassenden Bewertung auf Basis der Qualitätsstufen der einzelnen Streckenabschnitte $QSV_{S,i}$ und Knotenpunkte $QSV_{K,i}$ durch eine längengewichtete Mittelwertbildung – ähnlich wie bei Autobahnabschnitten (vgl. HBS, 2001/2005) über eine Bewertungsskala für die einzelnen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ – zu einer Qualitätsstufe des Landstraßenzugs QSV_{LS} ebenfalls keine Verknüpfung mit der verbindungsbezogenen Bewertung – deren Kriterium die Fahrgeschwindigkeit V_F über den Straßenzug ist – herstellbar ist.[10]

Hintergrund ist einerseits, dass der Kraftfahrzeugverkehrsablauf auf Landstraßen, wie auf Hauptverkehrsstraßen, nur an Knotenpunkten mit einer zeitbezogenen Größe bewertet wird (mittlere Wartezeit t_W), die wiederum einen direkten Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeit V_F hat. Der Verkehrsablauf auf der „freien“ Strecke dagegen wird auf Landstraßen, wie auch auf Hauptverkehrsstraßen, mit einer raumbezogenen Größe bewertet (mittlere Dichte k_S). Die sich hieraus ergebende QSV_S hat keinen Bezug zur Fahrgeschwindigkeit V_F auf dem Abschnitt, da bei geringer Verkehrsstärke q zwar eine geringe Dichte k_S vorherrscht und damit eine hohe Qualitätsstufe erreicht wird, gleichzeitig aber je nach Streckencharakteristik (bei Landstraßen die Längsneigung s und die Kurvigkeit K_U, bei Hauptverkehrsstraßen die aus der Erschließungsfunktion resultierenden Störeinflüsse) nur eine geringe Fahrgeschwindigkeit V_F erreichbar sein kann.

Andererseits hat aber vor allem die Anzahl der Knotenpunkte im Verlauf eines Straßenzugs einen maßgebenden Einfluss auf die erreichbare Fahrgeschwindigkeit V_F, wie das vereinfachte Beispiel in Bild 3 verdeutlicht: Ausgehend von einer freien Geschwindigkeit V_f in Höhe der V_{zul} von 30 km/h bzw. 50 km/h und einer mittleren Wartezeit t_W an Lichtsignalanlagen (an Knotenpunkten oder auch dazwischenangeordnete Fußgängerlichtsignalanlagen)

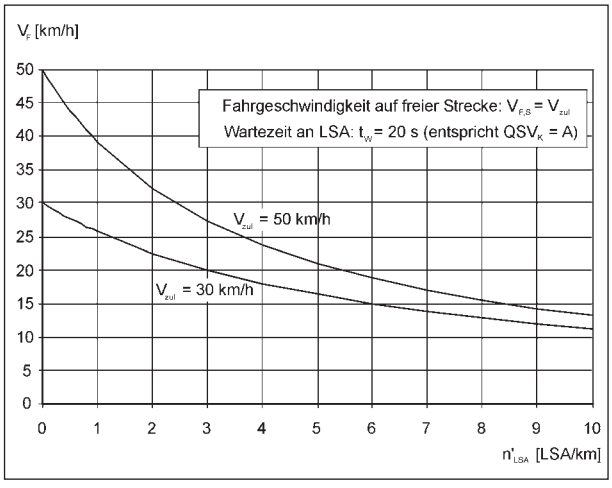


Bild 3: Fahrgeschwindigkeit V_F auf einer Hauptverkehrsstraße in Abhängigkeit der Anzahl von Lichtsignalanlagen je km n'_{LSA} bei einer Wartezeit t_W von jeweils 20 s

9 Für innerörtliche Straßenverkehrsanlagen sind bislang im HBS (2001/2005) für den Kraftfahrzeugverkehr nur Verfahren zur Verkehrsqualitätsbewertung von Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage enthalten (siehe Kapitel 2.3.2 bis 2.3.4), zur Bewertung der Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen wurden inzwischen von BAIER et al. (2003), BAIER (2006) und zuletzt SÜMMERMANN et al. (2008; Teil 1 dieses Forschungsvorhabens) entsprechende Grundlagen erarbeitet (siehe Kapitel 2.3.1).

10 Auf Grund der Betrachtung von Streckenabschnitten bzw. Knotenpunkten als Einzelanlagen werden die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs hier zur Unterscheidung mit QSV_S bzw. QSV_K bezeichnet; vgl. auch SÜMMERMANN et al., 2008).

von jeweils 20 s – dies entspricht nach dem HBS (2001/2005) noch der Qualitätsstufe A – nimmt die V_F insgesamt mit zunehmender Lichtsignaldichte n'_{LSA} ab.[11] Dies bestätigt die Ergebnisse von WARDROP (1968), der ebenfalls aufgezeigt hat, dass durch geringere Knotenpunktabstände bzw. die sich hieraus ergebende zunehmende Knotenpunktdichte die Fahrgeschwindigkeit V_F abnimmt.

Eine Fahrgeschwindigkeit V_F auf den Abschnitten zwischen den Knotenpunkten mit der dort zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul} ist auf Hauptverkehrsstraßen unter idealen Bedingungen (störungsfreier Verkehrsablauf) in der Regel möglich (vgl. BAIER, 2006). Bei gleichzeitig entsprechend geringen Kraftfahrzeugverkehrsstärken q von bis zu 500 Kfz/(h x Ri) auf zweistreifigen und bis zu etwa 800 Kfz/(h x Ri) auf vierstreifigen Hauptverkehrsstraßen herrscht unter diesen Bedingungen auch eine geringe Verkehrsdichte k_S im Streckenabschnitt, sodass die Verkehrsqualität dort ebenfalls der Stufe A entspricht (siehe Kapitel 2.3.1).

Somit würde im Idealfall auf allen Streckenabschnitten und an allen Knotenpunkten jeweils die Verkehrsqualitätsstufe A erreicht. Infolgedessen kann auch eine hieraus resultierende Gesamtverkehrsqualität nur der Stufe A entsprechen – und zwar unabhängig von der Anzahl der Einzelanlagen –, jedoch nur nominell, da die erreichbare Fahrgeschwindigkeit V_F über den Straßenzug, wie Bild 3 ja eindeutig zeigt, nicht unabhängig von der Anzahl der Einzelanlagen, insbesondere der Knotenpunkte, ist. Zu diesem Ergebnis kommen auch SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007). Das von ihnen entwickelte Verfahren ermöglicht deshalb ausschließlich die Bestimmung einer Verkehrsqualitätsstufe für einen Landstraßenzug QSV_{LS} auf Basis der Qualitätsstufen der Einzelanlagen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$, jedoch ohne die Zuordnung dieser QSV_{LS} zu einer verkehrlichen Kenngröße als Maß der Verkehrsqualität.

[11] Bei dieser vereinfachten Betrachtung wird vernachlässigt, dass innerhalb des räumlichen Einflussbereichs eines Knotenpunkts (siehe hierzu Kapitel 6.2.2) die Geschwindigkeit geringer ist als auf der „freien" Strecke.

[12] Die RASt (2006), welche die EAE (1985/1995) und die EAHV (1993) ersetzen, definieren neben dem Verkehrsablauf noch weitere Zielfelder wie z. B. die Umfeldverträglichkeit, denen sich jeweils entwurfsrelevante, straßenraumspezifische Ziele zuordnen lassen und für deren Bewertung nach BAIER (2006) ebenfalls spezifische Qualitätsstandards erforderlich sind.

2.1.2 Verbindungsqualität von Straßenzügen bzw. Netzabschnitten

Zusätzlich ist die Einhaltung der aus der Netzplanung vorgegebenen Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ nach den RAS-N (1988) bzw. den RIN (2008) zu überprüfen. SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007) haben auch hierzu für Landstraßen bereits ein Verfahren entwickelt. Eine Qualitätseinstufung der ermittelten Fahrgeschwindigkeit V_F erfolgt dabei jedoch nicht, da hierzu bislang kein Qualitätsstufenkonzept abgeleitet werden konnte. Die Festlegung von Verbindungsqualitätsstufen erscheint aber im Hinblick auf die wünschenswerte Verknüpfung der auf einer Straßenverbindung erreichbaren mittleren Fahrgeschwindigkeit V_F mit der verbindungsbezogenen Angebotsqualität des Netzes nach den RIN (2008) erforderlich. Dies gilt umso mehr, als dass die „verkehrliche Qualität" einer Hauptverkehrsstraße nach den EAHV (1993) u. a. von der Qualität für den verbindungsbezogenen Durchgangsverkehr abhängig ist.[12]

Vor diesem Hintergrund werden hier als Bewertungsmaßstab für erreichbare Fahrgeschwindigkeiten V_F – analog zum Konzept der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs aus dem HBS (2001/2005) – sechs Verbindungsqualitätsstufen (kurz: VQS) definiert. Diese Bewertung der verbindungsbezogenen Verkehrsqualität von Straßenzügen bzw. Netzabschnitten soll die Bewertung der funktionalen Verkehrsqualität ergänzen.

Die Ausgangsbasis für eine Festlegung spezifischer Verbindungsqualitätsstufen sollte die in den RAS-N (1988) bzw. den RIN (2008) für die einzelnen Straßenkategorien jeweils vorgegebene angestrebte Pkw-Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ sein. In Tabelle 1 sind die $V_{F,Ziel}$ für innerörtliche Straßen der

Straßenkategorie		$V_{F,Ziel}$ [km/h]
C III	Hauptverkehrsstraße gemäß RAS-N (1988)	30 – 50
C IV	Hauptsammelstraße gemäß RAS-N (1988)	30 – 40
HS III	Ortsdurchfahrt, gemeindliche Hauptverkehrsstraße gemäß RIN (2008)	20 – 30
HS IV	Ortsdurchfahrt, gemeindliche Hauptverkehrsstraße gemäß RIN (2008)	15 – 25

Tab. 1: Angestrebte Pkw-Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ für angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete mit maßgebender Verbindungsfunktion gemäß den RAS-N (1988) und angebaute Hauptverkehrsstraßen gemäß den RIN (2008)

Kategoriengruppe C gemäß den RAS-N (1988) sowie der Kategoriengruppe H_S gemäß den RIN (2008) angegeben. Diese beinhalten auch Zeitverluste an Knotenpunkten und gelten somit für Straßenzüge als Netzabschnitte (vgl. RIN, 2008).[13] Die Festlegung der Verbindungsqualitätsstufen erfolgt in Kapitel 3.2.1.

Die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ gemäß den RAS-N (1988) bzw. den RIN (2008) stehen im Einklang mit den aus dem ROG abgeleiteten raumordnungspolitischen Erreichbarkeitsvorgaben. Des Weiteren bilden sie nach den RIN (2008) die Vorgaben für den Ausbauzustand einer Straße (insbesondere Fahrbahnquerschnitt, Knotenpunktart) und sind zugleich Zielvorgaben für die verkehrstechnische Bemessung nach dem HBS (2001/2005), da diese möglichst auch zu Zeiten mit hohem Verkehrsaufkommen erreichbar sein sollten. Dass eine gute Qualität des Verkehrsablaufs auf/an einzelnen Straßenverkehrsanlagen – wie dargelegt – jedoch nicht zwangsläufig auch eine hohe Fahrgeschwindigkeit V_F ermöglicht, wird dabei bislang außer Acht gelassen.

Auffällig ist, dass die in den RIN (2008) vorgegebenen Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ für die Straßenkategorien HS III und HS IV unter den Vorgaben der RAS-N (1988) für die Straßenkategorien C III und C IV liegen (vgl. Tabelle 1), obwohl diese Kategorien sich eigentlich jeweils entsprechen, d. h., die Straßenkategorien HS III und HS IV der RIN (2008) ersetzen die bisherigen Kategorien C III und C IV der RAS-N (1988). Eine Erklärung für diese Reduzierung findet sich in den RIN (2008) selbst nicht, sondern ergibt sich nur aus dem direkten Vergleich der in den RAS-N (1988) bzw. den RIN (2008) definierten Randbedingungen für diese Vorgaben: Erstere führen (wenn auch bezogen auf Netzabschnitte von Außerortsstraßen) aus, dass eine gute Verbindungsqualität vorliegt, wenn die oberen Grenzwerte der angestrebten Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ erreicht oder überschritten werden, nach den RIN (2008) gelten die vorgegebenen Zielgrößen der $V_{F,Ziel}$ dagegen für eine angemessene, also geringere Qualität. Auf Qualitätsstufen übertragen kann daraus interpretiert werden, dass die $V_{F,Ziel}$ der RAS-N (1988) der unteren und oberen Grenze einer Verbindungsqualitätsstufe B, die $V_{F,Ziel}$ der RIN (2008) dagegen den Grenzen einer Verbindungsqualitätsstufe C entsprechen (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.1). Diese Interpretation wird durch die im RIN-Entwurf (2007) als Zielvorgabe für Straßen der Kategorie HS III ursprünglich angestrebten $V_{F,Ziel}$ von 30 km/h bis 40 km/h untermauert.[14] Diese erscheinen als Vorgaben für eine gute Verbindungsqualität realistischer als die in den RAS-N (1988) geforderten $V_{F,Ziel}$ von bis zu 50 km/h, die auf Straßen mit einer V_{zul} von in der Regel 50 km/h nicht oder nur bei regelwidrigem Verhalten mit (deutlicher) Überschreitung der V_{zul} erreichbar sind.

2.1.3 Verbindungsbezogene Angebotsqualität in Straßennetzen

Die verbindungsbezogene Angebotsqualität einer Relation in einem Netz bezieht sich auf den Zeitaufwand für eine Quelle-Ziel-Beziehung, d. h. die Gesamtreisezeit t_R einschließlich der „Erschließungsdauer“ (Zu- und Abgangszeiten t_{Zu} und t_{Ab}, eventuelle Parksuchzeiten t_{PS}).[15] Die sich aus der gesamten Fahrtzeit t_F über den Weg (im Haupt- sowie im untergeordneten Netz) einschließlich aller verkehrlich bedingter Warte- bzw. Haltezeiten t_W bzw. t_H zuzüglich der genannten Zeiten der „Erschließungsdauer“ ergebende Reisegeschwindigkeit V_R einer Route ist als Bewertungsgröße nicht ausreichend, da es in einem Straßennetz zwischen Quelle und Ziel mehrere Routen mit unterschiedlichen verbindungsbezogenen Angebotsqualitäten geben kann. Zur deren Bewertung wird deshalb in den RIN (2008) die Luftliniengeschwindigkeit V_L, die sich aus der auf die Luftlinienentfernung L_L zwischen Quelle und Ziel bezogenen Reisezeit t_R ergibt, herangezogen. Für innerörtliche Straßennetze ergibt sich die V_L mit Gleichung 1 zu

$$V_L = \frac{L_L}{t_R} \cdot 60 = \frac{L_L}{t_{Zu} + t_F + t_{PS} + t_{Ab}} \cdot 60 \,[\text{km/h}] \qquad \text{Gl. 1}$$

mit

V_L Luftliniengeschwindigkeit [km/h]

L_L Luftlinienentfernung zwischen Quelle und Ziel [km]

---

[13] Nach den RAS-N (1988) beziehen sich die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ auf Straßenabschnitte, gemeint sind damit aber – wie in den RIN (2008) – Netzabschnitte (zur Definition siehe Kapitel 3.2.1).

[14] Diese Zielvorgaben stammen aus der Entwurfsfassung 2007 der RIN (Stand: 29. Juni 2007). Alle weiteren Bezüge auf den RIN-Entwurf 2007 beziehen sich ebenfalls auf die Fassung mit Stand vom 29. Juni 2007.

[15] Die Bewertung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität ist Bestandteil einer umfassenden Erreichbarkeitsanalyse (vgl. FRIEDRICH, 2005).

t_R Reisezeit zwischen Quelle und Ziel [min]

t_{Zu} Zugangszeit [min]

t_F Fahrtzeit [min]
$t_F = t_{F,HS} + t_{F,ES}$ [min]
- $t_{F,HS}$ Fahrtzeit im Hauptverkehrsstraßennetz [min]
- $t_{F,ES}$ Fahrtzeit im Erschließungsstraßen netz [min]

t_{PS} Parksuchzeit [min]

t_{Ab} Abgangszeit [min]

Diese berücksichtigt implizit die zurückgelegte Entfernung und eignet sich somit für den Vergleich des Zeitaufwands (= Reisezeit t_R) von Quelle-Ziel-Beziehungen mit unterschiedlichen Entfernungen. Darüber hinaus wird hiermit dem Umstand Rechnung getragen, dass im bestehenden Netz erhebliche Entfernungsunterschiede zwischen zentralen Orten vorhanden sind.

Neben dem Kriterium des Zeitaufwands mit der Luftliniengeschwindigkeit V_L als Bewertungsgröße dient nach den RIN (2008) zur Beurteilung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität eines Straßennetzes auch die Direktheit einer Relation. Bewertungsgröße ist der Umwegfaktor f_U, dessen Bedeutung umso wichtiger ist, je größer die Luftlinienentfernung L_L und je höher die Verbindungsfunktionsstufe ist. Der Umwegfaktor f_U ergibt sich aus der auf die Luftlinienentfernung L_L bezogenen Routenlänge L_R, also dem gesamten Fahrweg zwischen Quelle und Ziel (Gleichung 2):

$$f_U = \frac{L_R}{L_L} \text{ [-]} \qquad \text{Gl. 2}$$

mit

f_U Umwegfaktor [-]

L_R Länge der Route zwischen Quelle und Ziel [km]

L_L Luftlinienentfernung zwischen Quelle und Ziel [km]

Zur Beurteilung von Relationen in Straßennetzen werden beide Bewertungsgrößen (Luftliniengeschwindigkeit V_L und Umwegfaktor f_U) – analog zum Konzept der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs aus dem HBS (2001/2005) – nach sechs Stufen der Angebotsqualität A bis F (kurz: SAQ) klassifiziert. Durch diese einheitliche Bewertungsskala wird laut den RIN (2008) die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Beurteilungskriterien verbessert. Die Stufen der Angebotsqualität sind abhängig von der Luftlinienentfernung L_L, um zu berücksichtigen, dass sich die Anforderungen an die Angebotsqualität mit der Entfernung ändern. So steigen mit zunehmender Luftlinienentfernung L_L die Ansprüche an die erreichbare Luftliniengeschwindigkeit V_L.

Die Beurteilung einer Relation in einem Straßennetz erfolgt jeweils anhand beider Bewertungsgrößen, und zwar unabhängig voneinander. Bei Verbindungen mit einer geringen Luftliniengeschwindigkeit V_L kann der Umwegfaktor f_U jedoch als zusätzlicher Indikator auf mögliche Ursachen hinweisen. Eine hohe Luftliniengeschwindigkeit V_L (und somit hohe Reisezeit t_R) im Zusammenhang mit einem akzeptablen Umwegfaktor f_U weist auf zu niedrige Fahrgeschwindigkeiten V_F im Straßennetz hin, die gegebenenfalls durch infrastrukturelle Maßnahmen verbessert werden können. Neben einem Ausbau, der im innerörtlichen Straßennetz in der Regel nicht bzw. nur eingeschränkt möglich ist, können dies auch verkehrstechnische (Lichtsignalsteuerung, insbesondere deren Koordinierung) oder verkehrsrechtliche (z. B. Unterbindung von Haltevorgängen auf der Fahrbahn durch Haltverbot mit Zeichen 283 StVO, auch temporär) Maßnahmen sein. Ein hoher Umwegfaktor f_U dagegen weist auf eventuelle Netzlücken oder -unterbrechungen hin, die eventuell ergänzt bzw. (wieder) aufzuheben sind.

Allgemeingültige Qualitätsvorgaben für die einzelnen Bewertungsgrößen werden in den RIN (2008) nicht ausgewiesen. Somit werden keine konkreten Grenzwerte – anders als im RIN-Entwurf (2007; siehe Kapitel 10.2) – zur Einordnung der erreichbaren Luftliniengeschwindigkeit V_L oder des Umwegfaktors f_U in eine Stufe der Angebotsqualität vorgegeben. Es sind lediglich so genannte Orientierungswerte für die Bewertung angegeben, die anhand ausgewählter Verbindungen beispielhaft abgeleitet wurden.

2.2 Differenzierung von Knotenpunkten und Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen

Zunächst sind eine Betrachtung der Netzfunktion von Knotenpunkten und die Definition der Streckenabschnitte notwendig. Nahezu alle Autoren, die sich mit dem Kraftfahrzeugverkehrsablauf auf innerörtli-

chen 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 Hauptverkehrstraßen 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).

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

Aus dieser erforderlichen Berücksichtigung der unterschiedlichen Netzfunktion von Knotenpunkten im Zuge einer Hauptverkehrsstraße und des sich hieraus ergebenden Einflusses auf die Kapazität der Straße 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 4), 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.

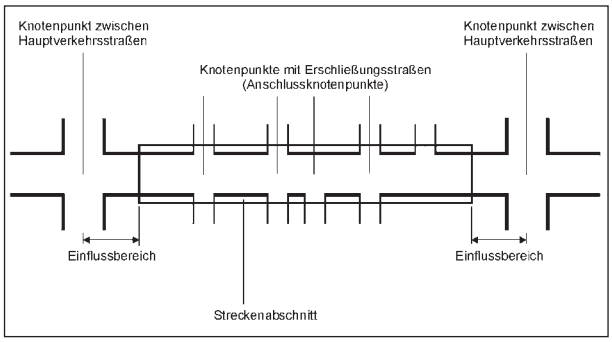


Bild 4: Definition der Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen

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. Dieser Streckenabschnitt ist somit nicht nur beim Entwurf, sondern als einzelne Straßenverkehrsanlage auch im Rahmen einer Verkehrsqualitätsbewertung gesondert zu betrachten.

Zur Verknüpfung von Hauptverkehrsstraßen können unterschiedliche Knotenpunktarten eingesetzt werden. Die Auswahl einer geeigneten Knotenpunktart richtet sich gemäß den RASt (2006) nach der Netzfunktion der zu verknüpfenden Straßen, nach ihren Verkehrsstärken q, dem Unfallgeschehen sowie der vorhandenen städtebaulichen und straßenräumlichen Situation. Zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen sind grundsätzlich Einmündungen und Kreuzungen mit Lichtsignalanlage sowie teilweise auch kleine Kreisverkehre (bei zwei Hauptverkehrsstraßen mit jeweils zwei durchge-

henden Fahrstreifen) geeignet. Einmündungen und Kreuzungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen sind nur bedingt geeignet, und dann ausschließlich bei zwei Hauptverkehrsstraßen mit jeweils zwei durchgehenden Fahrstreifen.

2.3 Bisherige Ansätze zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßen

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 ermitteln und bewerten zu können. Mit dem HBS (2001/2005) stehen hierzu für verschiedene Anlagen standardisierte Verfahren zur Verfügung.

Für städtische Straßenverkehrsanlagen sind im HBS (2001/2005) für den Kraftfahrzeugverkehr nur Berechnungsverfahren zur verkehrstechnischen Dimensionierung und Verkehrsqualitätsbewertung von Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage enthalten (siehe hierzu Kapitel 2.3.2 bis 2.3.4). Zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen wurden inzwischen von BAIER et al. (2003), BAIER (2006) und zuletzt SÜMMERMANN et al. (2008; Teil 1 dieses Forschungsvorhabens) entsprechende Grundlagen erarbeitet (siehe Kapitel 2.3.1).

Diese Bewertungen beziehen sich ausschließlich auf den Verkehrsablauf auf/an Einzelanlagen. Zur verbindungsbezogenen Bewertung des Verkehrsablaufs auf Hauptverkehrsstraßenzügen bestehen aber verschiedene Ansätze, z. B. die im amerikanischen HCM (2000) und dessen Vorläufern vorgeschlagene Methodik oder auch der Vorschlag eines analytischen Berechnungsverfahrens von BRILON/SCHNABEL (2003). Dabei erfolgt teilweise die Betrachtung eines Straßenzugs insgesamt, teilweise wird der Straßenzug aber auch als Folge einzelner Streckenabschnitte und Knotenpunkte betrachtet (siehe Kapitel 2.3.5).

2.3.1 Verkehrsablauf auf Streckenabschnitten

Zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen ist die Überlagerung der verkehrlichen Effekte aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion – bzw. der hieraus resultierenden Bemessungsverkehrszustände – maßgebend. Bezogen auf die verkehrlichen Effekte aus der Erschließungsfunktion 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,
- 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).

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 zu Grunde zu legen. Der sich aus der Überlagerung von Verbindungs- und Erschließungsansprüchen jeweils ergebende Bemessungsverkehrszustand ist somit maßgebend für die Qualität des Verkehrsablaufs.

Zur Bewertung des Verkehrsablaufs auf zwei- und vierstreifigen, ausschließlich vom Kraftfahrzeugverkehr befahrenen Streckenabschnitten wurde von BAIER et al. (2003) ein erster Ansatz für ein Qualitätsstufenkonzept abgeleitet, der von BAIER (2006) für vierstreifig befahrene Straßen konkretisiert wurde. Bild 5 zeigt dessen grundsätzlichen

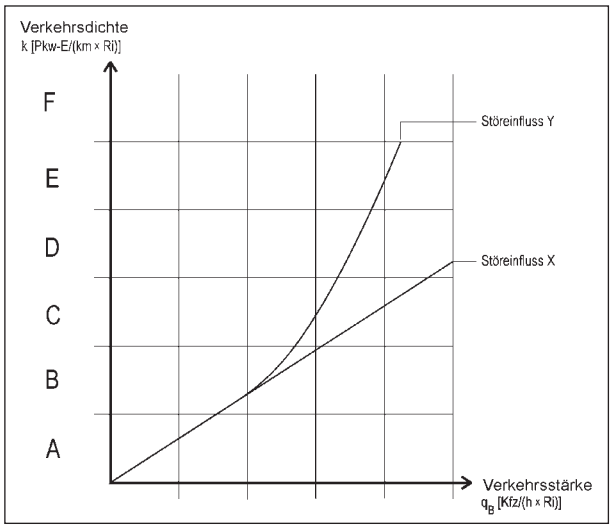


Bild 5: Aufbau des Qualitätsstufenkonzepts zur Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs in Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen

Aufbau: Eingangsgröße ist die Kraftfahrzeugverkehrsstärke (Bemessungsverkehrsstärke q_B mit Schwerverkehrsanteilen b_{SV} bis zu 10 %), für die in Abhängigkeit unterschiedlicher Störeinflüsse bzw. Kombinationen von Störeinflüssen die richtungsbezogene Verkehrsdichte k_S – als maßgebendes Bewertungskriterium – und damit die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs ermittelt werden. Die Ermittlung der Verkehrsqualität erfolgt somit fahrtrichtungsgetrennt. Dabei sollten diejenigen Stunden betrachtet werden, für die – bezogen auf die Überlagerung der Verkehrsstärke q und einzelner bzw. mehrerer Störeinflüsse – maximale Belastungszustände ermittelt wurden oder zu erwarten sind.

Im Teil 1 des Forschungsvorhabens wurde das Verfahren für die Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf zwei- und vierstreifigen Fahrbahnen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern erweitert (vgl. SÜMMERMANN et al., 2008). In diesem Zusammenhang wurde auch die Bewertungsgrundlage für zweistreifige, ausschließlich vom Kraftfahrzeugverkehr befahrene Streckenabschnitte konkretisiert.

Die von BAIER et al. (2003), BAIER (2006) und SÜMMERMANN et al. (2008) ermittelten Zusammenhänge gelten für Strecken mit einer Längsneigung s ≤ 5 %. Dabei werden gute Sichtverhältnisse, d. h. Tageslicht, und eine trockene Fahrbahn vorausgesetzt.[16] Weitere Randbedingungen sind eine zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} von 50 km/h und (koordiniert gesteuerte) Lichtsignalanlagen mit Umlaufzeiten t_U zwischen 60 s und 120 s. Zur Bewertung des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf

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

Tab. 2: Qualitätsstufen des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen

Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen sind für diese Voraussetzungen die in Tabelle 2 angegebenen Qualitätsstufen heranzuziehen.

2.3.2 Verkehrsablauf an Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignalanlage

Lichtsignalanlagen werden an Knotenpunkten hauptsächlich zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und/oder zur Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs eingerichtet.[17] Maß der Kraftfahrzeugverkehrsqualität ist entsprechend dem HBS (2001/2005) die mittlere Wartezeit t_W (in s), wobei die Beurteilung für jede Signalgruppe getrennt erfolgt.[18] Die Wartezeit t_W setzt sich aus zwei Teilen zusammen: dem Anteil auf Grund der lichtsignaltechnischen Sperrung der Knotenpunktzufahrt (Grundwartezeit $t_{W,I}$) und dem Anteil, der sich aus

16 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 von BAIER et al. (2003), BAIER (2006) und SÜMMERMANN et al. (2008) ermittelten 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.

17 Planungsgrundlage für den Signalprogrammentwurf, die Steuerungsverfahren usw. bilden die RiLSA, die im Entwurf mit Stand vom 20. März 2007 vorliegen und zukünftig die RiLSA (1992) und deren Teilfortschreibung 2003 ersetzen sollen. Grundlage für die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs ist das HBS (2001/2005).

18 Im HBS (2001/2005) wird die Wartezeit an Knotenpunkten sowohl mit als auch ohne Lichtsignalanlage allgemein mit w bezeichnet; hier wird dafür im Hinblick auf eine Begriffsvereinheitlichung die Bezeichnung t_W verwendet.

QSV_K	ÖPNV	MIV	
	t_W [s]	t_W [s] *	n'_D [%] **
A	≤ 5	≤ 20	≥ 95
B	≤ 15	≤ 35	≥ 85
C	≤ 25	≤ 50	≥ 75
D	≤ 40	≤ 70	≥ 65
E	≤ 60	≤ 100	≥ 50 ***
F	> 60	> 100	< 50 ***

* nicht-koordinierte Zufahrten
** koordinierte Zufahrten
*** Koordinierung unwirksam

Tab. 3: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage nach dem HBS (2001/2005)

einem eventuell vorhandenen Reststau ergibt (Reststauwartezeit $t_{W,II}$).

Neben der Wartezeit t_W können auch andere Kenngrößen für die Qualitätsbewertung herangezogen werden, z. B. die Anzahl der Haltevorgänge n_H oder der Anteil der Durchfahrten ohne Halt n'_D. Letzterer ist gemäß dem HBS (2001/2005) das Kriterium zur Qualitätsbewertung koordinierter Lichtsignalanlagen. Die Wartezeit t_W gilt somit nur für nicht-koordinierte Zufahrten als Qualitätskriterium.

In Tabelle 3 sind die im HBS (2001/2005) definierten Grenzwerte der mittleren Wartezeit t_W bzw. des Prozentsatzes der Durchfahrten ohne Halt n'_D für die Qualitätsstufen A bis F des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs angegeben. Qualitätskriterium für den ÖPNV ist ebenfalls die mittlere Wartezeit t_W (vgl. Tabelle 3), die auch bei einer Führung im Mischverkehr gilt.

Die Qualität des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage wird von verschiedenen infrastrukturellen und verkehrlichen Einflussgrößen beeinflusst (vgl. HBS, 2001/2005):

- geometrische Eigenschaften, wie Abbiegeradien, Anzahl der Fahrstreifen $n_{FS,K}$, Fahrstreifenbreiten b_{FS} und Längsneigung s,
- Steuerungsbedingungen, wie Phaseneinteilung sowie die entsprechenden Signalzeitenprogramme mit Umlaufzeit t_U, Freigabezeiten t_F und erforderlichen Zwischenzeiten t_Z der einzelnen Verkehrsströme,
- Verkehrsstärken q der einzelnen Ströme und deren Zusammensetzung (Schwerverkehrsanteil b_{SV}).

Zur Berechnung der Wartezeit t_W ist für jede Signalgruppe die Bemessungsverkehrsstärke q_B zu bestimmen, die sich aus Verkehrsstärken q der einzelnen Ströme und der Fahrstreifenanzahl $n_{FS,K}$ für diese Ströme ergibt. Des Weiteren ist die Sättigungsverkehrsstärke q_S (größte Verkehrsstärke, die auf einem Fahrstreifen mit ungehindertem Abfluss erreicht werden kann) zu ermitteln. Diese ist u. a. abhängig von Einflüssen der Knotenpunktgeometrie (beispielsweise Fahrstreifenbreiten b_{FS} und Längsneigung s) sowie dem Schwerverkehrsanteil b_{SV}. Die Steuerungsbedingungen (Umlaufzeit t_U und Freigabezeit t_F) gehen als Eingangsgrößen direkt in die Berechnung der Wartezeit t_W ein, wobei bedingt verträgliche Ströme über fiktive Freigabezeiten berücksichtigt werden (Gleichung 3):

$$t_W = \frac{t_U \cdot (1 - \frac{t_U}{t_F})^2}{2 \cdot (1 - \frac{q_B}{q_S})} + \frac{N_{GE}}{\frac{t_U}{t_F} \cdot q_S} \cdot 3.600 \text{ [s/Kfz]} \qquad \text{Gl. 3}$$

mit

t_W mittlere Wartezeit [s/Kfz]

t_U Umlaufzeit [s]

t_F Freigabezeit [s]

q_B Bemessungsverkehrsstärke auf dem betreffenden Fahrstreifen [Kfz/h]

q_S Sättigungsverkehrsstärke für den betreffenden Fahrstreifen [Kfz/h]

N_{GE} mittlerer Stau am Ende der Grünzeit t_{Gr} für den betrachteten Untersuchungszeitraum T von in der Regel 1 Stunde [Kfz]

Es werden ebenfalls gute Sichtverhältnisse, d. h. Tageslicht, und eine trockene Fahrbahn vorausgesetzt. Der Straßenzustand bleibt unberücksichtigt.

Die Koordinierung von Lichtsignalanlagen bietet die Möglichkeit, starke durchgehende Kraftfahrzeugströme auf Hauptverkehrsstraßen flüssig, d. h. ohne wesentliche Behinderungen, abzuwickeln (vgl. beispielsweise SCHNABEL/KORN, 2000, und RINGEL/SCHNABEL, 2001). Eine angepasste Koordinierung führt dabei zu einem stetigeren Verkehrsablauf (BRÜCKNER/GERLACH, 2000), allerdings steigt dabei nach RETZKO/KORDA (1999) auch das Geschwindigkeitsniveau. Durch eine koordinierte Lichtsignalsteuerung kann der Verkehrsablauf homogenisiert werden, z. B. nehmen die Geschwindigkeitsstreuungen bei steigender Verkehrsstärke ab (vgl. z. B. ZEITVOGEL, 1980).

Durch die Koordinierung benachbarter Knotenpunkte wird erreicht, dass die Mehrzahl der Fahrzeuge unter Einhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit (Progressionsgeschwindigkeit) mehrere Knotenpunkte ohne Halt passieren kann. Dabei werden die Freigabezeiten in Fahrtrichtung hintereinanderliegender Knotenpunkte durch entsprechende Zeitversätze aufeinander abgestimmt. Nach den RiLSA (1992) sind grüne Wellen für den Kraftfahrzeugverkehr bei Abständen zwischen Lichtsignalanlagen bis zu 750 m, in besonders günstigen Fällen auch bis zu 1.000 m zu empfehlen. Bei größeren Abständen lösen sich Fahrzeugpulks soweit auf, dass eine Koordinierung der Lichtsignalanlagen nicht mehr sinnvoll ist.

2.3.3 Verkehrsablauf an Kreuzungen und Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen

Kreuzungen und Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen zwischen Hauptverkehrsstraßen stellen den Ausnahmefall zur Verknüpfung zweier Hauptverkehrsstraßen mit jeweils zwei durchgehenden Fahrstreifen dar. Hierzu sind sie nach den RASt (2006) nur bedingt geeignet.

Auch wenn im Zuge der als Fallbeispiel untersuchten Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach (siehe Kapitel 5.1.1) ein Knotenpunktsystem aus zwei Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen vorhanden ist, erfolgt hier keine weitere Betrachtung von Kreuzungen/Einmündungen ohne Lichtsignalanlage. Im Hinblick auf deren Verkehrsqualitätsbewertung wird auf die Ausführungen des nachfolgenden Kapitels 2.3.4 verwiesen, da diese im Prinzip analog zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Kreisverkehren erfolgt.

2.3.4 Verkehrsablauf an Kreisverkehren

Bei den innerhalb bebauter Gebiete zum Einsatz kommenden Kreisverkehren wird zwischen Minikreisverkehren, kleinen Kreisverkehren, kleinen Kreisverkehren mit zweistreifigen Elementen und großen Kreisverkehren mit Lichtsignalanlage unterschieden (vgl. RASt, 2006). Minikreisverkehre sind zur Verknüpfung zweier Hauptverkehrsstraßen mit jeweils zwei durchgehenden Fahrstreifen nur sehr bedingt geeignet, Kreisverkehre mit Lichtsignalanlage werden hinsichtlich des Verkehrsablaufs prinzipiell wie alle anderen lichtsignalgesteuerten Knotenpunkte bewertet (vgl. Kapitel 2.3.2).[19] Diese Knotenpunktarten werden im Weiteren nicht betrachtet, sondern lediglich kleine Kreisverkehre.

Kleine Kreisverkehre sind vor allem zur Verknüpfung zweistreifiger Hauptverkehrsstraßen geeignet. Maß der Kraftfahrzeugverkehrsqualität ist auch hier die mittlere Wartezeit t_W (in s), die sich jedoch aus anderen Zeitverlustanteilen als die Wartezeit t_W an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage zusammensetzt (siehe hierzu auch Kapitel 2.4).[20] Die Beurteilung erfolgt für jede Zufahrt getrennt. Die zusammenfassende Einstufung des Knotenpunkts erfolgt nach der schlechtesten Qualität aller beteiligten Verkehrsströme, d. h., es erfolgt keine von der Verkehrsstärke der einzelnen Ströme abhängige Gewichtung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs. Bei nur begrenzt zur Verfügung stehendem Aufstellraum vor dem Knotenpunkt kann auch die Staulänge maßgebend werden.

In Tabelle 4 sind die im HBS (2001/2005) definierten Grenzwerte der mittleren Wartezeit t_W für die einzelnen Verkehrsqualitätsstufen A bis F an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage angegeben. Für den ÖPNV werden keine gesonderten Grenzwerte der t_W angegeben, sodass hier auch bei einer Führung im Mischverkehr die gleichen Grenzwerte gelten.

Die Wartezeit t_W wird über die Berechnung der Kapazität C und der Kapazitätsreserve R eines Verkehrsstroms ermittelt. Wesentliche Einflussgröße

QSV_K	ÖPNV	MIV
	t_W [s]	t_W [s]
A	≤ 10	≤ 10
B	≤ 20	≤ 20
C	≤ 30	≤ 30
D	≤ 45	≤ 45
E	> 45	> 45
F	– *	– *
* Stufe F ist erreicht, wenn g > 1		

Tab. 4: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage nach dem HBS (2001/2005)

19 Ein besonderes Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität lichtsignalgesteuerter Kreisverkehre ist im HBS (2001/2005) nicht enthalten.

20 Grundlage für die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs an Kreisverkehren mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen ist, wie für Kreuzungen/Einmündungen ohne Lichtsignalanlage, das HBS (2001/2005).

auf die Kapazität C ist die Verkehrszusammensetzung, da das Verhalten der wartepflichtigen Ströme u. a. von der Art sowohl des wartepflichtigen als auch bevorrechtigten Kraftfahrzeugs abhängig ist (dies betrifft insbesondere das Beschleunigungsvermögen sowie die Fahrzeuglänge); deshalb erfolgt an Kreisverkehren für alle Ströme eine Umrechnung der Verkehrsstärken q in Pkw-E.

Die untergeordneten Verkehrsströme in den Kreiszufahrten haben den vorfahrtrechtlich übergeordneten Verkehr in der Kreisfahrbahn zu beachten. Somit besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke des zu beachtenden Hauptstroms q_K und der Kapazität einer Zufahrt C_Z. Der Einfluss von Fußgängern in den Zufahrten wird berücksichtigt. Zur Einschätzung der Auswirkungen des Fußgängerverkehrs in den Ausfahrten von Kreisverkehren gibt es bislang kein Verfahren.

2.3.5 Verkehrsablauf in Straßenzügen

Zur Beschreibung bzw. Bewertung des Verkehrsablaufs in Hauptverkehrsstraßenzügen bestehen bereits verschiedene Ansätze, bei denen die für innerörtliche Straßen charakteristischen Randbedingungen wie aufeinanderfolgende lichtsignalgesteuerte Knotenpunkte oder Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion unterschiedlich berücksichtigt werden. Allen bisherigen Verfahrensansätzen gemein ist, dass als Bewertungsgröße die Fahrgeschwindigkeit V_F zu Grunde gelegt wird, d. h., es erfolgt eine verbindungsbezogene Betrachtung.

Die RAS-W (1986) sowie deren Aktualisierung, die EWS (1997), geben Formeln für q-V_F-Beziehungen verschiedener Straßentypen an, mit denen die mittlere V_F in Abhängigkeit der Kraftfahrzeugverkehrsstärke q und des Schwerverkehrsanteils b_{SV} für Straßenzüge von 0,5 km bis 2,0 km Länge ermittelt werden kann.[21]

Auf Grund der vorgenommenen groben Typisierung mit ausschließlicher Differenzierung von (vorfahrtberechtigten) Innerortsstraßen ohne Behinderungen bzw. mit Behinderungen durch Knotenpunkteinflüsse, ruhenden Verkehr und den ÖPNV werden Einflussgrößen aus der Erschließungsfunktion nur sehr pauschal und indirekt berücksichtigt. Nach ANGENENDT et al. (1983) finden die vielfältigen Einflussgrößen, die den Verkehrsablauf und dessen Qualität auf Stadtstraßen bestimmen, hierin sogar keinerlei Berücksichtigung.[22] Die aus diesen q-V_F-Beziehungen für eine vorgegebene (prognostizierte) Verkehrsbelastung bei bestimmten Bedingungen ermittelte erreichbare V_F ermöglicht darüber hinaus auch keine Qualitätseinstufung, weil hierzu in den RAS-W (1986) und den EWS (1997) keine Bewertungsskala angegeben ist.[23] Derartige Ansätze, zu denen auch die q-V_F-Beziehungen von WARDROP (1968) zu zählen sind, erlauben lediglich den Vergleich zweier Fälle bzw. Varianten, z. B. Ist-Situation (Nullfall) vs. Planfall.

Es bestehen aber Ansätze, die eine Bewertung der erreichbaren Qualität erlauben, da sie über eine entsprechende Skala verfügen. Ein entsprechendes Bewertungsschema wurde erstmals mit dem HCM aus dem Jahre 1965 vorgelegt. Hierin wurden für städtische und vorstädtische Hauptverkehrsstraßen (Urban and Suburban Arterials) in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit V_F und des Auslastungsgrads (Capacity Ratio) sechs so genannte Level of Service von A bis F festgelegt.

Das Bewertungsverfahren des HCM wurde mit dessen Aktualisierungen in den Jahren 1985, 1994 und 1997 sowie der Neuauflage im Jahre 2000 zwar modifiziert und weiterentwickelt, der grundsätzliche Ansatz wurde aber beibehalten. Darüber hinaus bestehen weitere, auch deutsche Ansätze, u. a. von BRILON/GROßMANN/BLANKE (1994a), SCHNABEL et al. (1998) und BRILON/SCHNABEL (2003), die ebenfalls ein sechsstufiges Bewertungsschema von A bis F zu Grunde legen.

Die diesen Ansätzen zu Grunde liegenden Vorgehensweisen zur Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit V_F werden nachfolgend im Hinblick auf eine Überprüfung ihrer Eignung für die hier zu entwickelnden Bewertungsverfahren erläutert. Die jeweiligen Qualitätsstufenkonzepte werden im Zusammenhang mit der Ableitung und Festlegung der Verbindungsqualitätsstufen für Hauptverkehrsstraßen in Kapitel 3.2.1 dargestellt.

Im HCM (1985, 1994 und 1997) werden Qualitätsstufen für Straßenzüge verschiedener Typen von Hauptverkehrsstraßen (Arterial Classification) an-

---

[21] Die Fahrgeschwindigkeiten V_F des Pkw-Verkehrs sowie des Güterverkehrs (Lkw und Busse) sind dabei innerorts identisch.

[22] ANGENENDT et al. (1983) beziehen sich dabei auf den Entwurf der RAS-W aus dem Jahre 1981, der sich jedoch diesbezüglich nicht von den RAS-W (1986) unterscheidet.

[23] Eine Bewertungsskala ist bei diesen auch nicht erforderlich, da deren Anwendungsbereich die volkswirtschaftliche Beurteilung von Straßenbaumaßnahmen im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen ist.

gegeben. Qualitätskriterium ist die mittlere Fahrgeschwindigkeit V_F, die aus den Fahrtzeiten für die Streckenabschnitte t_F und den Verlustzeiten an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten t_V ermittelt wird. Der jeweilige Straßentyp wird durch mehrere Faktoren bestimmt, wie z. B. die Verbindungs- und Erschließungsfunktion, den Fahrbahnquerschnitt, die Lichtsignalanlagendichte, aber auch dem Vorhandensein von Parkmöglichkeiten. Den einzelnen Straßentypen werden dann spezifische freie Geschwindigkeiten V_f (Free Flow Speed) zugeordnet, die unter den bestehenden Anforderungen an den Straßenraum erreicht werden können. Für die Berechnung der Fahrgeschwindigkeit V_F werden die Zeitverluste an den Knotenpunkten t_V als maßgebend angesehen und deshalb für jeden einzelnen Knotenpunkt detailliert berechnet.

Zur Erfassung des Einflusses von Verkehrsschwankungen auf die Kapazität werden wie bereits im 1965er HCM zusätzlich ein Auslastungsfaktor (Load Factor) und ein Spitzenstundenfaktor (Peak Hour Factor) herangezogen. Der Auslastungsfaktor kennzeichnet das Verhältnis von tatsächlicher Verkehrsbelastung einer lichtsignalgesteuerten Knotenpunktzufahrt zur möglichen Belastung der Zufahrt bei voller Ausnutzung jeder Grünphase. Der Spitzenstundenfaktor ist festgesetzt als Quotient aus der Verkehrsstärke der gesamten Spitzenstunde und der Verkehrsbelastung des am stärksten belasteten Teilintervalls. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit t_F auf den Abschnitten zwischen den Knotenpunkten (bezeichnet als Average Running Speed) dagegen wird unabhängig von der Verkehrsbelastung ermittelt (vgl. FELDGES, 1994).

In der Neuauflage des HCM aus dem Jahre 2000 werden vier Straßentypen (anstelle vorher drei) zu Grunde gelegt. Darüber hinaus wurde das Verfahren nicht wesentlich verändert. Die analytische Methodik berücksichtigt ausschließlich die Verbindungsfunktion, jedoch nicht die Erschließungsfunktion und die hieraus resultierenden Einflüsse auf den Verkehrsablauf (siehe hierzu auch McLEOD, 2000). Und dies, obwohl im 1965er HCM darauf hingewiesen wurde, dass die Kapazität der Knotenpunkte nicht in allen Fällen als maßgebend für das gesamte Straßennetz anzusetzen ist, sondern der Verkehrsablauf auf den Streckenabschnitten mitzuerfassen ist, da sich vor allem bei höheren Verkehrsbelastungen Abbiege- und Parkvorgänge, Fußgängerquerungen usw. störend auf den Verkehrsablauf auswirken können.[24] Auch andere internationale Ansätze wie das „Singapore-Model“ von OLSZEWSKI (2000)[25] betrachten nur Straßenzüge ohne eine differenziertere Berücksichtigung der Aufteilung und Nutzung des Fahrbahnquerschnitts oder von Störungen im Streckenabschnitt.

Eine direkte Übertragung von Aussagen des HCM (2000) und dessen Vorgängern auf deutsche Verhältnisse erscheint – wie ANGENENDT et al. (1983) bereits zum 1965er HCM anmerken – u. a. wegen der Andersartigkeit der Verkehrsverhältnisse und Verhaltensweisen sowie der daraus resultierenden Problemstellungen bedenklich.[26] Auch kann es, wie etwa BRILON/GROßMANN/BLANKE (1994b) einräumen, „nicht in Betracht kommen, das amerikanische HCM sklavisch zu kopieren“ (sie beziehen sich dabei auf das 1985er HCM).[27] Unabhängig davon basieren die meisten deutschen Ansätze jedoch 1:1 auf dem Verfahren des 1985er HCM und dessen Nachfolgern.

Einen konkreten Ansatz zur Ermittlung der mittleren Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ mittels analytischer Berechnungen haben BRILON/SCHNABEL (2003) entwickelt.[28] Hiermit lassen sich – zumindest „in besonders einfachen Fällen“ – die $V_{F,HS}$ durch eine getrennte Betrachtung der „freien“ Strecke und der Knotenpunkte bestimmen (Gleichung 4):

$$V_{F,HS} = \frac{L_{HS}}{t_{F,HS}} \cdot 3{,}6 \text{ [km/h]} \qquad \text{Gl. 4}$$

mit

V_F Fahrgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen [km/h]

---

24 Eine Quantifizierung der Auswirkungen der genannten Einflussgrößen nimmt das HCM (1965) jedoch nicht vor.

25 Dieses erfordert gegenüber dem HCM-Verfahren keine detaillierten Angaben der Lichtsignalsteuerung (Umlaufzeit, Freigabezeit usw.), entspricht diesem aber ansonsten weitgehend.

26 ANGENENDT et al. (1983) unterstreichen ihre Aussage mit dem Hinweis, dass dies „vielfach nachgewiesen worden ist“; Quellennachweise hierzu geben sie jedoch nicht an.

27 BRILON/GROßMANN/BLANKE (1994b) betonen aber auch, dass durch weitere Untersuchungen die Störungen des Verkehrsablaufs durch ein- und ausparkende Fahrzeuge, Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn usw. analysiert werden müssen. Dies ist inzwischen durch eine Vielzahl von Untersuchungen erfolgt, zuletzt durch BAIER et al. (2003), BAIER (2006) sowie SÜMMERMANN et al. (2008; Teil 1 dieses Forschungsvorhabens).

28 Neben dem Ansatz für die analytische Berechnung schlagen BRILON/SCHNABEL (2003) auch die Durchführung von empirischen Fahrtzeitmessungen (bei bestehenden Anlagen) oder Simulationsuntersuchungen vor.

L_{HS} Länge des Hauptverkehrsstraßenzugs [m]

t_F Fahrtzeit über den Hauptverkehrsstraßenzug [s]

Die mittlere Fahrtzeit $t_{F,HS}$ ergibt sich dabei mit Gleichung 5 zu

$$t_{F,HS} = t_f + \sum_{i=1}^{n_k} t_{W,i} + n_{H,S} \cdot t_{H,S} \text{ [s]} \qquad \text{Gl. 5}$$

mit

$t_{F,HS}$ Fahrtzeit über Hauptverkehrsstraßenzug [s]

t_f Fahrtzeit bei freier Fahrt ohne Wartezeiten t_W an Knotenpunkten und Haltezeiten t_H auf der „freien“ Strecke [s]

n_k Anzahl der Knotenpunkte [-]

$t_{W,i}$ mittlere Wartezeit am Knotenpunkt i [s/Kfz]

$n_{H,S}$ Anzahl der Halte durch Behinderungen auf der „freien“ Strecke außerhalb der Knotenpunkte [-]

$t_{H,S}$ mittlere Zeit für einen Halt auf der „freien“ Strecke außerhalb der Knotenpunkte [s]

Die mittlere Wartezeit t_W an den einzelnen Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage ist jeweils mit den Verfahren des HBS (2001/2005) zu ermitteln (vgl. hierzu Kapitel 2.3.2 bis 2.3.4). Für die Bestimmung der Fahrtzeit t_f bei Fahrt mit freier Geschwindigkeit V_f mit Gleichung 6 zu

$$t_f = \frac{L_{HS}}{V_f} \cdot 3{,}6 \text{ [s]} \qquad \text{Gl. 6}$$

mit

t_f Fahrtzeit bei freier Fahrt ohne Wartezeiten t_W an Knotenpunkten und Haltezeiten t_H auf der „freien“ Strecke [s]

L_{HS} Länge des Hauptverkehrsstraßenzugs [m]

V_f freie Fahrgeschwindigkeit [km/h]

kann nach BRILON/SCHNABEL (2003) meist die auf dem Straßenzug zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} zu Grunde gelegt werden, d. h., es wird $V_f \approx V_{zul}$ angenommen.

Die Berechnung der mittleren Fahrtzeit t_F nach Gleichung 5 erscheint als Grundlage für die Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ über einen Hauptverkehrsstraßenzug nicht ausreichend, da auch Zeitverluste durch Störungen im Streckenabschnitt wie z. B. Liefer-/Ladevorgänge entstehen, die den Verkehrsablauf zwar beeinträchtigen, aber nicht zwangsläufig zu einem Halt führen müssen (siehe BAIER, 2006).[29] Darüber hinaus ist die Annahme, für die freie Fahrgeschwindigkeit V_f die zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} anzusetzen, nur unter idealen Bedingungen, d. h. einem störungsfreien Verkehrsablauf, gültig (vgl. hierzu auch Kapitel 2.1.1). Unter sonstigen Bedingungen ist zu berücksichtigen, dass der Verkehrsablauf in den Streckenabschnitten im Wesentlichen durch zeitlich-veränderliche verkehrliche Einflussgrößen aus der Erschließungsfunktion bestimmt wird, die zu einem niedrigeren Geschwindigkeitsniveau führen können (siehe hierzu ebenfalls BAIER, 2006).

Das von BRILON/SCHNABEL (2003) vorgeschlagene analytische Berechnungsverfahren ist nur eingeschränkt anwendbar, z. B. für anbaufreie Straßen. Die Komplexität des Verkehrsablaufs, die in angebauten Straßen auf Grund der Überlagerung der Nutzungsansprüche aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion in der Regel auftritt, wird hierin nicht ausreichend berücksichtigt.

2.4 Schlussfolgerungen für die zu entwickelnden Bewertungsverfahren

Die in den Kapiteln 2.1.1 und 2.1.2 dargestellten Zusammenhänge verdeutlichen, dass zur funktionalen und verbindungsbezogenen Beurteilung von Straßenzügen differenzierte Verfahren erforderlich sind. Neben einem Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität auf Basis der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs der einzelnen Streckenabschnitte und Knotenpunkte $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ ist ein davon unabhängiges Bewertungsverfahren für die Verbindungsqualität eines Hauptverkehrsstraßenzugs erforderlich, das eine Einstufung der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit V_F ermöglicht. Das Prinzip der Verfahren wird in Kapitel 3 erläutert.

In beiden Fällen sind eventuelle Netzeffekte wie z. B. Verlagerungen auf andere Routen zu berücksichtigen. Die vor diesem Hintergrund gewählte Vorgehensweise mit den jeweiligen Zusammenhängen der betrachteten Bezugsebenen (Einzelan-

[29] Darüber hinaus machen BRILON/SCHNABEL (2003) auch keine Angaben über die Häufigkeit n_H von Halten auf der Strecke und dabei durchschnittlich anzusetzenden Haltezeiten t_H, obwohl diese ihren eigenen Ausführungen nach (wenn auch nur in Ausnahmefällen) auftreten können.

lagen, Straßenzüge, Netze) zeigt Bild 6. Unabhängig davon ist die Möglichkeit einer Verknüpfung der Bewertung der Verbindungsqualität eines Hauptverkehrsstraßenzugs mit der in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Bewertung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität in einem Netz nach den RIN (2008) zu prüfen; dies erfolgt in Kapitel 10.

Voraussetzung für das Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität eines Hauptverkehrsstraßenzugs auf Basis der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs der Einzelanlagen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ ist die Zerlegung des betrachteten Straßenzugs in „freie" Strecken, also die Streckenabschnitte außerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen und eben diesen Knotenpunkten. Das Verfahren zur Bewertung der Verbindungsqualität anhand der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit V_F sollte ebenfalls auf der differenzierten Betrachtung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten aufbauen. Deshalb ist vorab die Ableitung eines Verfahrens zur Bestimmung der Einflussbereiche von Knotenpunkte erforderlich; diese erfolgt in Kapitel 6.2.2.

Bei der übergreifenden Verkehrsqualitätsbewertung ist zu berücksichtigen, dass die mit den Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs verknüpften Aussagen zu den mittleren Wartezeiten t_W bei Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage unterschiedliche Bezüge aufweisen. Als maßgebendes Qualitätskriterium wird im HBS (2001/2005) zwar jeweils die mittlere Wartezeit t_W (in s) vorgegeben, und auch deren Definition hat für diese unterschiedlichen Knotenpunktarten denselben Wortlaut: „Wartezeit = gegenüber der freien Durchfahrt zusätzlich benötigte Zeit beim Durchfahren des Knotenpunkts".[30] Die Qualitätsstufeneinteilung dagegen ist für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage (nicht-koordinierte Zufahrten) und Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage unterschiedlich (vgl. Tabelle 3 in Kapitel 2.3.2 und Tabelle 4 in Kapitel 2.3.4). Die Grenzwerte für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage sind in allen Stufen niedriger angesetzt als bei Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage.

BRILON (2003) begründet die unterschiedlichen Grenzwerte der mittleren Wartezeit t_W für identische Qualitätsstufen u. a. damit, dass bei einer Vorfahrtregelung mit Verkehrszeichen die Wartezeit t_W als „stressiger" empfunden wird als beim „entspannten" Warten auf Grün an einer Lichtsignalanlage. Untersuchungen zum Verkehrsablauf an innerörtlichen Knotenpunkten dagegen zeigen, dass etwa an Kreisverkehren höhere Zeitverluste akzeptiert werden als an lichtsignalgeregelten Kreuzun-

30 Für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage ist diese Definition lediglich noch ergänzt durch den Zusatz „mit Lichtsignalanlage".

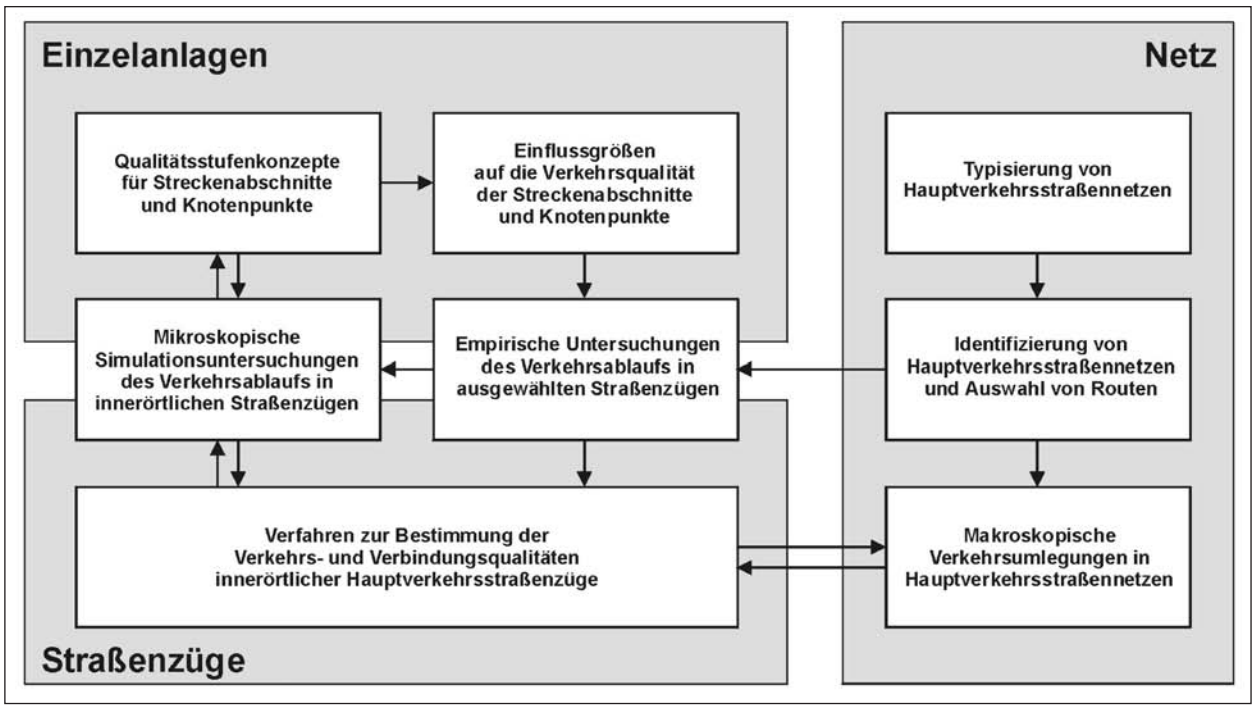


Bild 6: Methodische Vorgehensweise

gen (vgl. POLLISCHANSKY, 2002). Im Gegensatz dazu bestätigen die Untersuchungen von SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007), dass auf Landstraßen an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage eine höhere Akzeptanz von Zeitverlusten besteht als an Kreisverkehren.

Bezüglich der Qualitätsstufeneinteilung für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage besteht somit noch Untersuchungsbedarf (siehe hierzu auch Kapitel 11.1). Ungeachtet dessen gilt es für das Verfahren zur Verkehrsqualitätsbewertung von Straßenzügen auf Basis der Verkehrsqualitäten der einzelnen Streckenabschnitte und Knotenpunkte die derzeitigen Qualitätsstufenkonzepte zu übernehmen bzw. das Verfahren unabhängig von eventuell veränderten Qualitätsstufeneinteilungen für die Einzelanlagen zu konzipieren.

Über die unterschiedliche Qualitätseinstufung der Wartezeit t_W hinaus setzen sich die mit den Verfahren des HBS (2001/2005) ermittelbaren Wartezeiten t_W bei den verschiedenen Knotenpunktarten auch aus unterschiedlichen Zeitverlustanteilen zusammen, d. h., bei den definierten mittleren Wartezeiten t_W des HBS (2001/2005) handelt es sich nicht um dieselbe Zeitspanne: An Kreuzungen und Einmündungen mit Lichtsignalanlagen sind in den mittleren Wartezeiten t_W die Zeitverluste durch Bremsen und Anfahren enthalten, an Kreuzungen

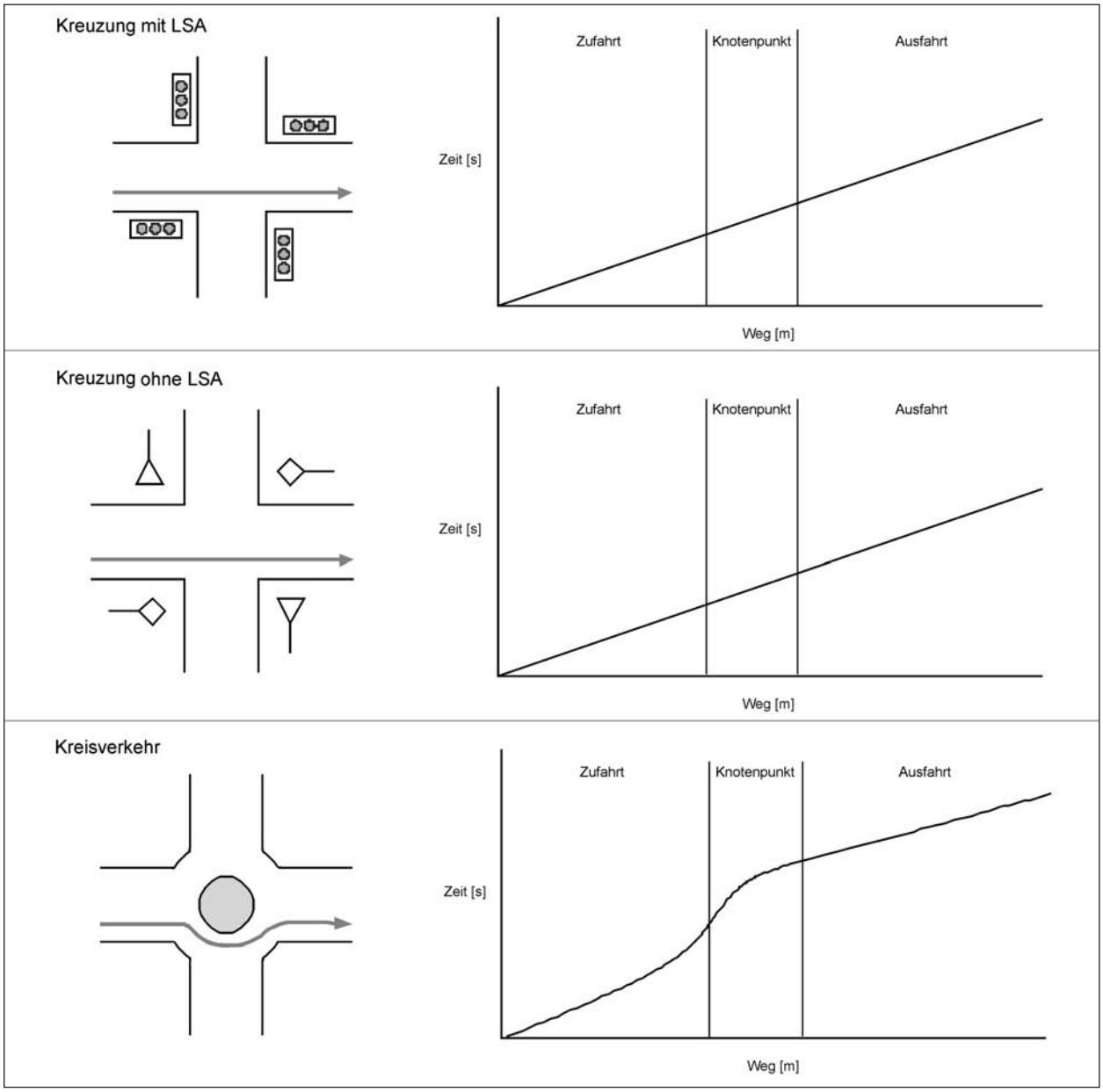


Bild 7: Weg-Zeit-Linien der freien Durchfahrt an unterschiedlichen Knotenpunktarten (SCHUCKLIEß/BAIER/BAUR, 2003)

und Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen sowie an Kreisverkehren dagegen nicht. Hinzu kommt bei Kreisverkehren die so genannte „geometrische Verlustzeit“, wie die Betrachtung einer freien Durchfahrt an den verschiedenen Knotenpunktarten zeigt (Bild 7). Im Gegensatz zu einer freien Durchfahrt durch einen lichtsignalgeregelten Knotenpunkt und durch eine Kreuzung bzw. Einmündung mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen, die einen identischen Verlauf haben, weist die freie Durchfahrt durch einen Kreisverkehr eine andere Weg-Zeit-Linie auf. Allein durch die geometrische Form des Kreisverkehrs wird ein Kraftfahrer, auch ohne andere Verkehre in der Zufahrt und der Kreisfahrbahn berücksichtigen zu müssen, gezwungen, seine Geschwindigkeit zu reduzieren.

Die Wartezeit t_W an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage beinhaltet somit nicht alle Zeitverlustanteile und bezieht sich darüber hinaus – entgegen der im HBS (2001/2005) gegebenen Definition – nur auf die Knotenpunktzufahrt. Die Wartezeit t_W an lichtsignalgeregelten Kreuzungen und Einmündungen beschreibt zwar den gesamten Zeitverlust durch Bremsen, Halten und Anfahren sowie Orientierung, jedoch ebenfalls nur in der Zufahrt des Knotenpunkts (Bezugslinie ist hier die Haltlinie). Von größerem Interesse ist bei der Bewertung des Verkehrsablaufs an plangleichen Knotenpunkten jedoch die Verlustzeit t_V einschließlich aller Zeitverlustanteile im gesamten Einflussbereich eines Knotenpunkts (siehe BRILON/GROßMANN/BLANKE, 1994a, und BRILON et al., 1999). Hiermit ist dann eine Vergleichbarkeit von verschiedenen Knotenpunktarten gegeben, wie sie mit der Wartezeit t_W in der bisherigen Form nicht geleistet werden kann.

BAIER/STEPHAN (2007) fordern deshalb, zukünftig die Verlustzeit t_V als maßgebendes Kriterium zu Grunde zu legen. Da die analytische Berechnung der Verlustzeit t_V nicht möglich ist (vgl. hierzu u. a. BRILON et al., 1999), sind beispielsweise für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage pauschale Werte für die zusätzlichen Zeitverluste durch Brems- und Beschleunigungsvorgänge anzusetzen, wie dies bereits im HCM (1997) erfolgt. Alternativ hierzu schlagen BAIER/STEPHAN (2007) vor, differenzierte t_W-t_V-Zusammenhänge für die verschiedenen Knotenpunktarten abzuleiten (z. B. durch mikroskopische Verkehrsflusssimulationen), um in Abhängigkeit der berechneten Wartezeit t_W in der Knotenpunktzufahrt die Verlustzeit t_V im gesamten Einflussbereich des Knotenpunkts ermitteln zu können.

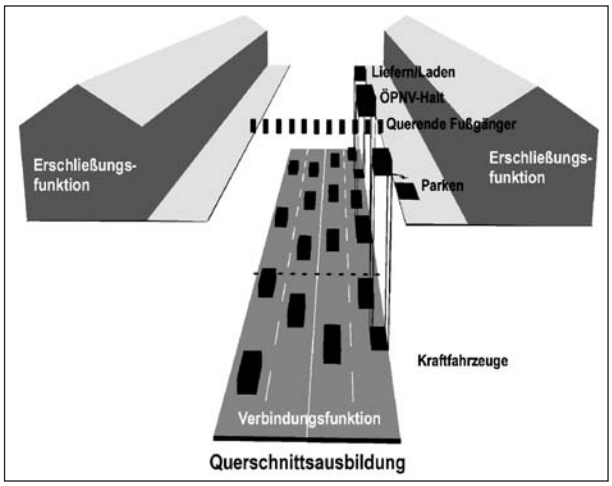


Bild 8: Überlagerung der Nutzungsansprüche aus Verbindungsfunktion und Erschließungsfunktion nach BAIER (2006)

Für ein detailliertes Verfahren zur Bewertung der Verbindungsqualität eines Straßenzugs auf Basis einer Einzelbetrachtung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten ist die Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit V_F für jede Einzelanlage notwendig. Deshalb sind für Strecken geeignete q-V_F-Beziehungen abzuleiten, die nach Fahrbahnquerschnitten differenziert sind und auch unterschiedliche Ausprägungen der Überlagerungen von Verbindungs- und Erschließungsansprüchen berücksichtigen (Bild 8). Für Knotenpunkte sind spezifische t_W-V_F-Beziehungen abzuleiten, wie dies durch SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007) bereits für Landstraßenknotenpunkte erfolgt ist.

3 Prinzip der Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Straßenzügen

Ziel ist die Entwicklung von Verfahren zur übergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs in Hauptverkehrsstraßenzügen, basierend auf einer differenzierten Betrachtung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten. Dies setzt die entsprechende Zerlegung eines Straßenzugs in Einzelanlagen voraus. Hierzu sind die Einflussbereiche der Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen zu bestimmen, woraus sich dann die dazwischenliegenden Streckenabschnitte ergeben. Das Verfahren hierzu wird in Kapitel 6.2.2 abgeleitet.

Die Bewertungsverfahren beziehen sich auf angebaute Straßen innerhalb bebauter Gebiete.

Dies sind Hauptverkehrsstraßen entsprechend der Straßenkategorie C III der RAS-N (1988) bzw. der Kategorie HS III der RIN (2008). Die Betrachtungen konzentrieren sich dabei auf den Kraftfahrzeugverkehr und ausschließlich auf Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul} von 50 km/h.[31]

3.1 Konzept zur Bewertung der Verkehrsqualität

Das Prinzip des Bewertungsverfahrens beruht auf einer elementübergreifenden Ermittlung der Verkehrsqualitätsstufe eines Hauptverkehrsstraßenzugs QSV_{HS} auf Basis der Verkehrsqualitäten der einzelnen Streckenabschnitte und Knotenpunkte. Dabei erfolgt eine getrennte Betrachtung beider Fahrtrichtungen. Voraussetzung ist also eine vorab durchzuführende Bewertung der Einzelanlagen.

Bei Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen ist bereits eine fahrtrichtungsgetrennte Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs vorgesehen (vgl. Kapitel 2.3.1). Die jeweils ermittelte $QSV_{S,i}$ sowie die richtungsbezogene Dichte k als Maß der Verkehrsqualität können somit unmittelbar übernommen werden.

An Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage erfolgt nach dem HBS (2001/2005) eine getrennte Beurteilung für jede Signalgruppe (vgl. Kapitel 2.3.2). Für die übergreifende Bewertung sind nur die Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug relevant, d. h., es sind nur die $QSV_{K,i}$ und die berechneten Wartezeiten t_W der betroffenen Signalgruppen zu übernehmen (Bild 9).

An Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage ist nach dem HBS (2001/2005) eine getrennte Beurteilung der Qualität des Verkehrsablaufs für jede Zufahrt vorgesehen, wobei die schlechteste Qualität aller beteiligten Verkehrsströme dann maßgebend für

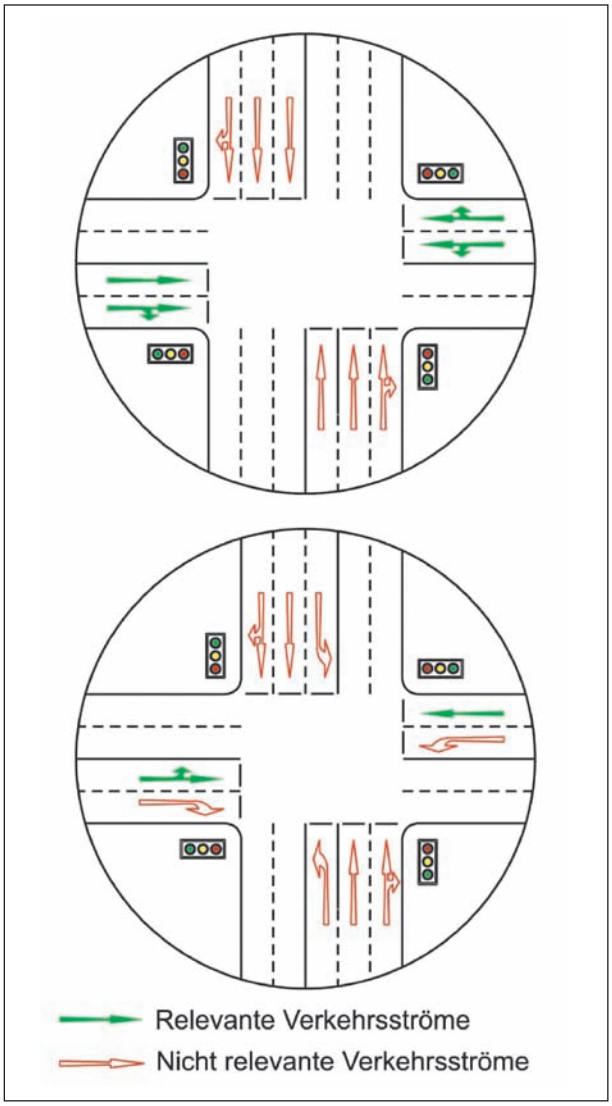


Bild 9: Relevante Verkehrsströme und Signalgruppen an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage

die zusammenfassende Einstufung des Knotenpunkts ist (vgl. Kapitel 2.3.4). Für die übergreifende Bewertung sind nur die Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug relevant, d. h., es sind nur die entsprechenden $QSV_{K,i}$ sowie die berechneten Wartezeiten t_W der betroffenen Ströme zu übernehmen. Bei Kreisverkehren sind dies die entsprechenden Größen der im betrachteten Straßenzug liegenden Zufahrten.

3.1.1 Überführung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs von Einzelanlagen in numerische Bewertungsgrößen

Die jeweilige Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs der Einzelanlage $QSV_{S,i}$ oder $QSV_{K,i}$ bzw. das entsprechende zugehörige Maß der Verkehrsqualität – für Streckenabschnitte die fahrtrichtungsbezoge-

[31] Da eine V_{zul} von 30 km/h oder 40 km/h bei Hauptverkehrsstraßen bislang eher die Ausnahme darstellt, gleichwohl die RASt (2006) für örtliche Geschäftsstraßen und Hauptgeschäftsstraßen wegen des linearen Überquerungsbedarfs von Fußgängern die Sicherstellung niedriger bzw. angemessener Geschwindigkeiten fordern und mit einer V_{zul} von 60 km/h laut SCHNABEL/LÄTZSCH (2002) keine nennenswerten Verbesserungen im Verkehrsablauf und damit höhere Fahrgeschwindigkeiten V_F zu erreichen sind, ist die Beschränkung auf Straßen mit einer V_{zul} von 50 km/h als Regelfall durchaus praxisgerecht.

ne Dichte k, für Knotenpunkte die Wartezeit t_W der relevanten Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug – ist dann in eine numerische Bewertungsgröße $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ zu überführen. Für diese Zuordnungen sind grundsätzlich verschiedene Varianten denkbar.

In Tabelle 5 sind zwei mögliche Varianten für die Zuordnung der Verkehrsqualitätsstufen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ zu einer jeweils ganzzahligen Bewertungsgröße $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ dargestellt. Variante 1 entspricht der im HBS (2001/2005) angegebenen Skala mit Zahlen von 0 bis 5 zur zusammenfassenden Verkehrsqualitätsbewertung für Autobahnabschnitte auf Basis der Qualitätsstufen einzelner Teilabschnitte. Übertragen auf Straßenzüge bedeutet dies, dass, sofern sich für (mindestens) eine Einzelanlage die Qualitätsstufe F ergibt, der gesamte Straßenzug mit der Stufe F bewertet wird (siehe hierzu auch Gleichung 7 in Kapitel 3.1.2). Variante 2 dagegen sieht eine Skala mit Zahlen von 1 bis 6 vor, d. h., die Bewertung einer einzelnen Anlage mit der Stufe F führt nicht unmittelbar zu einer entsprechenden Einstufung des gesamten Hauptverkehrsstraßenzugs.

Eine weitere Variante für die Überführung der einzelnen Verkehrsqualitätsstufen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ in eine Bewertungsgröße $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ besteht in der so genannten nicht-äquidistanten Zuordnung. Auch hierbei wird jeder Stufe genau ein Zahlenwert zugeordnet, die Bewertungen der Stufe A ($B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ = 6) und der Stufe F ($B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ = 1) entsprechen der Variante 2 gemäß Tabelle 5.

Bild 10 zeigt diese Zuordnungsvariante am Beispiel von Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage. Für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage ist es in diesem Fall erforderlich, einen Grenzwert der mittleren Wartezeit t_W für die Qualitätsstufe F festzulegen, da nach dem HBS (2001/2005) die Stufe F erreicht ist, wenn der Sättigungsgrad g des betrachteten Verkehrsstroms größer 1 ist (vgl. Tabelle 4 in Kapitel 2.3.4). FRIEDRICH/PRIEMER (2007) haben diesen Grenzwert beispielsweise auf t_W = 65 s festgelegt (vgl. Bild 10).

$QSV_{S,i}$ bzw. $QSV_{K,i}$	$B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ [-]	
	Variante 1	Variante 2
A	5	6
B	4	5
C	3	4
D	2	3
E	1	2
F	0	1

Tab. 5: Varianten für die Zuordnung von Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs zu ganzzahligen Bewertungsgrößen

Um das jeweilige Maß der Verkehrsqualität in seiner tatsächlichen Ausprägung, also den ermittelten realen Wert der Dichte k im Streckenabschnitt bzw. der Wartezeit t_W an einem Knotenpunkt, differenzierter zu berücksichtigen, sind diese selbst in eine numerische Bewertungsgröße $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ zu überführen. Hierzu ist für die unterschiedlichen Anlagen die Festlegung entsprechender Zuordnungsfunktionen erforderlich.

Diese können z. B. auf Basis einer nicht-äquidistanten Zuordnung abgeleitet werden, indem innerhalb der Stufen B bis E jeweils eine lineare Interpolation der Grenzwerte erfolgt, sodass $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ unterschiedliche reelle Zahlenwerte annehmen können (vgl. Bild 10). Die Bewertung der Qualitätsstufen A und F erfolgt hier weiterhin mit einem konstanten Zahlenwert (Stufe A: $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ = 6, Stufe F: $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ = 1). Die nicht-äquidistante Zuordnung hat grundsätzlich den Vorteil einer spezifischen Berücksichtigung der jeweiligen Qualitätsstufenkonzepte der verschiedenen Straßenverkehrsanlagen. Hieraus ergeben sich teilweise jedoch unterschiedliche Zahlenwerte für Bewertungsgrößen derselben Qualitätsstufe, z. B. bei Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage für die Stufe C mit $B_{K,i}$ = 4,5 bzw. $B_{K,i}$ = 4,6 (vgl. ebenfalls Bild 10).[32] Für die Rückführung der sich nach Gleichung 7 (siehe Kapitel 3.1.2) ergebenden Bewertung B_{HS} für den Straßenzug zu einer Gesamtverkehrsqualitätsstufe QSV_{HS} ist jedoch ausschließlich eine Zuordnungsskala erforderlich.

Deshalb erscheint es sinnvoller, analog dem Vorgehen von SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007), die Zuordnungsfunktionen der einzelnen, unterschiedlichen Straßenverkehrsanlagen auf Basis einer einheitlichen Bewertungsskala mit Zahlen von 1 bis 6 abzuleiten. In Tabelle 6 sind die Grenzwerte der Bewertungsgrößen für die einzelnen Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs angegeben. Für die Stufe A gilt zusätzlich als Obergrenze B = 6, für die Stufe F als Untergrenze B = 1.

[32] In diesem Fall ergeben sich bei Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage die Werte der Bewertungsgrößen $B_{K,i}$ für die Stufen B bis E auf Grund des von FRIEDRICH/PRIEMER (2007) festgelegten Grenzwerts der Stufe F auf t_W = 65 s.

Für die Einzelanlagen werden den Grenzwerten der Bewertungsgrößen $B_{S,i}$ und $B_{K,i}$ jeweils die entsprechenden Grenzwerte der $QSV_{S,i}$ (Dichte k gemäß Tabelle 2 in Kapitel 2.3.1) bzw. der $QSV_{K,i}$ (Wartezeit t_W gemäß Tabelle 2 in Kapitel 2.3.2 oder Tabelle 4 in Kapitel 2.3.4) zugeordnet. Für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage ist auch hierzu die Festlegung eines Grenzwerts der Stufe F erforderlich. Dieser wurde wie bei Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage zu t_W = 100 s festgelegt.

Bild 11 zeigt beispielhaft die sich hieraus ergebende Zuordnungsfunktion für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage. Die Zuordnungsfunktionen aller relevanten Einzelanlagen enthält Anhang 1.

Innerhalb der Qualitätsstufen B bis E erfolgt eine lineare Interpolation zwischen dem jeweils oberen und unteren Grenzwert, in der Stufe A zwischen der zu B = 6 gesetzten Obergrenze, bei der die Dichte k = 0 Pkw-E/(km x Ri) bzw. die Wartezeit t_W = 0 s beträgt t_1 und dem jeweils unteren Grenzwert. Innerhalb der Stufe F erfolgt – anders als bei SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007), die diese pauschal mit B = 1 bewerten – eine Unterteilung zur differenzierten Berücksichtigung von Überlastungszuständen. Im Gegensatz zum Ansatz von BRILON/ESTEL (2007), die eine Unterteilung der Qualitätsstufe F in vier Überlastungsstufen von F1 bis F4 vorschlagen, beschränkt sich die Differenzierung lediglich auf zwei Bereiche. Für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage beispielsweise erfolgt bei Wartezeiten t_W von 100 s bis 200 s eine lineare Interpolation von $B_{K,i}$ zwischen 1,5 und 1,0, bei t_W > 200 s wird $B_{K,i}$ = 1 gesetzt, dies entspricht der Untergrenze der Stufe F (vgl. Bild 11). Bezüglich einer weitergehenden Differenzierung, z. B. in drei oder vier Überlastungsstufen, besteht noch Untersuchungsbedarf (siehe Kapitel 11.2).

QSV	B [-]
A	≥ 5,5
B	≥ 4,5
C	≥ 3,5
D	≥ 2,5
E	≥ 1,5
F	< 1,5

Tab. 6: Zuordnung von Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs zu Grenzwerten der Bewertungsgrößen

3.1.2 Bestimmung der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs für einen Straßenzug

Die Bestimmung der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs QSV_{HS} erfolgt über die Gesamtbewertung B_{HS} auf Basis der $B_{S,i}$ und $B_{K,i}$ der Einzelanlagen durch eine längengewichtete harmonische Mittel-

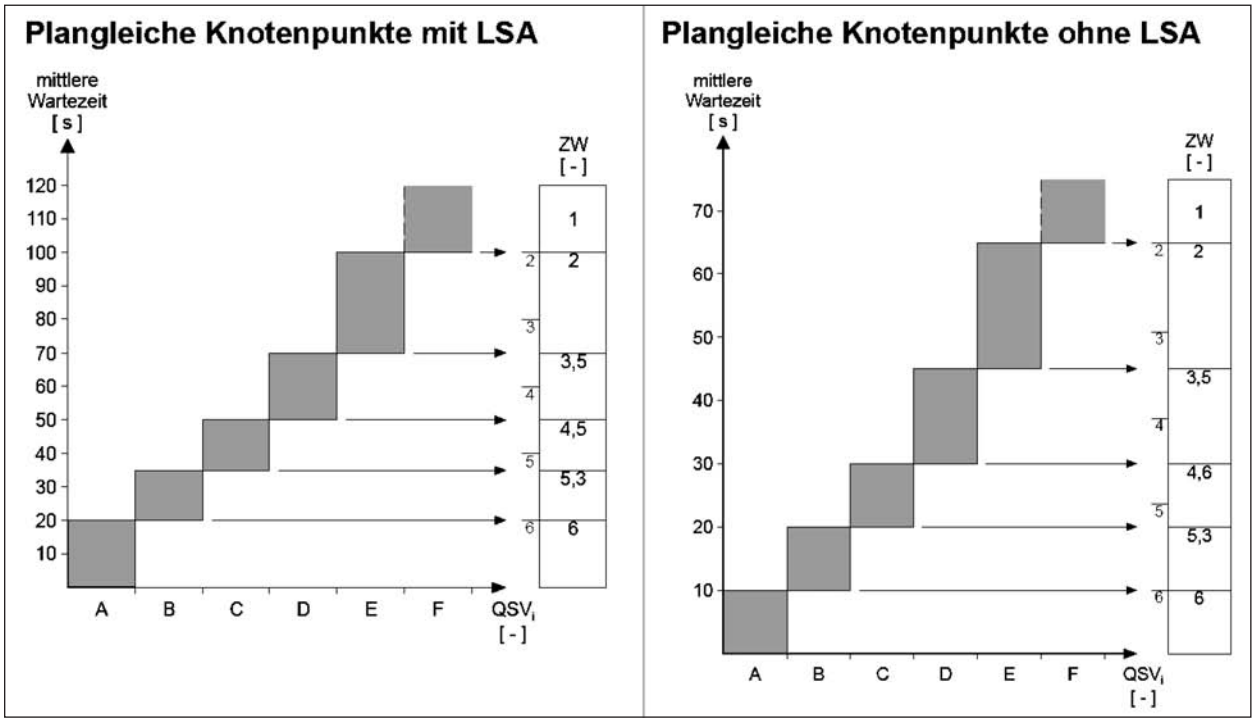


Bild 10: Variante für die nicht-äquidistante Zuordnung von Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs zu reellen Bewertungsgrößen am Beispiel von Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage nach FRIEDRICH/PRIEMER (2007)

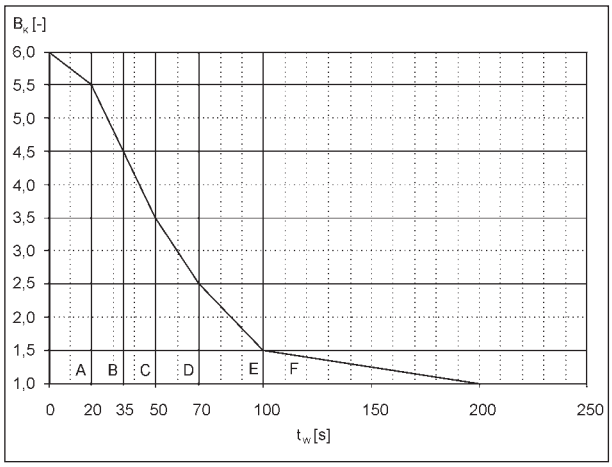


Bild 11: Zuordnungsfunktion der mittleren Wartezeit t_W an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage zur numerischen Bewertungsgröße B_K (t_W-B-Zuordnungsfunktion)

wertbildung.[33] Die Gesamtbewertung B_{HS} ergibt sich somit nach Gleichung 7 zu

$$B_{HS} = \frac{L_{HS}}{\sum_{i=1}^{n_S} \frac{L_{S,i}}{B_{S,i}} + \sum_{i=1}^{n_K} \frac{L_{KE,i}}{B_{K,i}}} \text{ [-]} \qquad \text{Gl. 7}$$

mit

B_{HS} Bewertung des Hauptverkehrsstraßenzugs [-]

L_{HS} Länge des Hauptverkehrsstraßenzugs [m]

n_S Anzahl der Streckenabschnitte [-]

$L_{S,i}$ Länge des Streckenabschnitts i [m]

$B_{S,i}$ Bewertung des Streckenabschnitts i [-]

n_K Anzahl der Knotenpunkte [-]

$L_{KE,i}$ Länge des Einflussbereichs des Knotenpunkts i [m]

$B_{K,i}$ Bewertung des Knotenpunkts i [-]

Grundsätzlich sind zusätzliche Gewichtungsfaktoren für die $B_{S,i}$ und $B_{K,i}$ zur stärkeren Berücksichtigung von Anlagen mit einer schlechten Qualitätseinstufung denkbar, z. B. bei Überlastung einzelner Knotenpunkte. Einen ähnlichen Ansatz schlagen SCHUCKLIEß/ BECHER/STEINAUER (2007) für die übergreifende Bewertung von Landstraßenzügen vor. Hierbei erfolgt eine zusätzliche Gewichtung der jeweils „schlechtesten“ Einzelanlage in Abhängigkeit der sich ergebenden Qualitätsstufe QSV_{LS} für den gesamten Landstraßenzug. Dieser Ansatz basiert auf umfangreichen empirischen Untersuchungen zur subjektiven Beurteilung des Verkehrsablaufs auf Landstraßen von Verkehrsteilnehmern.

Da die diesbezüglichen Erkenntnisse für innerörtliche Straßen z. B. aus den Untersuchungen von BAIER et al. (2003) und BAIER (2006) zur Ableitung entsprechender Gewichtungsfaktoren nicht ausreichend erscheinen, und auch keine gesonderten Untersuchungen hierzu vorgesehen sind, erfolgt hier keine zusätzliche Gewichtung einzelner $B_{S,i}$ und $B_{K,i}$.

Aus der mit Gleichung 7 für einen Straßenzug ermittelten Gesamtbewertung B_{HS} wird dann nach Tabelle 7 (vgl. Kapitel 3.1.1) die QSV_{HS} bestimmt. Das dabei zu Grunde liegende Qualitätsstufenkonzept führt bei der Bewertung bereits eines einzelnen Streckenabschnitts oder Knotenpunkts mit der Stufe F nicht unmittelbar zu einer entsprechenden Einstufung des gesamten Hauptverkehrsstraßenzugs. Alternativ erlaubt das Konzept über logische Verknüpfungen aber auch die Festlegung, den gesamten Straßenzug mit der Stufe F zu bewerten, wenn sich für (mindestens) eine Einzelanlage die Qualitätsstufe F ergibt (siehe auch Kapitel 8.2).

3.2 Konzept zur Bewertung der Verbindungsqualität

Die Bewertung der Verbindungsqualität eines Straßenzugs beruht auf der elementübergreifenden Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit V_F auf Basis der Geschwindigkeiten auf den einzelnen Streckenabschnitten $V_{F,S}$ und innerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen $V_{F,KE}$, die vorab zu ermitteln sind. Dabei erfolgt eine richtungsgetrennte Betrachtung.

3.2.1 Festlegung der Verbindungsqualitätsstufen

Als Bewertungsmaßstab für die erreichbare Fahrgeschwindigkeit V_F in einem Hauptverkehrsstraßenzug werden sechs Verbindungsqualitätsstufen (kurz: VQS) definiert. Die Ausgangsbasis für deren Festlegung sollten die Vorgaben der RAS-N (1988) bzw. der RIN (2008) für die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ der entsprechenden

[33] Andere Möglichkeiten zur Mittelwertbildung wurden ebenfalls untersucht (siehe Kapitel 8.4), diese sind jedoch ungeeignet. Darüber hinaus erfolgt die Ermittlung der $V_{F,HS}$ ebenfalls längengewichtet (siehe Gleichung 8 in Kapitel 3.2.2).

innerörtlichen Straßenkategorien gemäß Tabelle 1 in Kapitel 2.1.2 sein. Diese $V_{F,Ziel}$ gelten für Netzabschnitte, die nach den RIN (2008) als eine Folge von Netzelementen (Strecken und Knotenpunkte) mit gleicher Verbindungsfunktionsstufe und gleicher Kategoriengruppe, also gleicher Kategorie, definiert sind. Wechselt die Kategoriengruppe an einer Stelle (z. B. bei Ortsdurchfahrten im Landstraßennetz) oder die Verbindungsfunktionsstufe an einem Knotenpunkt, so beginnt ein neuer Netzabschnitt. Ein Netzabschnitt wird darüber hinaus von Knotenpunkten begrenzt, an denen die betrachtete Straße mit einer Straße gleich- oder höherrangiger Verbindungsfunktionsstufe verknüpft ist; er schließt diese Knotenpunkte ein. Ein Netzabschnitt kann weitere Knotenpunkte beinhalten, an denen die betrachtete Straße mit Straßen niederrangiger Verbindungsfunktionsstufe verknüpft ist (Anschlussknotenpunkte).

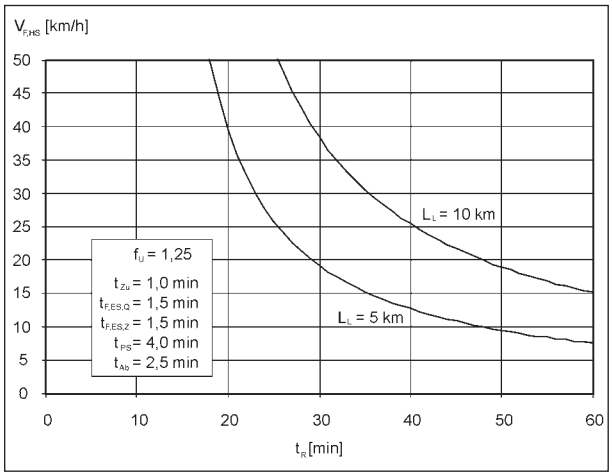


Bild 12: Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ im Hauptverkehrsstraßennetz in Abhängigkeit der Reisezeit t_R und der Luftlinienentfernung L_L

Bezogen auf innerörtliche Hauptverkehrsstraßen bedeutet dies, dass sich ein Netzabschnitt aus einem Streckenabschnitt, der die Anschlussknotenpunkte des nachgeordneten Erschließungsstraßennetzes definitionsgemäß mit einschließt (vgl. Kapitel 2.2), und den jeweils angrenzenden Knotenpunkten zwischen Hauptverkehrsstraßen zusammensetzt. Die in den RAS-N (1988) bzw. den RIN (2008) angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ beinhalten die Zeitverluste an Knotenpunkten. D. h. für Hauptverkehrsstraßen, dass die Wartezeiten t_W an den in den Streckenabschnitten liegenden Anschlussknotenpunkten vollständig und die Wartezeiten t_W an den den Netzabschnitt begrenzenden Knotenpunkten zwischen Hauptverkehrsstraßen anteilig in der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit V_F zu berücksichtigt sind. Infolgedessen können die vorgegebenen $V_{F,Ziel}$ auch auf Straßenzüge als Folge von Streckenabschnitten und Knotenpunkten respektive Folge von Netzabschnitten bezogen werden.

Die $V_{F,Ziel}$ umfassen für die hier betrachtete Straßenkategorie C III eine Bandbreite von 30 km/h bis 50 km/h (RAS-N, 1988) bzw. für die Kategorie HS III von 20 km/h bis 30 km/h (RIN, 2008), wobei Erstere für eine gute, Letztere für eine angemessene Verbindungsqualität gelten (vgl. Kapitel 2.1.2). Als angemessen kann eine Qualität oberhalb der Qualitätsstufe D (welche im Allgemeinen als ausreichend definiert ist) angesehen werden. Mit einer $V_F \geq 20$ km/h würde somit die Stufe C erreicht werden.

LOS bzw. VQS	$V_{F,HS}$ [km/h]					
	HCM (1985) HCM (1994) HCM (1997)	HCM (2000)	BRILON/ GROßMANN/ BLANKE (1994a)	SCHNABEL et al. (1998)	SCHNABEL/ LÄTZSCH/ BRÜCKNER (2001)	BRILON/ SCHNABEL (2003)
	V_f = 43 km/h	V_f = 45 km/h	V_{zul} = 50 km/h			
A	≥ 40	> 41	≥ 45	≥ 45	≥ 40	≥ 40
B	≥ 31	> 32	≥ 40	≥ 40	≥ 30	≥ 30
C	≥ 21	> 23	≥ 30	≥ 30	≥ 20	≥ 25
D	≥ 14	> 18	≥ 20	≥ 20	≥ 15	≥ 20
E	≥ 11	> 14	< 20	≥ 10	≥ 10	≥ 15
F	< 11	≤ 14	< 10	< 10	< 10	< 15

Tab. 7: Grenzwerte der mittleren Fahrgeschwindigkeit V_F auf Hauptverkehrsstraßen für die Qualitätsstufen A bis F nach dem HCM (1985, 1994 und 1997 sowie 2000) und nach den Vorschlägen von BRILON/GROßMANN/BLANKE (1994a), SCHNABEL et al. (1998), SCHNABEL/LÄTZSCH/BRÜCKNER (2001) und BRILON/SCHNABEL (2003)

Die Festlegung der Grenze zwischen der Qualitätsstufe C und D kann sich auch aus anderen Betrachtungen ergeben. Ausgehend von den aus dem ROG abgeleiteten Vorgaben für die Erreichbarkeit zentraler Orte sind in den RIN (2008) auch entsprechende Zielgrößen für innerörtliche Verbindungen angegeben. Für die Erreichbarkeit des Hauptzentrums eines Oberzentrums von Stadt- oder Ortsteilzentren bzw. Wohnstandorten mit dem Pkw ist hiernach eine Reisezeit $t_R \leq 30$ min vorgegeben.[34] Diese t_R beinhaltet die gesamte Fahrtzeit t_F über den Weg der Länge L_R zuzüglich der Zu-/Abgangszeiten t_{Zu} und t_{Ab} sowie eventueller Parksuchzeiten t_{PS} (vgl. Kapitel 2.1.3).

Mit Gleichung 8

$$V_{F,HN} = \sum_{i=1}^{n_{HS}} \frac{L_{HS,i}}{t_{F,HS,i}} \cdot 60\,[\text{km/h}] \qquad \text{Gl. 8}$$

mit

n_{HS} Anzahl der Hauptverkehrsstraßenzüge auf der Route [-]

$V_{F,HN}$ Fahrgeschwindigkeit im übergeordneten Straßennetz [km/h]

$L_{HS,i}$ Länge des Hauptverkehrsstraßenzugs i [km]

$t_{F,HS,i}$ Fahrtzeit auf Hauptverkehrsstraßenzug i [min]

und Gleichung 2 (vgl. Kapitel 2.1.3) bzw. der hieraus abgeleiteten Gleichung 9

$$L_{F,HN} = (f_U \cdot L_L) - L_{F,ES}\,[\text{km}] \qquad \text{Gl. 9}$$

mit

$L_{F,HN}$ Länge des Fahrwegs im übergeordneten Straßennetz [km]

f_U Umwegfaktor [-]

L_L Luftlinienentfernung zwischen Quelle und Ziel [km]

$L_{F,ES}$ Länge des Fahrwegs im Erschließungsstraßennetz [km]

lassen sich die Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HN}$ im übergeordneten Straßennetz und hieraus die Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,HS}$ auf den einzelnen Hauptverkehrsstraßenzügen auf der Route in Abhängigkeit der Reisezeit t_R und der Luftlinienentfernung L_L ermitteln. In Bild 12 ist dieser Zusammenhang bei einem günstigen Umwegfaktor f_U von 1,25 dargestellt. Die dabei zu Grunde gelegten Anbindungszeiten (t_{Zu}, $t_{F,ES,Q}$ und $t_{F,ES,Z}$, t_{PS} sowie t_{Ab}) gelten gemäß den RIN (2008) für Kern- und Innenstadtrandbereiche eines Oberzentrums und stellen das Maximum der insgesamt anzusetzenden Zeiten dar (siehe Tabelle 21 in Kapitel 10.2.1).

Aus Bild 12 ergibt sich, dass bei einer Luftlinienentfernung L_L von 5 km – als Untergrenze des Anwendungsbereichs der RIN (2008; siehe auch Kapitel 10.1) – zur Erreichung der geforderten Reisezeit $t_R \leq 30$ min unter den genannten Randbedingungen eine mittlere Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ von etwa 20 km/h notwendig ist. Da die Zielvorgabe einer $t_R \leq 30$ min als Mindestgröße für eine ausreichende Erreichbarkeitsqualität zu verstehen ist, ergibt sich hieraus eine $V_{F,HS} \geq 20$ km/h als (untere) Grenze der Qualitätsstufe D, die eine ausreichende Verbindungsqualität bedeutet.

Diese Festlegung würde aber auch bedeuten, dass bei einer Luftlinienentfernung L_L von mehr als 5 km und/oder einem ungünstigeren Umwegfaktor f_U über 1,25 die Erreichbarkeitszielvorgabe der RIN (2008) von $t_R \leq 30$ min nur durch eine höhere Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ einzuhalten ist (z. B. ist bei $L_L = 10$ km und $f_U = 1{,}25$ eine mittlere $V_{F,HS}$ von knapp unter 40 km/h erforderlich; vgl. Bild 12). Inwieweit sich dies auf die Verknüpfung der Verbindungsqualitätsstufe eines Hauptverkehrsstraßenzugs mit der Stufe der verbindungsbezogenen Angebotsqualität im Netz nach den RIN (2008) auswirkt, wird in Kapitel 10.2 eruiert.

Aus den beiden dargestellten Betrachtungen ergibt sich eine $V_{F,HS} \geq 20$ km/h zum einen als Grenzwert der Stufe C (abgeleitet aus der $V_{F,Ziel}$), zum anderen als Grenzwert der Stufe D (abgeleitet aus der Erreichbarkeitsvorgabe einer $t_R \leq 30$ min). Ersteres entspricht (bezogen auf die Stufe C) der von SCHNABEL/LÄTZSCH/BRÜCKNER (2001) vorgeschlagenen Stufeneinteilung, Letzteres (ebenfalls bezogen auf die Qualitätsstufe C) der Einstufung der erreichbaren Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,HS}$, wie sie beispielsweise BRILON/GROßMANN/BLANKE (1994a) oder SCHNABEL et al. (1998) vorschlagen (vgl. Tabelle 7).

Zur Ableitung eines in sich schlüssigen Qualitätsstufenkonzepts sollte zunächst die Festlegung des

[34] Als Grundlage werden in den RIN (2008) die innerörtlichen Zentren (vgl. SCHÖNING/BORCHARD, 1992) in einen Kontext zu den außerörtlichen Zentralitätsstufen gestellt und hieraus ein System innerörtlicher Zentralitätsstufen aufgebaut.

Grenzwerts der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ für die Stufe A erfolgen. Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul} von 50 km/h erscheint es, so auch BRILON/SCHNABEL (2003), unrealistisch, für die Qualitätsstufe A einen höheren Grenzwert für die $V_{F,HS}$ als 40 km/h anzusetzen. Die Ergebnisse von KNOTE et al. (1999) bestätigen ebenfalls, dass bei einer V_{zul} von 50 km/h günstigstenfalls Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,HS}$ von knapp über 40 km/h erreicht werden können. Wie auch SCHNABEL/LÄTZSCH/BRÜCKNER (2001) schlagen BRILON/SCHNABEL (2003) deshalb eine von diesem Grenzwert ausgehende Qualitätsstufeneinteilung vor, die in etwa den Qualitätsstufeneinteilungen des HCM (1985, 1994 und 1997) bzw. des HCM (2000) entsprechen (vgl. ebenfalls Tabelle 7). Der Grenzwert der Qualitätsstufe A sollte somit zu $V_{F,HS} \geq 40$ km/h festgelegt werden.

Mit den festgelegten Grenzwerten der Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ für die Stufen A sowie C bzw. D lassen sich geeignete Einteilungen der übrigen Qualitätsstufen ableiten. In Tabelle 8 sind sich hieraus ergebende mögliche Stufenkonzepte der Verbindungsqualität von Hauptverkehrsstraßen dargestellt.

Die ausgehend von der Erreichbarkeitsvorgabe einer $t_R \leq 30$ min abgeleitete Einteilung der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ entspricht dem Vorschlag von BRILON/SCHNABEL (2003). Dieses Qualitätsstufenkonzept wird den weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt, da es insgesamt plausibler erscheint. So entsprechen die Grenzwerte der Stufen A und B mit $V_{F,HS} \geq 40$ km/h bzw. $V_{F,HS} \geq 30$ km/h der nach dem RIN-Entwurf (2007) ursprünglich vorgesehenen $V_{F,Ziel}$ für eine gute Verbindungsqualität von 30 km/h bis 40 km/h.

Darüber hinaus erlaubt der festgelegte Grenzwert für die Stufe F mit einer $V_{F,HS}$ von 15 km/h bei Bedarf eine weitergehende Unterteilung, wie sie auch SCHNABEL et al. (1998) oder BRILON/ESTEL (2007) vorschlagen. Hiermit können Überlastungszustände differenzierter berücksichtigt werden. Bezüglich einer solchen Differenzierung, z. B. in drei oder vier Überlastungsstufen, besteht jedoch noch Untersuchungsbedarf (siehe hierzu Kapitel 11.3).

VQS_{HS}	$V_{F,HS}$ [km/h] ($V_{F,Ziel}$ = 20-30 km/h)	$V_{F,HS}$ [km/h] ($t_R \leq 30$ min)
A	≥ 40	≥ 40
B	≥ 30	≥ 30
C	≥ 20	≥ 25
D	≥ 15	≥ 20
E	≥ 10	≥ 15
F	< 10	< 15

Tab. 8: Einteilungen der Verbindungsqualitätsstufen A bis F für die Fahrgeschwindigkeit V_F auf Hauptverkehrsstraßen

3.2.2 Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit in einem Straßenzug

Die Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit V_F in einem Straßenzug erfolgt auf Basis der Geschwindigkeiten auf den Streckenabschnitten $V_{F,S}$ und innerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte $V_{F,KE}$. Diese sind vorab einzeln zu ermitteln.

Hierzu sind für die Streckenabschnitte geeignete q-V_F-Beziehungen abzuleiten, die nach Fahrbahnquerschnitten zu differenzieren sind. Des Weiteren sind in diesen unterschiedliche Ausprägungen der Überlagerungen von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion zu berücksichtigen (Bild 13).

Für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage sind spezifische t_W-V_F-Beziehungen abzuleiten, mit denen aus der nach dem HBS (2001/2005) berechneten Wartezeit t_W die Fahrgeschwindigkeit $V_{F,KE}$ im gesamten Einflussbereich des Knotenpunkts zu bestimmen ist (Bild 14). Alternativ könnten auch differenzierte t_W-t_V-Zusammenhänge für die verschiedenen Knotenpunktarten, wie sie auch BAIER/STEPHAN (2007) vorschlagen, herangezogen wer-

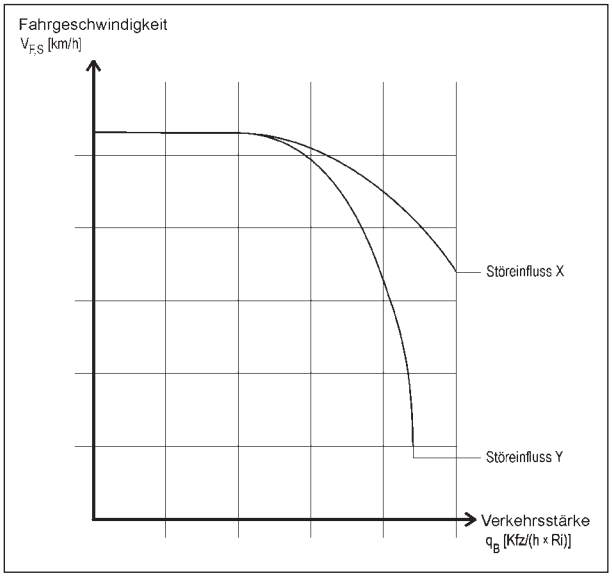


Bild 13: Aufbau der q-V_F-Beziehungen für Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen

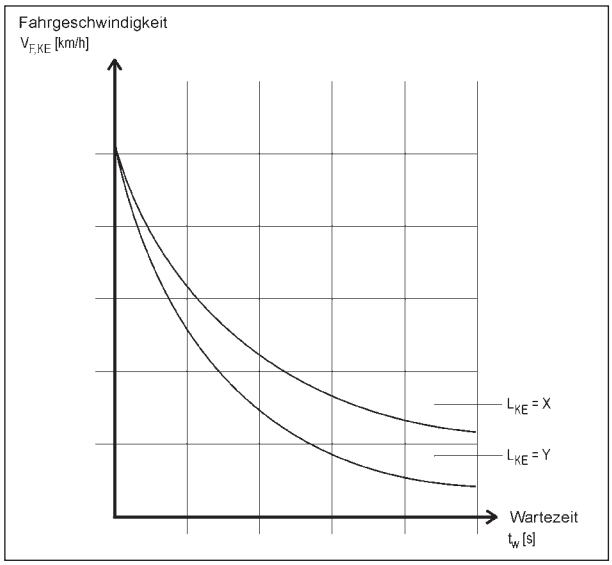


Bild 14: Aufbau der t_W-V_F-Beziehungen für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage

den, um in Abhängigkeit der berechneten Wartezeit t_W in der Knotenpunktzufahrt die Verlustzeit t_V im gesamten Einflussbereichs des Knotenpunkts ermitteln zu können (vgl. Kapitel 2.4). Hiermit kann dann unter Hinzuziehung der Zeit für die freie Durchfahrt durch den Knotenpunkt $t_{f,KE}$ ebenfalls die $V_{F,KE}$ ermittelt werden.

Die mittlere $V_{F,HS}$ ergibt sich nach Gleichung 10 zu

$$V_{F,HS} = \frac{L_{HS}}{\sum_{i=1}^{n_s} \frac{L_{S,i}}{V_{F,S,i}} + \sum_{i=1}^{n_K} \frac{L_{KE,i}}{V_{F,KE,i}}} \text{ [km/h]} \qquad \text{Gl. 10}$$

mit

$V_{F,HS}$ Fahrgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßenzug [km/h]

L_{HS} Länge des Hauptverkehrsstraßenzugs [m]

n_S Anzahl der Streckenabschnitte [-]

$L_{S,i}$ Länge des Streckenabschnitts i [m]

$V_{F,S,i}$ Fahrgeschwindigkeit auf Streckenabschnitt i [km/h]

n_K Anzahl der Kontenpunkte [-]

$L_{KE,i}$ Länge des Einflussbereichs des Kontenpunkts i [m]

$V_{F,KE,i}$ Fahrgeschwindigkeit im Einflussbereich des Kontenpunkts i [km/h]

Diese erreichbare Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HS}$ wird gemäß der in Tabelle 8 (vgl. Kapitel 3.2.1) angegebenen, ausgehend von der Erreichbarkeitsvorgabe einer $t_R \leq 30$ min abgeleiteten Einteilung in eine Verbindungsqualitätsstufe eingeordnet. Ergibt sich danach die Stufe D oder eine höhere Qualitätsstufe, wird die nach den RIN (2008) als Zielgröße angestrebte Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ erreicht (vgl. Tabelle 1 in Kapitel 2.1.2).

4 Typisierung von Hauptverkehrsstraßennetzen

Die städtische Straßennetzgestaltung ist, neben den durch die verschiedenen innerörtlichen Funktionsbereiche ausgelösten Flächennutzungen und Bebauungsstrukturen, von zahlreichen natürlichen, städtebaulichen und verkehrlichen Faktoren sowie selbstverständlich auch von den überkommenen Stadtstrukturen und Straßennetzen abhängig (SCHNABEL/LOHSE, 1997). Die Stadtstrukturen können nach KAINRATH (1997) und BECKMANN (1998) grundsätzlich in drei Haupttypen unterschieden werden: konzentrische (Punkt- oder Satellitenstädte), homogene (Rasterstädte) und lineare Stadtmodelle (Bandstädte).

4.1 Grundformen städtischer Straßennetze

Es gibt drei prinzipielle Typen von Straßennetzen – Radial-Ring-Netze, Rasternetze und lineare Netze –, die z. T. miteinander kombiniert vorkommen und sich in historischen wie topografischen Aspekten begründen. In Ballungsgebieten und Großstädten sind nach SCHNABEL/LOHSE (1997) vor allem Radial-Ring-Netze sowie Tangentensysteme, die weitgehend den Radial-Ring-Systemen entsprechen, und Rasternetze vorzufinden.

4.1.1 Radial-Ring-Netze

Städte entstanden auf der Grundlage früherer Siedlungen, um Klöster, als Weiterentwicklung von Römerstädten, als Pfalzen, um Burgen herum, an wichtigen Verkehrs- und Handelswegen, besonders an Flussübergängen, an natürlichen Häfen und zur Verteidigung von Grenzräumen (CURDES, 1993). Der Ursprung der Radial-Ring-Systeme stammt häufig aus dem Mittelalter. Grundlage war beispielsweise eine Kreuzung von zwei Straßen, an der sich ein Marktflecken und in der Folge eine Stadt entwickelten. Diese Städte besitzen damit einen „Zentralknoten“ bzw. zentralen Platz (Markt),

von dem aus eine größere Anzahl von Straßen die Stadtfläche erschließt. Das Wachstum der Städte über ihre mittelalterliche Grenze hinaus und der zunehmende Verkehr in unmittelbarer Umgebung des Stadtzentrums führten zur Anlage zuerst von einem Stadtring (oft im Zuge der früheren umgebenden Festungs- und Wallanlagen), der das enge Zentrum entlasten sollte, und später je nach Stadtgröße zu mehreren Ringen für den Kraftfahrzeugverkehr. Um das Stadtzentrum vom durchgehenden Verkehr entlasten zu können, sollte der innere Ring aus verkehrlicher Sicht relativ nah an diesem verlaufen (vgl. SCHNABEL/LOHSE, 1997).

In Radial-Ring-Netzen ist das Zentrum gut mit allen Stadtgebieten und dem Umland verbunden und die Orientierung der Verkehrsteilnehmer zum Zentrum ist gut. Des Weiteren unterstreicht bzw. ermöglicht die Netzstruktur den Aufbau einer Hierarchie sowohl in der Flächennutzung als auch im Verkehrsnetz. Die Verbindungen, die nicht radial verlaufen, sind jedoch nicht so günstig und erfordern oft Umwege. Die Orientierung der Verkehrsteilnehmer für beliebige Ziele abseits vom Zentrum ist dementsprechend ebenfalls ungünstig. Der Ausbau der Ringe muss zum Ausgleich der Mehrweglänge hochwertig erfolgen (Außenring hochwertiger als Innenring), um dadurch den Stadtinnenbereich verkehrlich wirksam entlasten zu können.

4.1.2 Rasternetze

Rastersysteme sind häufig in amerikanischen Städten anzutreffen. Diese wurden bei Stadtgründungen der letzten Jahrhunderte, aber auch im Altertum bewusst angewendet (SCHNABEL/LOHSE, 1997). Mit der Renaissance traten neue Gestaltungsprinzipien auf, die zunächst durch die Wiederanknüpfung an antike Vorbilder gewonnen wurden, sich im Barock aber erweiterten und zu einer eigenständigen kulturellen Leistung verdichteten. Regelmäßigkeit, Geometrie und formale Ordnungsprinzipien wurden als bewusster Bruch mit den herrschenden Traditionen entwickelt (vgl. CURDES, 1993). Das Netz kann in gleicher Art und Weise nach jeder Richtung erweitert werden (Probleme entstehen allerdings beim Zusammenwachsen von Siedlungen) und eine große Netzmasche kann nach dem gleichen Prinzip in kleinere Maschen unterteilt werden.

Die Netzstruktur schafft in der gesamten Stadtfläche nahezu gleiche Standortbedingungen, alle Stadtgebiete sind untereinander gleichwertig verbunden und für eine Quelle-Ziel-Beziehung werden mehrere gleichwertige Routen angeboten, d. h., bei Störungen im Verkehrsnetz sind Ausweichrouten vorhanden. Rasternetze sind darüber hinaus gut für Einbahnstraßensysteme und koordinierte Lichtsignalsteuerungen geeignet.

Die Verbindung der Stadtgebiete mit dem Zentrum ist jedoch nicht direkt (radial) möglich und daher mit Umwegen verbunden. Es bestehen viele Auswahlmöglichkeiten, sodass eine bewusste Einflussnahme auf das Wegewahlverhalten durch verkehrsorganisatorische Maßnahmen schwierig ist. Durch Auflassen bzw. Unterbrechen von einzelnen Straßenabschnitten können engmaschige Systeme allerdings in dieser Hinsicht verbessert werden (Schaffung einer Hierarchie).

4.1.3 Lineare Netze

Lineare Netze bestehen, wenn entlang der Trasse eines leistungsfähigen öffentlichen Verkehrsmittels Siedlungen errichtet wurden, in deren Längsrichtung, parallel zur Verkehrsachse, auch sämtliche Ver- und Entsorgungsleitungen verlegt sind (KAINRATH, 1997). Sie entwickeln sich in natürlicher Form aus topografischen Gegebenheiten bandförmig, vor allem also in Tälern. Dazu kommen Besiedlungen entlang von Straßen, wobei sich hier eine optimale Breite von einem bis maximal zwei Kilometern ergibt, um das öffentliche Verkehrsmittel, das Rückgrat des Siedlungsbands, von überall leicht erreichbar zu machen.

Ein lineares Netz kann in gleicher Art und Weise nach jeder Richtung erweitert werden. Probleme entstehen allerdings beim Zusammenwachsen von Siedlungen. Darüber hinaus wird für eine Quelle-Ziel-Beziehung meist nur eine Route angeboten. Bei Störungen im Verkehrsnetz sind kaum Ausweichrouten vorhanden.

4.2 Überprüfung des Typisierungsansatzes

Zur Überprüfung dieser Typisierung wurden auf der Grundlage von Stadtplänen die Straßennetzsysteme aller deutschen kreisfreien Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern den genannten drei Typen zugeordnet.[35] In Tabelle 9 sind diese Zuordnungen für

[35] Von den insgesamt 118 kreisfreien Städten haben 72 Städte mehr als 100.000 Einwohner (Stand: 31. Dezember 2006).

Stadt	Einwohner	Netzsystem
Berlin	3.404.037	Radial-Ring-Netz
Hamburg	1.754.182	Radial-Ring-Netz
München	1.294.608	Radial-Ring-Netz
Köln	989.766	Radial-Ring-Netz
Frankfurt am Main	652.610	Radial-Ring-Netz
Stuttgart	593.923	Raster-/Linearnetz
Dortmund	587.624	Radial-Ring-Netz
Essen	583.198	Radial-Ring-Netz
Düsseldorf	577.505	Rasternetz
Bremen	547.934	Raster-/Linearnetz
Hannover	516.343	keine Zuordnung erfolgt
Leipzig	506.578	Radial-Ring-Netz
Dresden	504.795	Raster-/Linearnetz
Nürnberg	500.855	Radial-Ring-Netz
Duisburg	499.111	Raster-/Linearnetz
Bochum	383.743	Rmadial-Ring-Netz
Wuppertal	358.330	Linearnetz
Bielefeld	325.846	Linearnetz
Bonn	314.299	Radial-Ring-/Linearnetz
Mannheim	307.914	Rasternetz
Karlsruhe	286.327	Radial-Ring-Netz
Wiesbaden	275.562	Raster-/Radial-Ring-Netz
Münster	272.106	Radial-Ring-Netz
Gelsenkirchen	266.772	keine Zuordnung erfolgt
Augsburg	262.512	keine Zuordnung erfolgt
Mönchengladbach	260.951	Radial-Ring-Netz
Aachen	258.770	Radial-Ring-Netz
Chemnitz	245.700	Radial-Ring-Netz
Braunschweig	245.467	Radial-Ring-Netz
Krefeld	237.104	Rasternetz
Halle (Saale)	235.720	Linearnetz
Kiel	235.366	Radial-Ring-Netz
Magdeburg	229.826	Linearnetz
Oberhausen	218.181	Linearnetz
Freiburg im Breisgau	217.547	Radial-Ring-/Linearnetz
Lübeck	211.213	Radial-Ring-Netz
Erfurt	202.658	Radial-Ring-Netz

Tab. 9: Straßenetzsysteme kreisfreier Städte mit mehr als 200.000 Einwohnern

Stadt	Einwohner	Netzsystem
Rostock	199.868	Linearnetz
Mainz	196.425	Linear-/Radial-Ring-Netz
Hagen	195.671	Radial-Ring-Netz
Kassel	193.518	Linearnetz
Hamm	183.672	Linearnetz
Herne	169.991	Linearnetz
Mülheim an der Ruhr	169.414	Linearnetz
Ludwigshafen	163.560	keine Zuordnung erfolgt
Osnabrück	163.020	Radial-Ring-Netz
Solingen	162.948	Linearnetz
Leverkusen	161.336	Linearnetz
Oldenburg (Oldenbg.)	159.060	Radial-Ring-Netz
Potsdam	148.813	keine Zuordnung erfolgt
Heidelberg	144.634	Linearnetz
Darmstadt	141.257	Radial-Ring-Netz
Würzburg	134.913	Linearnetz
Regensburg	131.342	Radial-Ring-Netz
Ingolstadt	122.167	Radial-Ring-Netz
Göttingen *	121.581	keine Zuordnung erfolgt
Heilbronn	121.384	Rasternetz
Ulm	120.925	Radial-Ring/Rasternetz
Wolfsburg	120.493	Linearnetz
Pforzheim	119.156	Linearnetz
Bottrop	118.975	keine Zuordnung erfolgt
Offenbach am Main	117.564	Linearnetz
Bremerhaven	116.045	Linearnetz
Remscheid	114.925	Linearnetz
Fürth	113.627	Linearnetz
Salzgitter	106.665	Linearnetz
Koblenz	105.888	Rasternetz
Cottbus	103.837	Linear-/Rasternetz
Erlangen	103.753	Linearnetz
Trier	103.518	keine Zuordnung erfolgt
Gera	102.733	Linearnetz
Jena	102.494	Linearnetz

* Göttingen ist in den Landkreis Göttingen eingegliedert, seit 1964 gelten jedoch die Vorschriften über kreisfreie Städte

Tab. 10: Straßenetzsysteme kreisfreier Städte mit 100.000 bis 200.000 Einwohnern

die Städte mit über 200.000 Einwohnern, in Tabelle 10 für die Städte mit 100.000 bis 200.000 Einwohnern angegeben.

Es zeigt sich, dass die Hauptverkehrsstraßennetze fast aller Städte den drei Netzsystemen unter historisch-geometrischen Gesichtspunkten grob zugeordnet werden können, die Zuordnung jedoch von der Betrachtungsebene abhängig ist. Insbesondere die Einordnung des gesamtstädtischen Netzes fällt deutlich schwerer als die des innerstädtischen. Dies begründet sich u. a. im zeitlichen Verlauf der Stadtentwicklungen, die zu Kombinationen von Netzsystemen geführt haben.

Die vertiefende Analyse anhand einiger ausgewählter Städte ergab des Weiteren, dass sich diese geometrischen Strukturen nicht zwangsläufig in der heutigen Netzhierarchie oder den Verkehrsbelastungen und deren Verteilung im Netz widerspiegeln. Beispielsweise hat Aachen historisch betrachtet ein Radial-Ring-Netz. Da jedoch der Innenring z. T. für

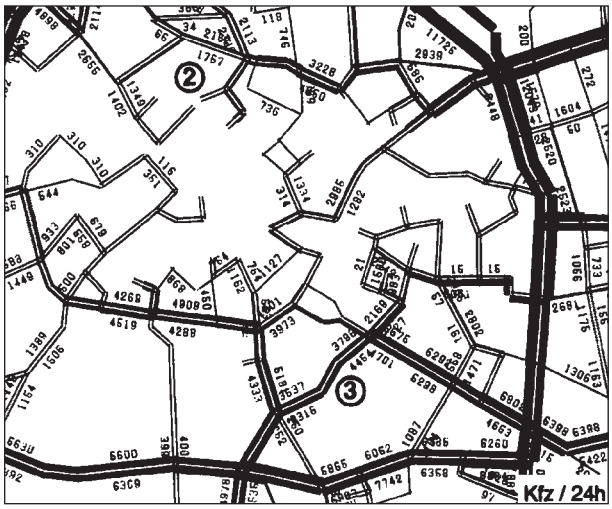


Bild 15: Kraftfahrzeugverkehrsbelastungen im Straßennetz des Innenstadtbereichs von Aachen (BAIER et al., 1994)

den Kraftfahrzeugverkehr gesperrt ist, die äußeren Ringe nicht geschlossen sind und die Radialen nicht alle bis ins Zentrum führen, findet sich diese Struktur nicht mehr in der Hierarchie des Hauptverkehrsstraßennetzes oder in der Verkehrsstärkenverteilung wieder (Bild 15).

Ein weiteres Beispiel zeigt das linearen Netz von Coburg, in dem mehrere Belastungsachsen von Norden nach Süden gehen (Bild 16). Ebenfalls am Beispiel des Innenstadtbereichs von Wiesbaden, dessen Straßennetz eine Rasterstruktur aufweist, lässt sich zeigen, dass die geometrische Form und das Verkehrsbelastungsbild innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze nicht zwangsläufig kongruent sind (Bild 17).

Der Ansatz über die Netzgeometrie greift offensichtlich zu kurz, zumal dieser auch nicht die funktionale Gliederung eines Hauptverkehrsstraßenetzes (Bild 18) berücksichtigt. Aus diesem Grund sollte eine Unterscheidung von Netzen bzw. Netzausschnitten über die Netzdichte und die Verknüpfungsstruktur gewählt werden. Die Qualität des Straßennetzes spiegelt sich in der Anzahl der Alternativrouten und dem Mehraufwand der bestmöglichen Alternativroute(n) wider. Diese Netzqualität kann auch als „Verknüpfungsqualität“ bezeichnet werden.

Die Sensitivität der Verbindungsqualität eines Straßenzugs oder einer Route hängt von dieser „Verknüpfungsqualität“ des Netzes ab. Hat ein Straßennetz große Maschenweiten und wenige Verknüpfungen, so reagiert das Netz sehr anfällig auf Veränderungen. Ist das Straßennetz engmaschig, so ist es gegenüber Veränderungen der

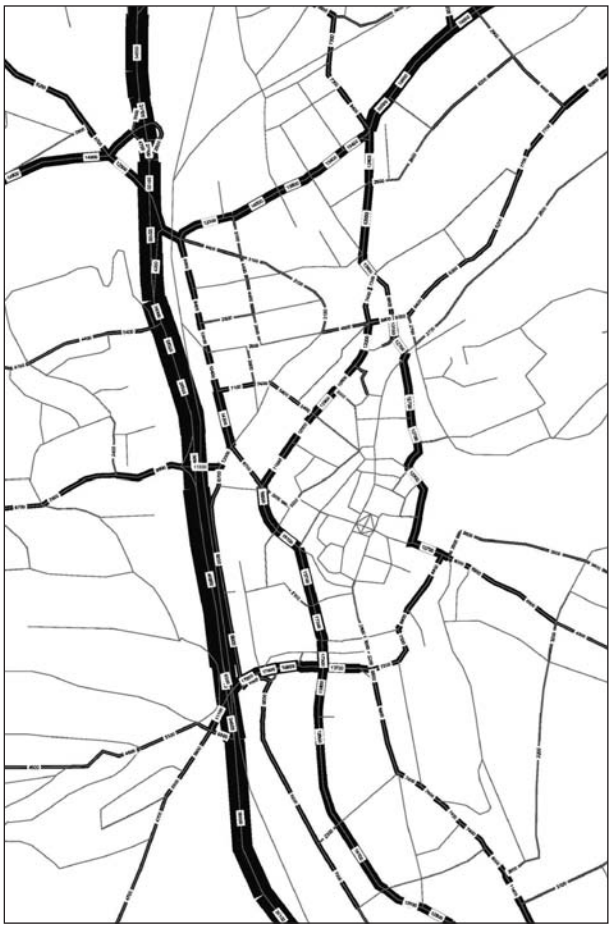


Bild 16: Kraftfahrzeugverkehrsbelastungen im Straßennetz von Coburg (BAIER et al., 2004)

Bild 17: Kraftfahrzeugverkehrsbelastungen im Straßennetz des Innenstadtbereichs von Wiesbaden (BAIER/HEBEL, 2000)

Verbindungsqualität einzelner Straßenzüge oder Routen eher unempfindlich, bei Vorhandensein geringfügig zeitaufwändigerer Alternativrouten

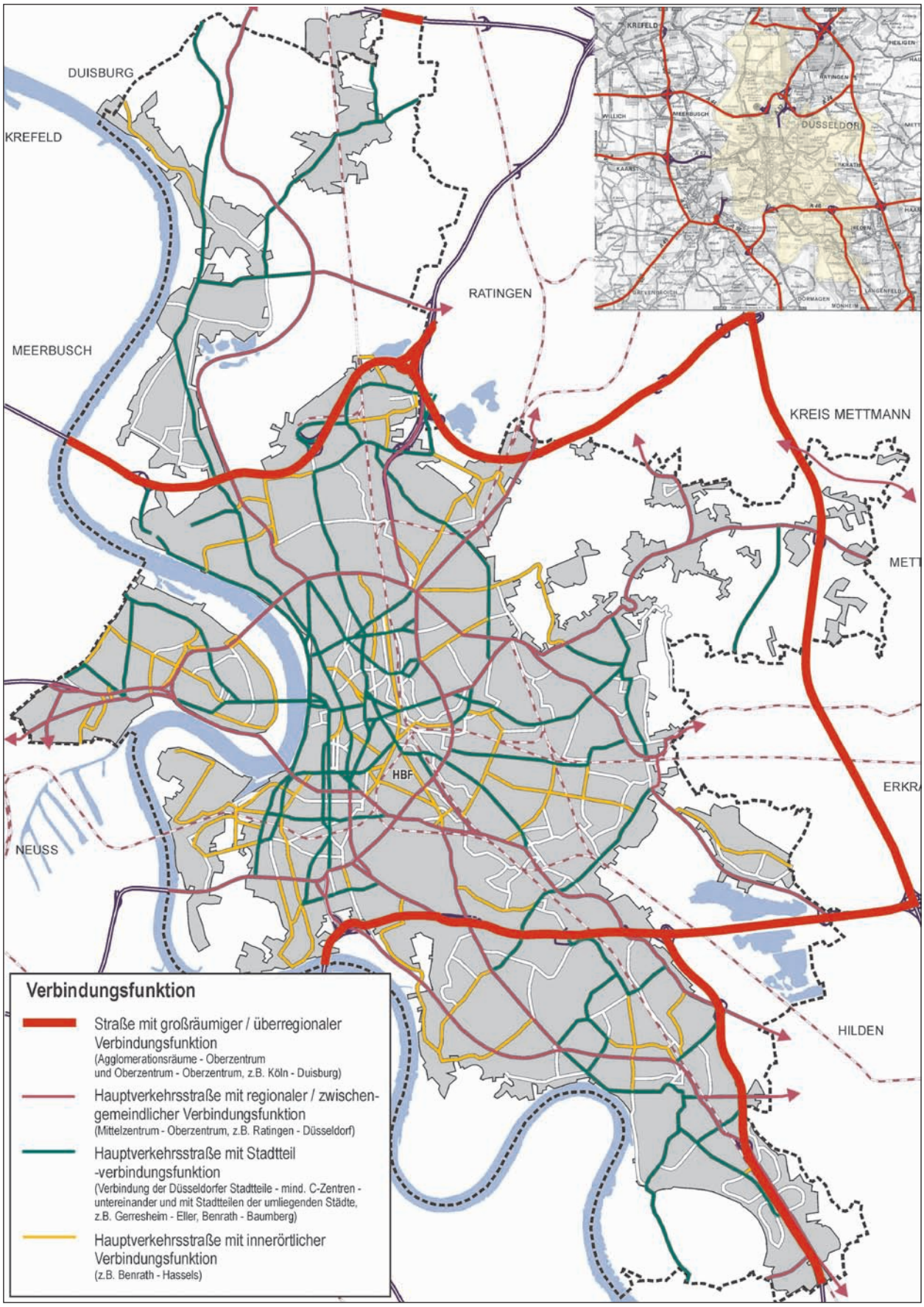


Bild 18: Funktionale Gliederung des Straßennetzes von Düsseldorf (BAIER/BRAUN/HEBEL, 2005)

liegt eine gute Netzqualität vor. Ansätze zur Bewertung von Netzqualitäten werden in Kapitel 8 diskutiert.

5 Empirische Untersuchungen des Verkehrsablaufs an ausgewählten Fallbeispielen

Die empirischen Untersuchungen des Verkehrsablaufs in Hauptverkehrsstraßenzügen dienen zur Abklärung grundlegender Fragen, wie z. B. der Ableitung der Länge von definierbaren Streckenabschnitten unter Ausschluss der jeweiligen Knotenpunkteinflüsse als Grundlage für die notwendige Zerlegung von Straßenzügen in Einzelanlagen. Des Weiteren stellen die empirischen Befunde die wesentlichen Grundlagen für die mikroskopischen Verkehrsflusssimulationsuntersuchungen zur Erweiterung des Aussagen- und Datenspektrums dar (siehe Kapitel 7).

5.1 Auswahl der Straßenzüge

Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl der untersuchten Hauptverkehrsstraßenzüge war im Hinblick auf die Zielsetzung einer Bewertung von Verkehrs- und Verbindungsqualitäten unter Berücksichtigung von Netzeffekten u. a., dass in diesen Straßenzügen planerische Maßnahmen angedacht, geplant bzw. zumindest plausibel unterstellbar sind. Darüber hinaus sollten unterschiedliche Straßennetzsysteme berücksichtigt werden, in denen eventuelle Netzeffekte mit verfügbaren makroskopischen Verkehrssimulationsmodellen analysierbar und vor allem quantifizierbar sind.

Als Fallbeispielstädte wurden Mönchengladbach und Köln (beide mit einem Radial-Ring-Netz) sowie Düsseldorf (Rasternetz) und Bielefeld (Linearnetz) ausgewählt.[36] Damit sind alle prinzipiellen Typen von Straßennetzen berücksichtigt.

Die Kriterien für die konkrete Auswahl von Hauptverkehrsstraßenzügen in den Netzen waren

- unterschiedliche, jedoch ausreichend große Abstände der Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen,
- dazwischenliegende Abschnitte mit einer jeweils (weitgehend) einheitlichen Streckencharakteristik, insbesondere hinsichtlich der Fahrstreifenanzahl und -nutzung,
- ein möglichst breites, über den gesamten Straßenzug konstantes Belastungsspektrum in der Kraftfahrzeugverkehrsstärke und
- unterschiedliche Nutzungsansprüche aus der Erschließungsfunktion in den einzelnen Abschnitten.

Als Fallbeispiele ausgewählt wurden

- die Grevenbroicher Straße und die an diese anschließende Erzberger Straße sowie die Dohler Straße, Geneickener Straße, Zoppenbroicher Straße, Bahner Straße und Konstantinstraße in Mönchengladbach (nachfolgend verkürzt als Grevenbroicher Straße bezeichnet),
- die Zülpicher Straße in Köln,
- die Derendorfer Straße und die an diese anschließenden Schloßstraße und Sommerstraße in Düsseldorf (nachfolgend verkürzt als Derendorfer Straße bezeichnet),
- die Grafenberger Allee in Düsseldorf und
- die Detmolder Straße in Bielefeld.

Mit Ausnahme der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach dienten die Straßenzüge auch als Fallbeispiele für die Untersuchungen zum Verkehrsablauf auf Streckenabschnitten mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern im Teil 1 des Forschungsvorhabens (vgl. SÜMMERMANN et al., 2008).

5.1.1 Grevenbroicher Straße (Mönchengladbach)

Die Grevenbroicher Straße ist eine zweistreifige Hauptverkehrsstraße, die den Stadtteil Giesenkirchen sowie den östlichen Teil von Rheydt mit dem Zentrum von Mönchengladbach verbindet und darüber hinaus auch regionale/zwischengemeindliche Verbindungsfunktion hat (Bild 19). Der betrachtete Straßenzug vom Friedensplatz in Giesenkirchen bis zur Korschenbroicher Straße (L 381) hat eine Länge von etwa 5,0 km, mit abschnittsweise wechselnden Randnutzungen: von Wohn- und vereinzelten Geschäftsnutzungen auf der „alten Hauptstraße“ in Giesenkirchen über einen anbaufreien Bereich im Zuge der L 370 zu einem innerstädti-

[36] Zur Zuordnung der jeweiligen Straßennetzsysteme vgl. Tabelle 9 in Kapitel 4.2.

schen Bereich im Zuge der K 1 mit Wohnnutzungen und vereinzeltem Geschäftsbesatz (Bild 20), der sich zum Zentrum hin verdichtet.

Der Straßenzug ist mit bis zu 2.000 Kfz/h im Querschnitt belastet. Es verkehren mehrere Buslinien über die Grevenbroicher Straße, jedoch jeweils nur abschnittsweise (20- bzw. 30-Minuten-Takt). Die Haltestellen sind teilweise als Busbuchten sowie teilweise als Buskaps ausgebildet.

Das Parkgeschehen wird im Wesentlichen durch die Anwohner sowie in den Bereichen mit Geschäftsnutzungen tagsüber durch die Einkaufenden bestimmt. Das Liefer- und Ladeverkehrsaufkommen ist in diesen Bereichen ebenfalls entsprechend hoch.

Die Knotenpunkte mit den kreuzenden bzw. einmündenden Hauptverkehrsstraßen sind (mit Ausnahme von zwei Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen an der Abzweigung der Düsseldorfer Straße) lichtsignalgesteuert. Die Umlaufzeiten t_U betragen tagsüber (von 09:30 Uhr bis 15:30 Uhr) 78 s bzw. an einem Knotenpunkt 68 s.

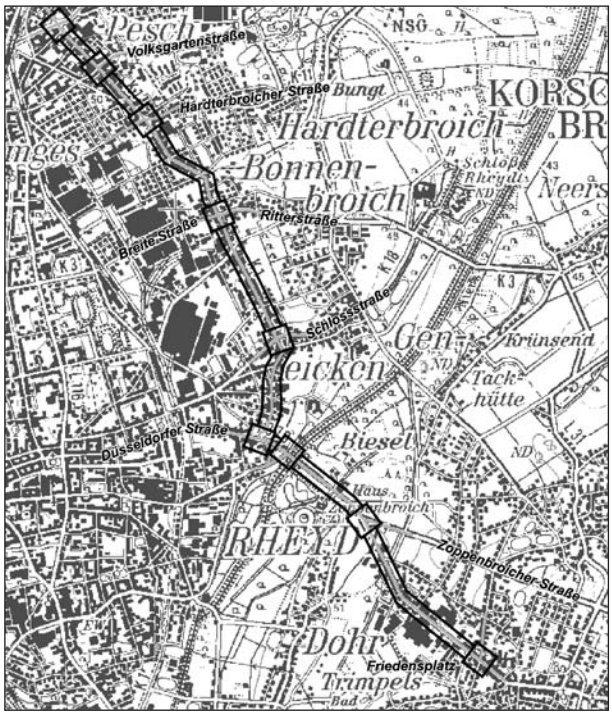


Bild 19: Untersuchungsbereich der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach

Bild 20: Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach (Abschnitt der Dohler Straße zwischen Breite Straße/ Ritterstraße und Schlossstraße)

5.1.2 Zülpicher Straße (Köln)

Die Zülpicher Straße ist eine zweistreifige Hauptverkehrsstraße mit straßenbündigen Bahnkörpern (Bild 21) und verbindet die westlichen Wohngebiete des Stadtteils Lindenthal mit dem Zentrum von Köln. Der Straßenzug hat vom Gürtel bis zum Zülpicher Platz eine Länge von rund 2,1 km und eine rein innerörtliche Verbindungsfunktion (Bild 22).

Der Bereich vom Lindenthalgürtel/Sülzgürtel bis zur Universitätsstraße stellt das Stadtteilzentrum von Sülz dar. Dieser Abschnitt ist, ebenso wie der Be-

Bild 21: Zülpicher Straße in Köln

Bild 22: Untersuchungsbereich der Zülpicher Straße in Köln

reich vom Bahnhof Köln-Süd bis zum Zülpicher Platz, 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. Auf Grund der Bedeutung als örtliche Geschäftsstraße sowie der unmittelbaren Lage zur Universität ist das Radverkehrsaufkommen mit bis zu 170 Rad/h im Querschnitt (Führung auf der Fahrbahn) bedeutsam. Über die Zülpicher Straße verkehrt eine Bahnlinie im 10-Minuten-Takt. Die Haltestellen sind alle an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (jeweils in den Zufahrten) angeordnet.

Das Parkgeschehen wird durch die Anwohner sowie in den Bereichen mit Geschäfts- und Dienstleistungsnutzungen tagsüber durch die Einkaufenden bzw. Besucher bestimmt. Das Liefer-/Ladeverkehrsaufkommen ist hier entsprechend hoch.

Die Kreuzungen mit der Universitätsstraße und der Roonstraße am Zülpicher Platz sind lichtsignalgesteuert. Die Umlaufzeiten t_U der Lichtsignalanlagen betragen tagsüber zwischen 60 s und 90 s.

5.1.3 Derendorfer Straße (Düsseldorf)

Die Derendorfer Straße ist ebenfalls eine zweistreifige Hauptverkehrsstraße mit straßenbündigen Bahnkörpern (Bild 23). Der Straßenzug hat eine rein innerörtliche Verbindungsfunktion und verbindet den Stadtteil Derendorf im Norden von Düsseldorf sowie die östlichen Gebiete des Stadtteils Pempelfort mit der Stadtmitte (Bild 24) und im weiteren Verlauf über die Pempelforter Straße und die Kölner Straße u. a. auch mit dem Hauptbahnhof.

Bild 23: Derendorfer Straße in Düsseldorf

Von der Münsterstraße bis zur Bagelstraße hat der Straßenzug eine Länge von etwa 1,4 km und ist durch überwiegende Wohnnutzung geprägt, teilweise mit Geschäften und Gastronomie in den Erdgeschossen. Diese sind im Abschnitt zwischen der

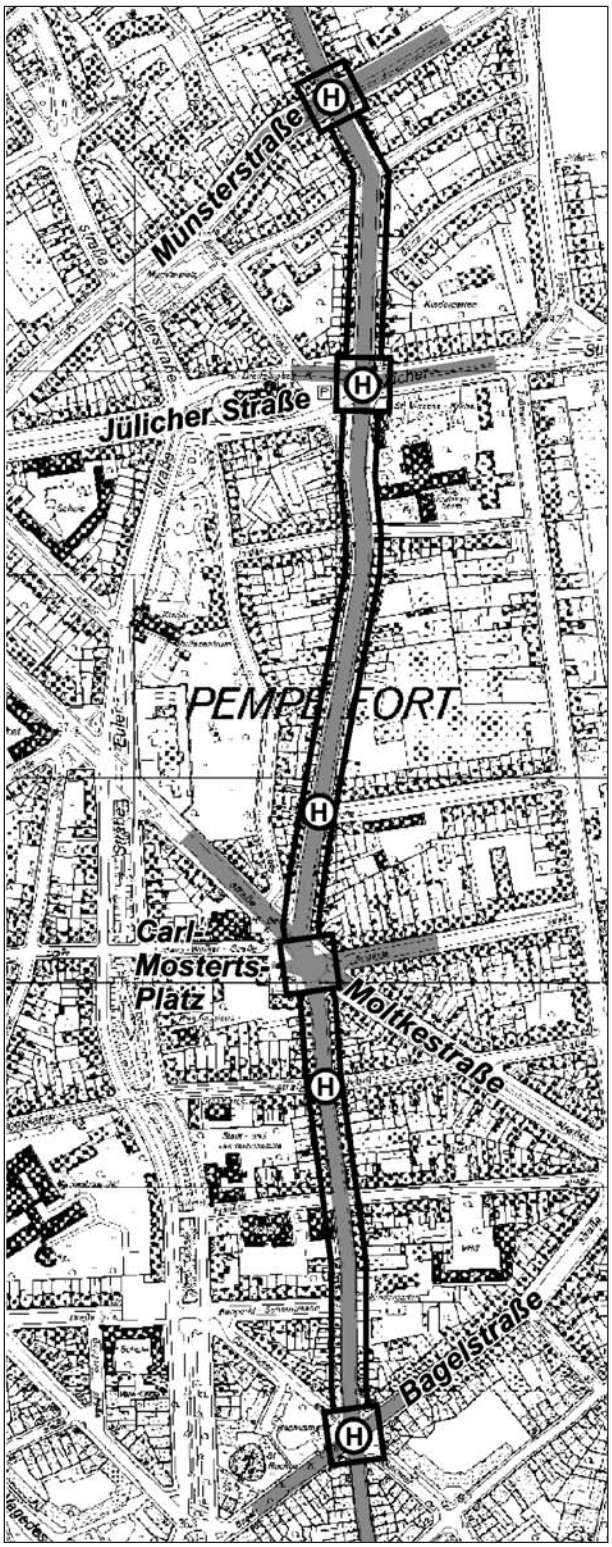


Bild 24: Untersuchungsbereich der Derendorfer Straße in Düsseldorf

Jülicher Straße und der Bagelstraße konzentriert vorhanden. Der Hauptverkehrsstraßenzug hat somit auch die Funktion einer örtlichen Geschäftsstraße.

Das Verkehrsaufkommen beträgt bis zu 700 Kfz/h im Querschnitt, zuzüglich 60 Rad/h im Querschnitt (Führung auf der Fahrbahn). Über den Straßenzug verkehrt eine Stadt-/Straßenbahnlinie im 10-Minuten-Takt. Die Haltestellen liegen meist in den Zufahrten lichtsignalgesteuerter Knotenpunkte.

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

Die Knotenpunkte mit den kreuzenden Hauptverkehrsstraßen sind lichtsignalgesteuert. Die Umlaufzeit t_U beträgt tagsüber (im Zeitraum von 14:30 Uhr bis 19:30 Uhr) an allen Knotenpunkten 70 s.

5.1.4 Grafenberger Allee (Düsseldorf)

Die Grafenberger Allee ist eine vierstreifige Hauptverkehrsstraße mit straßenbündigen Bahnkörpern. Sie verbindet den im Osten gelegenen Stadtteil Grafenberg, Teile des Zooviertels (Stadtteil Düsseltal) sowie des Stadtteils Flingern mit der Stadtmitte von Düsseldorf (Bild 25) und hat darüber hinaus vom Staufenplatz bis zur Lindemannstraße/Dorotheenstraße (B 8) auch eine regionale/zwischengemeindliche Verbindungsfunktion. Der betrachtete Straßenzug vom Staufenplatz bis zur Uhlandstraße/Beethovenstraße ist insgesamt etwa 2,6 km lang.

Der straßenbündige Stadt-/Straßenbahnkörper (Bild 26) ist für Kraftfahrzeuge nicht durchgängig zur Benutzung freigegeben (Abmarkierung durch Sperrflächen nach Zeichen 298 StVO). Somit steht dem MIV teilweise nur ein Richtungsfahrstreifen zur Verfügung.

Die Randnutzungen sind in einzelnen Abschnitten unterschiedlich: Zwischen dem Staufenplatz 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 bereichsweise 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. Über die Grafenberger Allee verkehren insgesamt sechs Stadt-/Straßenbahnlinien (im 10- bzw. 20-Minuten-Takt), davon jedoch nur zwei Linien über den gesamten Straßenzug. Die Haltestellen sind mit Zeitinseln ausgebildet oder befinden sich in Mittellage (mit Seitenbahnsteigen).

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.

Die Knotenpunkte mit den kreuzenden bzw. einmündenden Hauptverkehrsstraßen sind lichtsignalgesteuert. Die Umlaufzeit t_U der Lichtsignalanlagen beträgt tagsüber (von 14:30 Uhr bis 19:30 Uhr) 70 s bzw. an zwei Knotenpunkten nur 55 s.

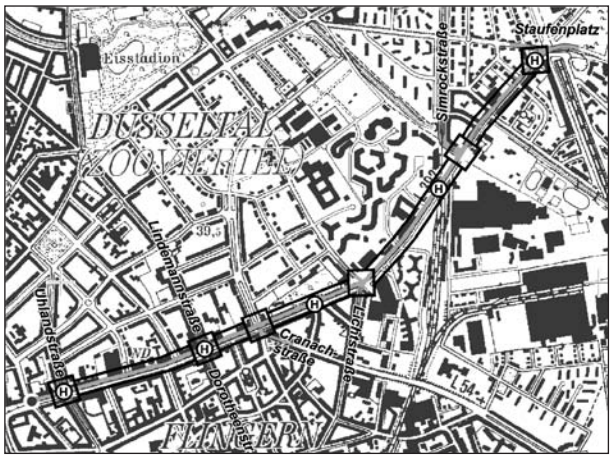


Bild 25: Untersuchungsbereich der Grafenberger Allee in Düsseldorf

Bild 26: Grafenberger Allee in Düsseldorf

5.1.5 Detmolder Straße (Bielefeld)

Die Detmolder Straße ist eine vierstreifige Hauptverkehrsstraße im Zuge der B 66 und verbindet den Stadtteil Stieghorst sowie die Anschlussstelle Bielefeld-Zentrum der BAB A 2 mit dem Stadtzentrum (Bild 27). Sie hat somit innerörtliche sowie auch regionale Verbindungsfunktion.

Der Straßenzug hat von der Stieghorster Straße bis zum Niederwall eine Länge von insgesamt 4,5 km. Bis zur Osningstraße/Otto-Brenner-Straße ist die Detmolder Straße vierstreifig mit Mittelstreifen ausgebaut; in diesem Bereich ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} teilweise 60 km/h. Der Bereich mit vierstreifigem Fahrbahnquerschnitt mit straßenbündigen Bahnkörpern (Bild 28) von der Osningstraße/Otto-Brenner-Straße bis zum Niederwall hat eine Länge von rund 2,3 km und ist durch überwiegende Wohnnutzung mit vereinzelt vorhandenen Geschäften und Dienstleistungsnutzungen geprägt.

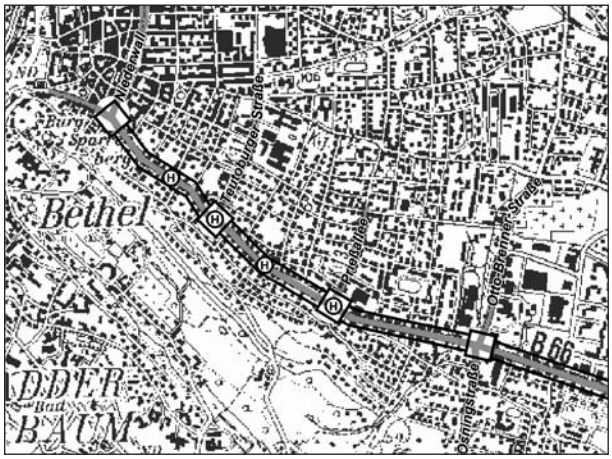


Bild 27: Untersuchungsbereich der Detmolder Straße in Bielefeld

Bild 28: Detmolder Straße in Bielefeld

Die Belastung im Kraftfahrzeugverkehr beträgt bis zu 2.200 Kfz/h im Querschnitt. Zwischen Osningstraße/Otto-Brenner-Straße und Niederwall verkehrt tagsüber eine Stadt-/Straßenbahnlinie im 10-Minuten-Takt. Die Haltestellen sind alle mit Zeitinseln ausgestattet und liegen mit einer Ausnahme in den Zufahrten lichtsignalgesteuerter Knotenpunkte.

Das Parkgeschehen wird von den Anwohnern bestimmt. Das Liefer-/Ladeverkehrsaufkommen ist auf Grund der nur vereinzelten Geschäfte gering.

Die Knotenpunkte mit den kreuzenden bzw. einmündenden Hauptverkehrsstraßen sind lichtsignalgesteuert. Die Umlaufzeit t_U beträgt tagsüber (im Zeitraum von 14:30 Uhr bis 19:30 Uhr) an allen Knotenpunkten 100 s.

5.2 Durchführung und Auswertung der empirischen Untersuchungen

Die durchgeführten empirischen Untersuchungen erfolgten an Normalwerktagen von 7 Uhr bis 19 Uhr. Mit diesen Untersuchungszeiträumen werden die von den EVE (1991) empfohlenen Zählzeiten für innerstädtische Hauptverkehrsstraßen (7-10 Uhr und 15-19 Uhr) berücksichtigt. Erfasst wurden hierbei jeweils (siehe auch Bild 29):

- Tagesganglinien der Kraftfahrzeugverkehrsstärke und deren Zusammensetzung (Schwerverkehrsanteil), und zwar fahrtrichtungsgetrennt auf einzelnen Streckenabschnitten sowie jeweils für alle relevanten Ströme an Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen,
- Fahrzeiten und -geschwindigkeiten im MIV über den jeweiligen Straßenzug,

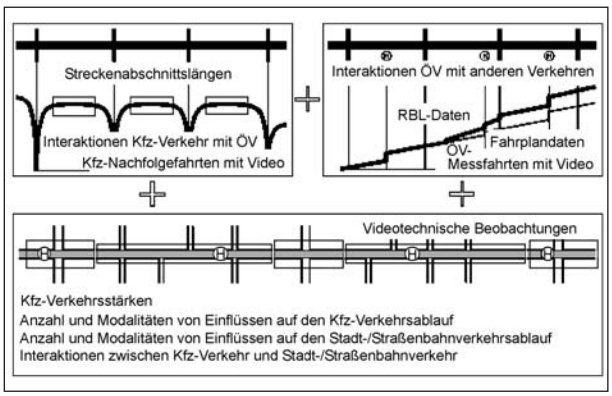


Bild 29: Instrumentarien und Ergebnisse der empirischen Untersuchungen

- räumliche und zeitliche Verteilungen von relevanten Erschließungsvorgängen mit potenziellen Störeinflüssen auf den Verkehrsablauf auf der Strecke.

Bei den Fallbeispielen mit straßenbündigen Bahnkörpern wurden, insbesondere auch im Hinblick auf die Untersuchungen im Teil 1 des Forschungsvorhabens (vgl. SÜMMERMANN et al., 2008), zusätzlich die Fahrplantakte/-halte sowie die Beförderungszeiten und -geschwindigkeiten im Stadt-/Straßenbahnverkehr (über den gesamten Straßenzug, einschließlich der Haltestellenaufenthaltszeiten) erhoben. Darüber hinaus wurden Interaktionen zwischen dem Kraftfahrzeug- und dem Stadt-/Straßenbahnverkehr erfasst.

Zur Erfassung der Tagesganglinien des Kraftfahrzeugverkehrs sowie dessen Zusammensetzung wurden auf Basis videotechnischer Beobachtungen Querschnitts- sowie Knotenstromzählungen (an Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen) in 5-Minuten-Intervallen durchgeführt. Dabei erfolgte eine Differenzierung von Pkw und Schwerverkehrsfahrzeugen (Lkw > 3,5 t).

Die Fahrtzeiten/-geschwindigkeiten im Kraftfahrzeugverkehr wurden durch Messfahrten ermittelt. Diese Messmethode wurde bereits in einer Vielzahl von Untersuchungen zum Verkehrsablauf auf Hauptverkehrsstraßen angewendet (vgl. beispielsweise HOTOP/LENZ, 1975, ZEITVOGEL, 1980, SCHNABEL et al., 1998, SCHUCKLIEß, 2003) und ist laut ANGENENDT et al. (1983) am besten geeignet, den Fahrtablauf auf Stadtstraßen wirklichkeitsnah abzubilden. Bei dieser Messmethode sind folgende drei Varianten zu unterscheiden:

- Bei der Floating-Car-Methode erfolgt ein Mitschwimmen im Verkehrsstrom in der Form, dass die Anzahl der aktiven und passiven Überholvorgänge ungefähr gleich ist und die Fahrgeschwindigkeit gleich der mittleren (momentanen) Geschwindigkeit des Verkehrsstroms ist (siehe auch LEUTZBACH/EGERT, 1959, und LEUTZBACH, 1981),
- bei der Car-Following-Methode wird ein Fahrzeug im Verkehrsstrom ausgewählt und über die gesamte Länge des untersuchten Straßenzugs verfolgt,
- bei der Average-Car-Methode wird die Geschwindigkeit so angepasst, wie sie für die jeweilige Verkehrssituation angemessen und repräsentativ erscheint (vgl. ANGENENDT et al., 1983).

Die Floating-Car-Methode ist nach ANGENENDT et al. (1983) auf innerörtlichen Straßen u. a. auf Grund der hohen Verkehrsstärken und des „meist spurgenauen Fahrens“ im Bereich der Knotenpunkte kaum zu verwirklichen und entspricht auch nicht dem durchschnittlichen Verhalten des Fahrzeugkollektivs. Aus ihrer Sicht ist die Fahrtzeit-/Fahrgeschwindigkeitsermittlung mit 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 Fahrtrichtungen getrennt) hinsichtlich des Geschwindigkeitsverlaufs. Anhand dieser Geschwindigkeitsprofile wurden die Längen der von den Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen unbeeinflussten Streckenabschnitte ermittelt (siehe hierzu Kapitel 6.2.1).

Die Fahrplantakte und -halte des ÖPNV wurden den jeweiligen Fahrplänen entnommen. Durch die Auswertung von RBL-Daten (soweit verfügbar) wurden, 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 mittels Video aufgezeichnet. Dies ermöglicht zusätzliche Plausibilitätsüberprüfungen der vorliegenden Fahrtverläufe des ÖPNV aus den RBL-Daten sowie der erfassten Geschwindigkeitsprofile des Kraftfahrzeugverkehrs. Ergänzend erfolgten gesonderte videotechnische Beobachtungen der Verkehrsabläufe an relevanten Knotenpunkten und Haltestellen.

Die räumliche und zeitliche Erfassung von Erschließungsvorgängen in den zwischen Knoten-

punkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen gelegenen Streckenabschnitten erfolgte mit Hilfe videotechnischer Beobachtungen. Hierbei wurde nach Möglichkeit der gesamte Abschnitt einbezogen. Neben dem jeweiligen Ort und Zeitpunkt (Uhrzeit) der Erschließungsvorgänge wurde auch deren jeweilige Dauer im Hinblick auf ihr Störungspotenzial für den fließenden Verkehr erfasst.[37]

Auf Grund 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.

5.3 Erkenntnisse zum Verkehrsablauf aus den empirischen Untersuchungen

Die untersuchten Straßenzüge 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 allen Straßenzügen zeigt sich deutlich der Einfluss der (in den meisten Fällen lichtsignalgesteuerten) Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf in den Geschwindigkeitsprofilen (siehe Beispiele in Bild 30 und Bild 31; weitere Geschwindigkeitsprofile enthält Anhang 2).

Ebenfalls erkennbar ist der Einfluss lichtsignalgesteuerter Anschlussknotenpunkte sowie bedarfsgesteuerter Fußgängerlichtsignalanlagen. Auch die Güte der jeweiligen Lichtsignalkoordinierung sowie Beeinflussungen durch Priorisierungsmaßnahmen für den ÖPNV (bei den vierstreifigen Straßen mit Stadt-/Straßenbahn in Knotenpunktzufahrten angelegte Haltestellen bzw. Haltestellen mit Zeitinsel) auf den Kraftfahrzeugverkehrsablauf spiegeln sich in den Geschwindigkeitsprofilen wider.

Die Führung im Mischverkehr mit gemeinsamer Nutzung eines Fahrstreifens 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 zweistreifige Straßenzüge, in denen auf der Strecke keine und an den Knotenpunkten nur eingeschränkte Überholmöglichkeiten für den Kraftfahrzeugverkehr (zum Überholen der Bahnen) bestehen. Infolgedessen liegen die gefahrenen Geschwindigkeiten z. T. deutlich unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul} von 50 km/h, wie das Beispiel der Zülpicher Straße in Köln zeigt (vgl. Bild 30). Aber auch bei den vierstreifigen Straßen wirkt sich die Mischnutzung teilweise deutlich auf das Geschwindigkeitsniveau aus, wie auch das Beispiel der Detmolder Straße in Bielefeld zeigt: Auf den Teilabschnitten ohne Stadt-/Straßenbahn liegt die mittlere Geschwindigkeit V_M teilweise deutlich über der V_{zul} von 50 km/h (was sich wohl u. a. auch in dem dazwischenliegenden Teilabschnitt mit einer höheren V_{zul} von 60 km/h begründet), in den Abschnitten mit Mischverkehr durchweg unter der V_{zul} von 50 km/h (siehe Bild 31).

Erschließungsvorgänge auf der Strecke führen in der Regel zu punktuellen Störungen. Diese sind ebenfalls in den Geschwindigkeitsprofilen des Kraftfahrzeugverkehrs deutlich zu erkennen (vgl. Bild 30 und Bild 31). 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.

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

---

[37] 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 (vgl. auch BAIER, 2006).

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

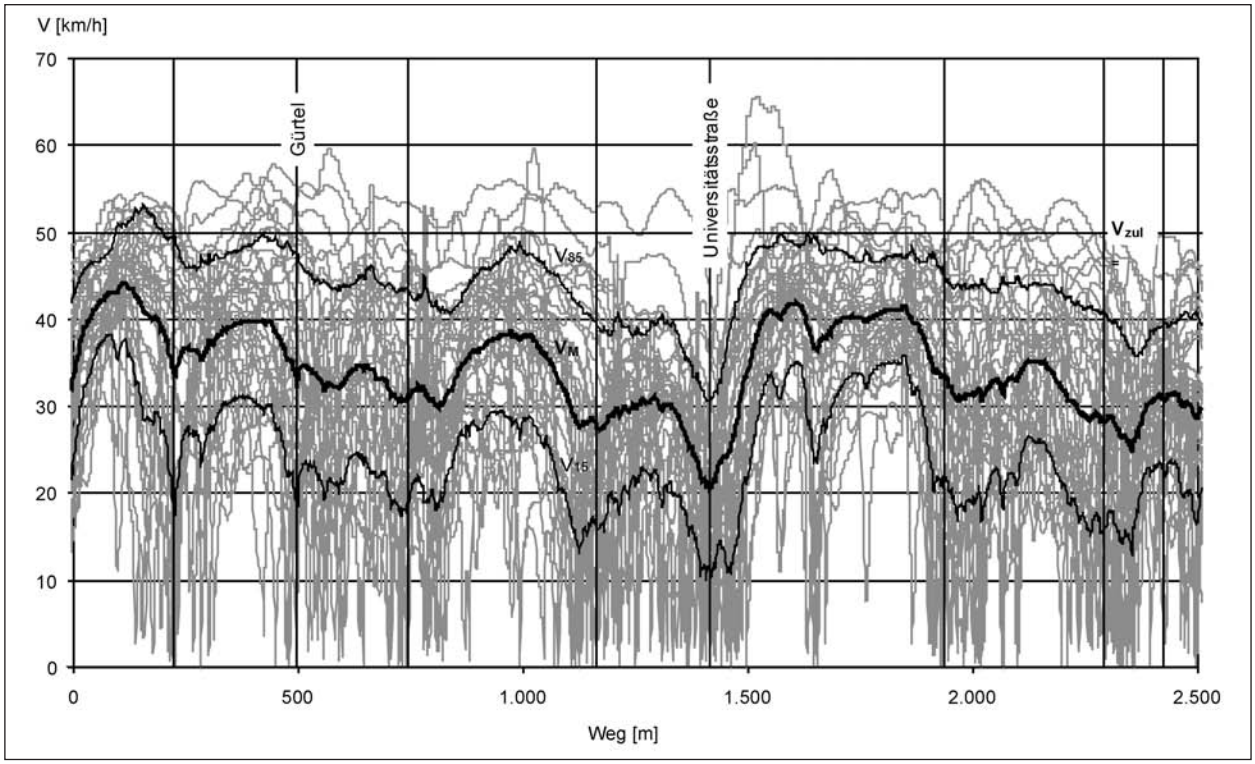


Bild 30: Kfz-Geschwindigkeitsprofil für die Zülpicher Straße (Köln) in Fahrtrichtung stadteinwärts (37 Messfahrten von 7-19 Uhr)

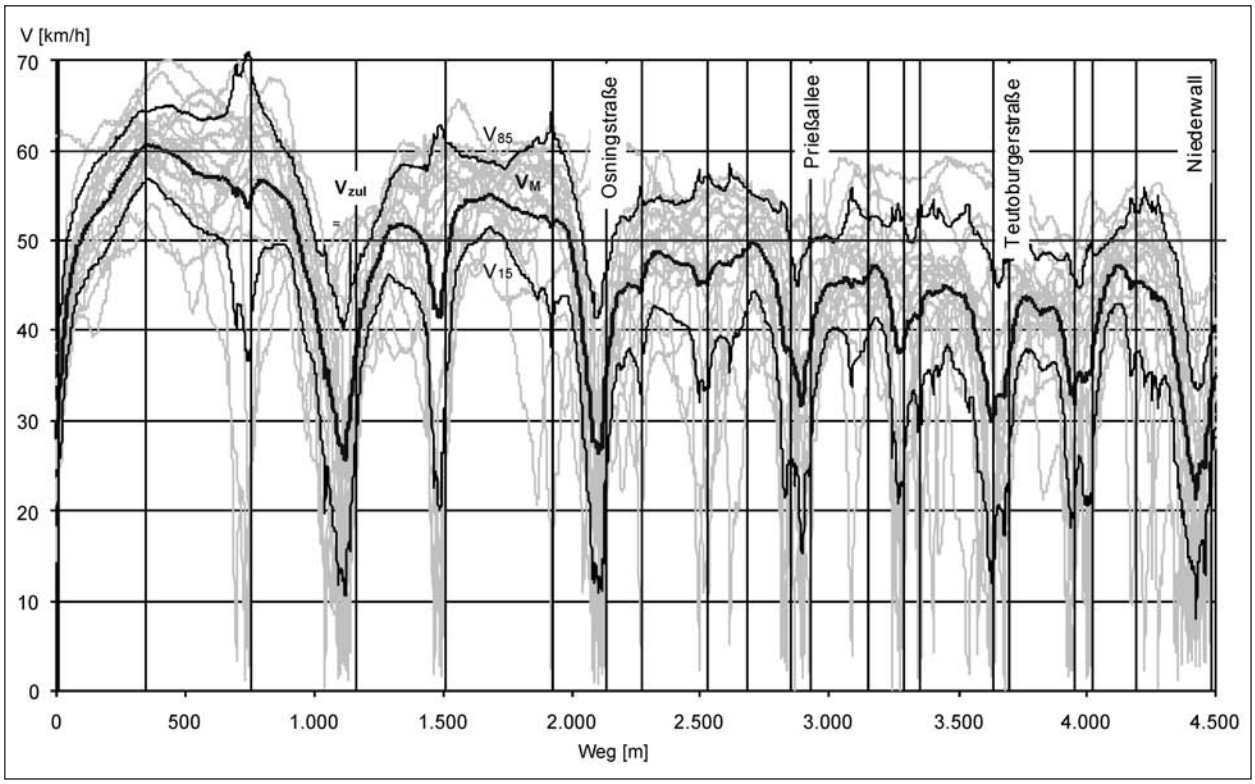


Bild 31: Kfz-Geschwindigkeitsprofil für die Detmolder Straße (Bielefeld) in Fahrtrichtung stadteinwärts (20 Messfahrten von 7-19 Uhr)

Fahrzeuge, scheint zwar zu bestehen, ist aber kaum quantifizierbar. Maßgebend sind die eigentlichen Einparkvorgänge selbst (siehe Kapitel 7.4.2).

Teilweise kommt es auch zu Wirkungsüberlagerungen von Störeinflüssen, z. B. wenn Kraftfahrzeuge im Bereich von Knotenpunkten auf der Fahrbahn halten. Insofern können die diesbezüglichen Aussagen von u. a. HAUGER (1997) bestätigt werden.

6 Zerlegung von Straßenzügen in Einzelanlagen

Die Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualität eines Hauptverkehrsstraßenzugs basieren auf einer elementübergreifenden Betrachtung der Einzelanlagen (vgl. Kapitel 2.4). Hierzu ist die Zerlegung des jeweiligen Straßenzugs in „freie“ Strecken, also die Streckenabschnitte außerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen, und eben diese Knotenpunkte erforderlich.

6.1 Bestimmung der Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen

An den Knotenpunkten zwischen Hauptverkehrsstraßen treffen Straßen mit gleicher Netzfunktion respektive Verbindungsbedeutung und oft entsprechend hohen Verkehrsstärken zusammen. Diese Knotenpunkte sind im Allgemeinen maßgebend für die Netzkapazität. Zur Bestimmung der Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen ist eine funktionale Gliederung des gesamten innerörtlichen Straßennetzes erforderlich (vgl. Beispiel in Bild 20 in Kapitel 4.2).

Die ermittelte Qualität des Verkehrsablaufs an einem Knotenpunkt ist, wie die Fahrgeschwindigkeit $V_{F,KE}$, die sich aus der nach dem HBS (2001/2005) berechneten Wartezeit t_W ergibt, auf den gesamten Einflussbereich des Knotenpunkts zu beziehen (vgl. Kapitel 2.4 sowie Kapitel 3.1.2 und 3.2.2). Dazu ist dessen Länge L_{KE} mit dem in Kapitel 6.2.2 abgeleiteten Verfahren zu bestimmen.

6.2 Bestimmung der Streckenabschnitte

Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen sind gemäß Kapitel 2.2 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 sich 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 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.[38] 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 und
- den verkehrsrechtlichen Regelungen, insbesondere im Zulauf zum Knotenpunkt (und hier vor allem die zulässige Höchstgeschwindigkeit).

Bei Hauptverkehrsstraßen sind besonders der Einfluss der Knotenpunktgestaltung und -steuerung (Anzahl der Fahrstreifen für die einzelnen Ver-

[38] 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.

kehrsströme, Phasenanzahl, Umlauf-, Freigabe- und Sperrzeiten) und die sich hieraus ergebende Kapazität, bzw. die in Abhängigkeit der Verkehrsstärken resultierende Reservekapazität, maßgebend (vgl. BAIER, 2006). Die Linienführung des Streckenabschnitts ist im innerstädtischen Bereich dagegen weniger relevant. Auch bestehen im Knotenpunktbereich, anders als auf Landstraßen, in der Regel keine niedrigeren zulässigen Höchstgeschwindigkeiten V_{zul} 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, in Abhängigkeit der 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.

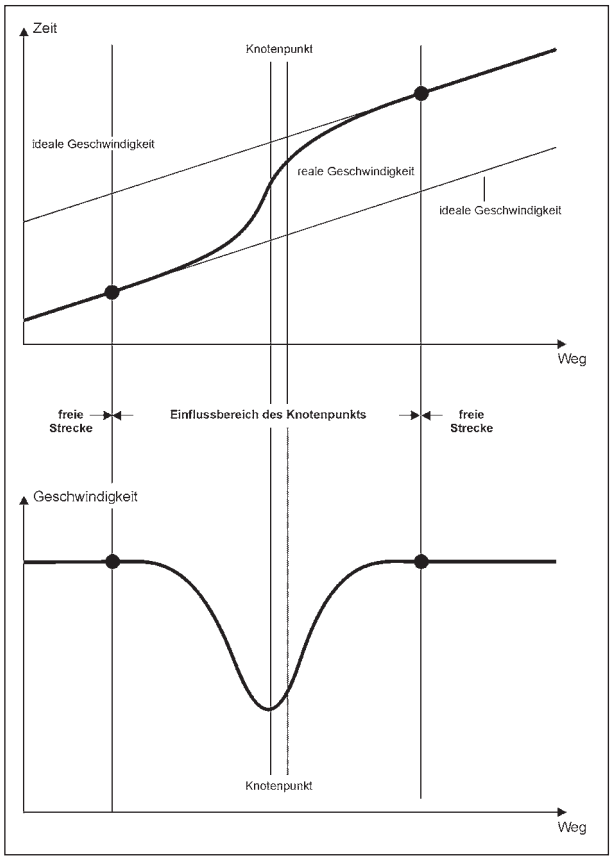


Bild 32: Abgrenzung der freien Strecke vom Einflussbereich des Knotenpunkts nach BAIER (2006) in Anlehnung an SCHUCKLIEß/BAIER/BAUR (2003)

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 32): Bei stetiger 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.[39]

Der 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 32 zeigt,

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

ist der Einflussbereich auch deutlich im Geschwindigkeitsprofil (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, wurden hier die Fahrtverläufe aus den durchgeführten Messfahrten (vgl. Kapitel 5.2) herangezogen.

6.2.1 Analyse von Geschwindigkeitsprofilen zur Ermittlung der Streckenabschnittslängen

Zur Bestimmung der Knotenpunkteinflüsse – und hieraus der Streckenabschnitte außerhalb dieser räumlichen Einflussbereiche – wurden die empirisch erfassten Geschwindigkeitsprofile analysiert.[40] In Bild 33 ist diese Vorgehensweise exemplarisch verdeutlicht: Anhand des Profils der mittleren Geschwindigkeit V_M wurden 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.[41]

Die in Bild 33 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, Bushaltestellen oder bedarfsgesteuerten Fußgängerlichtsignalanlagen.

Die anhand der Geschwindigkeitsprofile des Kraftfahrzeugverkehrs ermittelten, fahrtrichtungsbezogenen Streckenabschnittslängen L_S sind in den Bildern 34 bis 36 dargestellt. Hierin sind auch die Län-

---

40 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).

41 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).

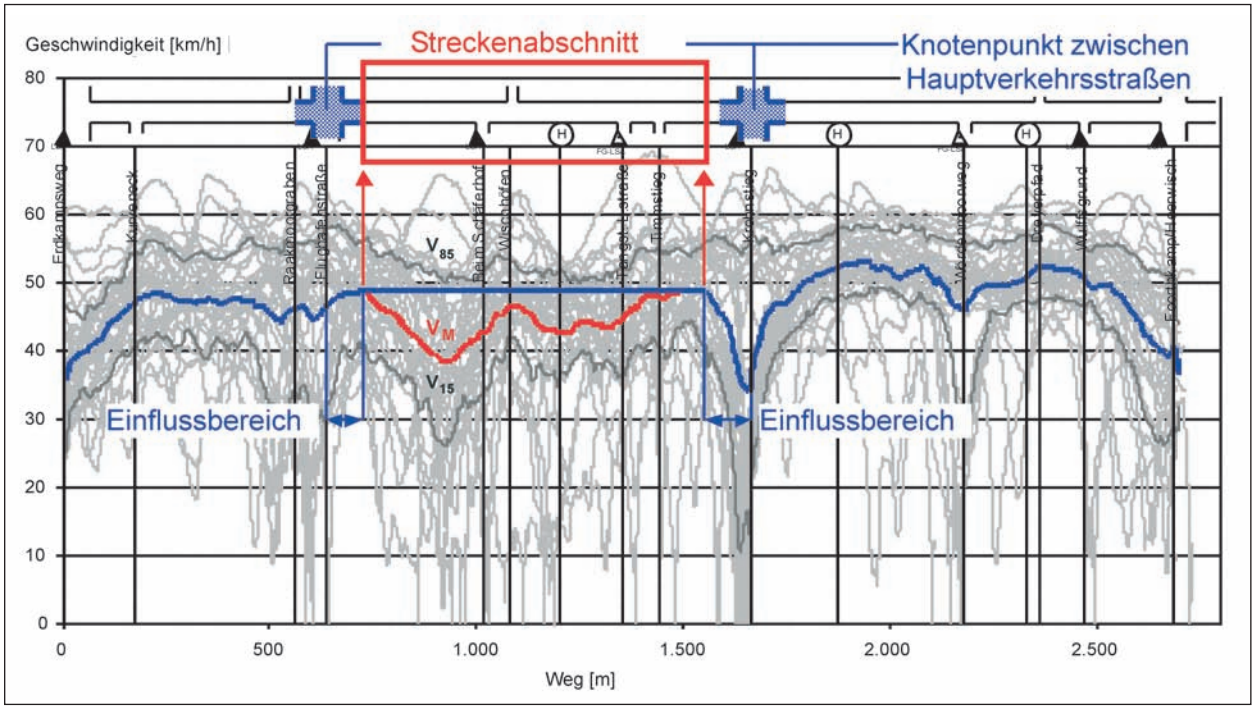
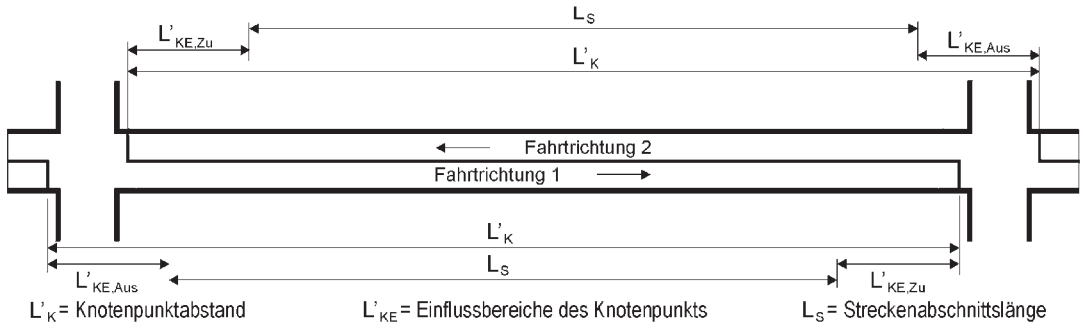


Bild 33: Ermittlung von Streckenabschnitten aus Kfz-Geschwindigkeitsprofilen (BAIER, 2006)

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

Die durch Elimination der relevanten Knotenpunkteinflüsse abgeleiteten Streckenabschnitte im Zuge der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach haben Längen L_S zwischen 130 m und knapp 620 m. Die mittlere Streckenabschnittslänge L_S beträgt 300 m (vgl. Bild 34).

Bei den betrachteten zweistreifigen Straßenzügen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern sind die Streckenabschnitte zwischen etwa 320 m und 900 m lang; die mittlere Abschnittslänge L_S liegt hier bei fast 520 m (vgl. Bild 35). 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 auf Grund des engmaschigen Netzes



Fallbeispiel	Fahrtrichtung	S-Nr.	L' K [m]	L' KE,Aus [m]	L S [m]	L' KE,Zu [m]	L S/L' K [-]
Grevenbroicher Straße (Mönchengladbach)	stadteinwärts	1	671	250	143	278	21,3
		2	614	107	371	136	60,4
		3	829	128	564	137	68,0
		4	829	96	-	-	-
		5	414	-	-	93	-
		6	379	71	214	94	56,5
	stadtauswärts	7	370	73	167	130	45,1
		8	406	87	145	174	35,7
		9	819	80	616	123	75,2
		10	834	370	319	145	38,2
		11	673	181	333	159	49,5
		12	693	231	130	332	18,8
		Minimum	370	71	130	93	18,8
		Mittelwert	628	152	300	164	46,9
		Maximum	834	370	616	332	75,2
		Stabw	189	96	176	75	18,8

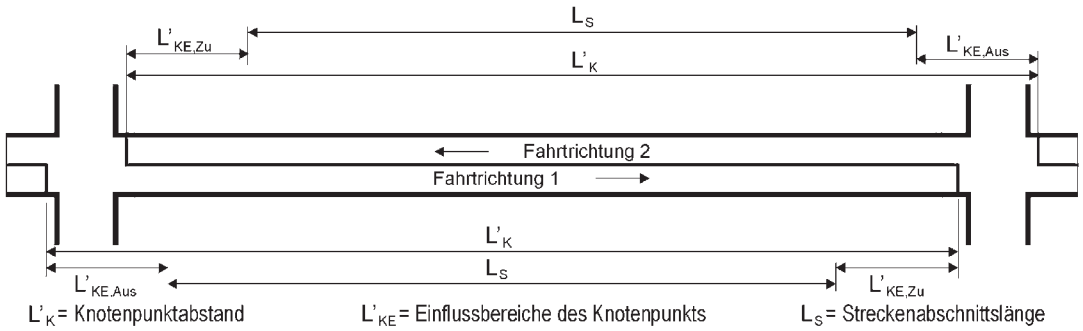
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)
S-Nr. 1: Zoppenbroicher Straße - Friedensstraße
S-Nr. 2: Düsseldorfer Straße - Schlossstraße
S-Nr. 3: Schlossstraße - Breite Straße/Ritterstraße
S-Nr. 4: Breite Straße/Ritterstraße - Hofstraße/Hardterbroicherstraße
S-Nr. 5: Hofstraße/Hardterbroicherstraße - Volksgartenstraße
S-Nr. 6: Volksgartenstraße - Korschenbroicher Straße
S-Nr. 7: Korschenbroicher Straße - Volksgartenstraße
S-Nr. 8: Volksgartenstraße - Hofstraße/Hardterbroicherstraße
S-Nr. 9: Hofstraße/Hardterbroicherstraße - Breite Straße/Ritterstraße
S-Nr. 10: Breite Straße/Ritterstraße - Schlossstraße
S-Nr. 11: Schlossstraße - Düsseldorfer Straße
S-Nr. 12: Friedensstraße - Zoppenbroicher Straße

Bild 34: Streckenabschnittslängen und räumliche Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen im Zuge der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach (zweistreifige Straße)

in dem betrachteten Bereich deutlich kürzer als die Abschnitte 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 36). 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 auf Grund 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 50 % (Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach; vgl. Bild 34), bei den zweistreifigen Straßenzügen mit straßenbündigen Bahnkörpern beträgt die Streckenabschnittslänge im Mittel rund 66 % (vgl. Bild 34) und bei den vierstreifigen Straßenzügen mit straßenbündigen Bahnkörpern etwa 60 % der Knotenpunktabstände (vgl. Bild 36).

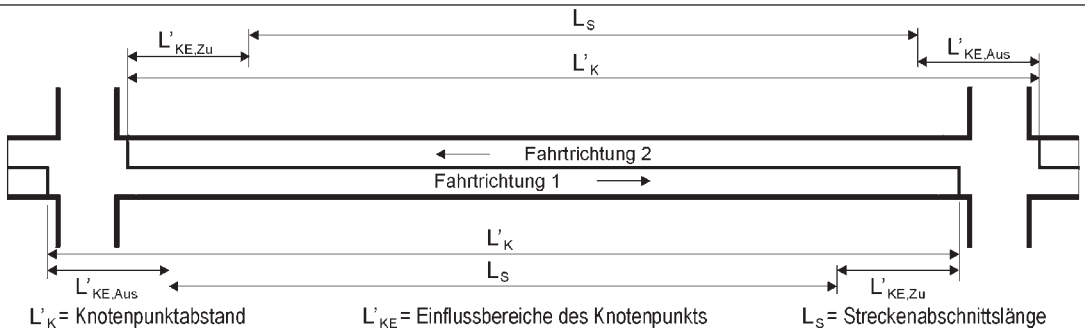


Fallbeispiel	Fahrtrichtung	S-Nr.	L' K [m]	L' KE,Aus [m]	L S [m]	L' KE,Zu [m]	L S/L' K [-]
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	1	554	72	360	122	65,0
		2	505	54	316	135	62,6
	stadtauswärts	3	482	36	374	72	77,6
		4	585	72	405	108	69,2
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	1	1.200	155	636	409	53,0
		2	886	136	614	136	69,3
	stadtauswärts	3	832	140	515	177	61,9
		4	1.237	153	898	186	72,6
		Minimum	482	36	316	72	53,0
		Mittelwert	785	102	515	168	66,4
		Maximum	1.237	155	898	409	77,6
		Stabw	305	49	195	104	7,5

Derendorfer Straße (Düsseldorf)
S-Nr. 1: Jülicher Straße - Carl-Mosters-Platz (Schloßstraße)
S-Nr. 2: Carl-Mosters-Platz - Bagelstraße/Camphausenstraße/Schirmerstraße
S-Nr. 3: Bagelstraße/Camphausenstraße/Schirmerstraße - Carl-Mosters-Platz
S-Nr. 4: Carl-Mosters-Platz - Jülicher Straße (Schloßstraße)

Zülpicher Straße (Köln)
S-Nr. 1: Lindenthalgürtel/Sülzgürtel - Universitätsstraße
S-Nr. 2: Universitätsstraße - Roonstraße
S-Nr. 3: Roonstraße - Universitätsstraße
S-Nr. 4: Universitätsstraße - Lindenthalgürtel/Sülzgürtel

Bild 35: Streckenabschnittslängen und räumliche Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen im Zuge der Derendorfer Straße in Düsseldorf und der Zülpicher Straße in Köln (zweistreifige Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern)



Fallbeispiel	Fahrtrichtung	S-Nr.	L' K [m]	L' KE,Aus [m]	L S [m]	L' KE,Zu [m]	L S/L' K [-]
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
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
		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

Grafenberger Allee (Düsseldorf)
S-Nr. 1: Staufenplatz - 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 - Staufenplatz

Demolder Straße (Bielefeld)
S-Nr. 1: Osningstraße/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 - Osningstraße/Otto-Brenner-Straße

Bild 36: Streckenabschnittslängen und räumliche Einflussbereiche von Knotenpunkten zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen im Zuge der Grafenberger Allee in Düsseldorf und der Detmolder Straße in Bielefeld (vierstreifige Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern)

6.2.2 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 aufwendig, zumal die Erfassung der Geschwindigkeitsprofile jeweils für die maßgebende Bemessungsstunde erfolgen müsste, um die zu dieser Zeit vorherrschenden Verkehrszustände entsprechend berücksichtigen zu können. Deshalb ist ein Verfahren erforderlich, mit

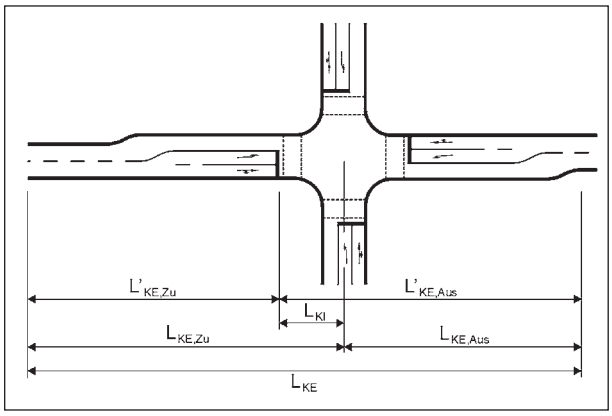


Bild 37: Definition der Einflussbereiche von Knotenpunkten

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 37).

Wie die Analyse der Geschwindigkeitsprofile (vgl. Kapitel 6.2.1) gezeigt hat, 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 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 Richtungsfahrstreifen)[42] beeinflusst werden, berücksichtigt.

Die Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt $L_{KE,Zu}$ wird in Abhängigkeit

- 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 37).[43] 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 38 größere Wert maßgebend. Befindet sich bei Strecken mit straßenbündigem Bahnkörper innerhalb des nach Bild 38 ermittelten Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt $L_{KE,Zu}$ eine Stadt-/Straßenbahnhaltestelle, ist $L_{KE,Zu}$ pauschal um 50 m zu verlängern.

Den in Bild 38 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_{Kl}) zu Grunde. Liegen genauere Angaben vor, kann die Länge des Einflussbereichs mit Gleichung 11 zu

$$L_{KE,Zu} = 6 \cdot \frac{t_F}{t_B} + L_{KE,Zu,b} + L_{Kl} \text{ [m]} \qquad \text{Gl. 11}$$

mit

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

---

42 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).

43 Die Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt $L_{KE,Zu}$ bezieht sich auf die Knotenpunktmitte.

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 s/Kfz bei t_F > 10 s

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

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

bestimmt werden.

Die mit Bild 38 bzw. Gleichung 11 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.[44] 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 angrenzenden Streckenabschnitten vorzunehmen, bleibt zu prüfen. Dies erfolgt auf Basis der Ergebnisse der mikroskopischen Simulationsuntersuchungen zur Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums (siehe Kapitel 8.1).

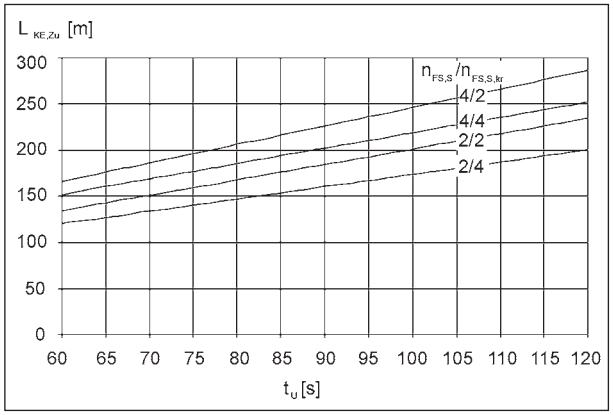


Bild 38: Länge des Einflussbereichs in der Knotenpunktzufahrt $L_{KE,Zu}$ in Abhängigkeit der Umlaufzeit t_U

6.2.3 Festlegung der Streckenabschnitte und Bildung von Teilabschnitten

Aus der Bestimmung der Einflussbereiche der Knotenpunkte gemäß Kapitel 6.2.3 ergeben sich die dazwischenliegenden „freien“ Streckenabschnitte. Diese sind jeweils als einzelne, homogene Straßenverkehrsanlage anzusehen. Voraussetzung sind in jedem Fall eine gleich bleibende Fahrbahnaufteilung und -nutzung sowie Verkehrsregelung (dies betrifft im innerörtlichen Bereich die zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul}).

Ändern sich die infrastrukturellen und/oder verkehrsregelnden Randbedingungen zwischen zwei Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen maßgeblich – hierzu gehört etwa ein Wechsel des Fahrbahnquerschnitts mit Reduzierung von zwei auf einen Richtungsfahrstreifen zugunsten eines Längsparkstreifens –, ist ein neuer Streckenabschnitt zu bilden. Bei geringfügigeren Änderungen der infrastrukturellen Randbedingungen in einem Streckenabschnitt (z. B. leichte Reduzierung der Fahrstreifenbreite), ist dieser in Teilabschnitte zu unterteilen. Treten innerhalb eines Streckenabschnitts wesentliche Änderungen des Bemessungsverkehrszustands auf, der sich aus der Überlagerung der Nutzungsansprüche aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion ergibt, ist dieser ebenfalls in Teilabschnitte einzuteilen.

Jeder Teilabschnitt sollte eine Länge L_T von wenigstens 100 m haben, bei Abschnitten mit einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle auf straßenbündigen Bahnkörpern sollte der Teilabschnitt eine Länge L_T von wenigstens 200 m haben. Hieraus ergibt sich

44 Diese Länge bezieht sich ebenfalls auf die Knotenpunktmitte.

auch die Mindestlänge eines Streckenabschnitts L_S zu 100 m bzw. 200 m.

7 Erweiterung des Daten- und Aussagenspektrums durch mikroskopische Verkehrsflusssimulationen

Durch die mikroskopische Verkehrsflusssimulation können Erkenntnisse über empirisch nicht beobachtete bzw. nicht beobachtbare Verkehrszustände gewonnen werden. Die Simulation ermöglicht, infrastrukturelle Randbedingungen, z. B. die Ausbildung des Fahrbahnquerschnitts oder die Lichtsignalsteuerung, und die Verkehrsnachfrage – neben der Variation der Kraftfahrzeugverkehrsstärke und der Frequenz des ÖPNV (hier insbesondere der Stadt-/Straßenbahn) betrifft dies auch die 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). Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurde das kommerzielle Simulationsprogramm PARAMICS eingesetzt.

7.1 Grundlagen des eingesetzten Simulationsmodells

Das Simulationsprogramm PARAMICS ist durch die zeitdiskrete, raumkontinuierliche Abbildung einzelner Fahrzeuge und die Berücksichtigung stochastischer, 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 zu Grunde 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.[45]

Eingangsgröße der Kraftfahrzeugverkehrsbelastungen sind F_{ij}-Matrizen mit allen Fahrbeziehungen 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. Prinzipiell sind bei Simulationsuntersuchungen mit PARAMICS auch eine Routensuche und Umlegung von Verkehrsströmen in Netzen möglich, bei der auf verschiedene Verfahren zurückgegriffen werden kann. U. a. kann hierbei die stochastische Widerstandsvariation nach der Monte-Carlo-Methode mit einem dynami-

[45] 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 zu Grunde. 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 7.2).

schen Umlegungsverfahren zu einem dynamisch stochastischen Verfahren kombiniert werden.[46]

Der ÖPNV verkehrt in der Simulation auf vorgegebenen Linienwegen mit Berücksichtigung aller fahrplanmäßigen Aufenthalte an Haltestellen. Dabei können linienspezifisch 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 erfolgen anschließend mit spezifischen, an die jeweilige Aufgabenstellung angepassten Softwaretools (siehe auch Kapitel 7.5).

7.2 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.[47] 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, wie hier die richtungsbezogene Verkehrsdichte k_S im Streckenabschnitt in Pkw-E/(km x Ri) und die Wartezeit t_W an Knotenpunkten bzw. die Verlustzeit t_V im Einflussbereich eines Knotenpunkts (beide in s), jeweils in Abhängigkeit eines auf eine Stunde bezogenen Belastungszustands, sowie die mittlere Fahrgeschwindigkeit V_F über den Straßenzug (in km/h).

Zunächst ist die Kalibrierung des Modells erforderlich. Diese beinhaltet die Überprüfung und gegebenenfalls 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.[48] 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).[49]

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

Auch sollten nach BAIER/SCHUCKLIEß (2004) bereits im Rahmen der Validierung die Visualisie-

---

46 Im Rahmen der hier durchgeführten Simulationsuntersuchungen wurden ausschließlich einzelne Straßenzüge betrachtet, sodass keine Routensuche und Umlegung erforderlich waren.

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

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

49 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.

rungsmöglichkeiten 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 Straßen ist auf Grund 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 (siehe auch Kapitel 7.3).

Die Validierung muss sich an der Aufgabenstellung orientieren, d. h., es müssen grundsätzlich die Teile des Modells valide sein, die einen Einfluss auf die betrachteten Merkmale haben. Sollen makroskopische Kenngrößen – wie hier die mittlere Dichte k_S, die mittlere Wartezeit t_W bzw. Verlustzeit t_V und die mittlere Fahrgeschwindigkeit V_F – 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.

7.3 Aufbau der Netzgeometrien und Validierung

Die betrachteten Straßenzüge bzw. deren bewertungsrelevante Bereiche wurden mit allen erforderlichen infrastrukturellen, verkehrsregelnden und -steuernden Randbedingungen im Simulationsprogramm PARAMICS nachgebildet.[50] Grundlagen waren zur Verfügung stehende Planunterlagen, Luftbilder, Unterlagen der Lichtsignalsteuerungen sowie ergänzende Bestandsaufnahmen vor Ort.

Die Zerlegung der Straßenzüge in Streckenabschnitte und Knotenpunkte erfolgte mit dem in Kapitel 6.2.2 dargestellten Verfahren, und zwar fahrtrichtungsgetrennt (siehe Beispiel in Bild 39; die übrigen Straßenzüge sind in Anhang 4 dargestellt). In Tabelle 11 ist neben der jeweiligen Gesamtlänge des Straßenzugs L_{HS} (einschließlich der Einflussbereiche des ersten und letzten Knotenpunkts) die Anzahl der sich aus der Zerlegung ergebenden Einzelanlagen n_S und n_K angegeben.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf der Derendorfer Straße (Düsseldorf) in einem Fall die verbleibende „Restlänge“ zwischen den Einflussbereichen zweier benachbarter Knotenpunkte kleiner als 100 m ist und damit unterhalb der festgelegten Mindestlänge L_S eines Streckenabschnitts (vgl. Kapitel 6.2.3) liegt. Die verbleibende Länge wird deshalb bei den weiteren Betrachtungen dem nachfolgenden Knotenpunkt zugeschlagen (siehe Kapitel 8.2). Des Weiteren überschneiden sich auf der Grevenbroicher Straße (Mönchengladbach) und der Grafenberger Allee (Düsseldorf) jeweils die Einflussbereiche zweier benachbarter Knotenpunkte. Hier ist gegebenenfalls die Einflusslänge L_{KE} jeweils gesondert anzusetzen. In diesem Fall wäre die „Bewertungslänge“ als Summe der Längen aller Ein-

[50] Ausgenommen hiervon ist die Zülpicher Straße in Köln, die ausschließlich empirisch untersucht wurde.

Fallbeispiel	Fahrtrichtung	Straßenzug (von – bis)	L_{HS} [m]	n_S [-]	n_K [-]
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadteinwärts	Zoppenbroicher Straße – Volksgartenstraße	3.827	5	7 *
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadtauswärts	Volksgartenstraße – Zoppenbroicher Straße	3.836	5	7 *
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	Münsterstraße – Bagelstraße	1.633	2	4
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	Bagelstraße – Münsterstraße	1.633	2	4
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	Staufenplatz – Uhlandstraße/Beethovenstraße	2.690	4	6
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	Uhlandstraße/Beethovenstraße – Staufenplatz	2.636	4	6
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	Osningstraße/Otto-Brenner-Straße – Niederwall	2.670	3	4
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	Niederwall – Osningstraße/Otto-Brenner-Straße	2.670	3	4

* 1 Knotenpunkt besteht aus einem System von 2 nebeneinanderliegenden Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen

Tab. 11: Längen L_{HS} und Anzahl der Einzelanlagen n_S und n_K der bewertungsrelevanten Bereiche der Straßenzüge

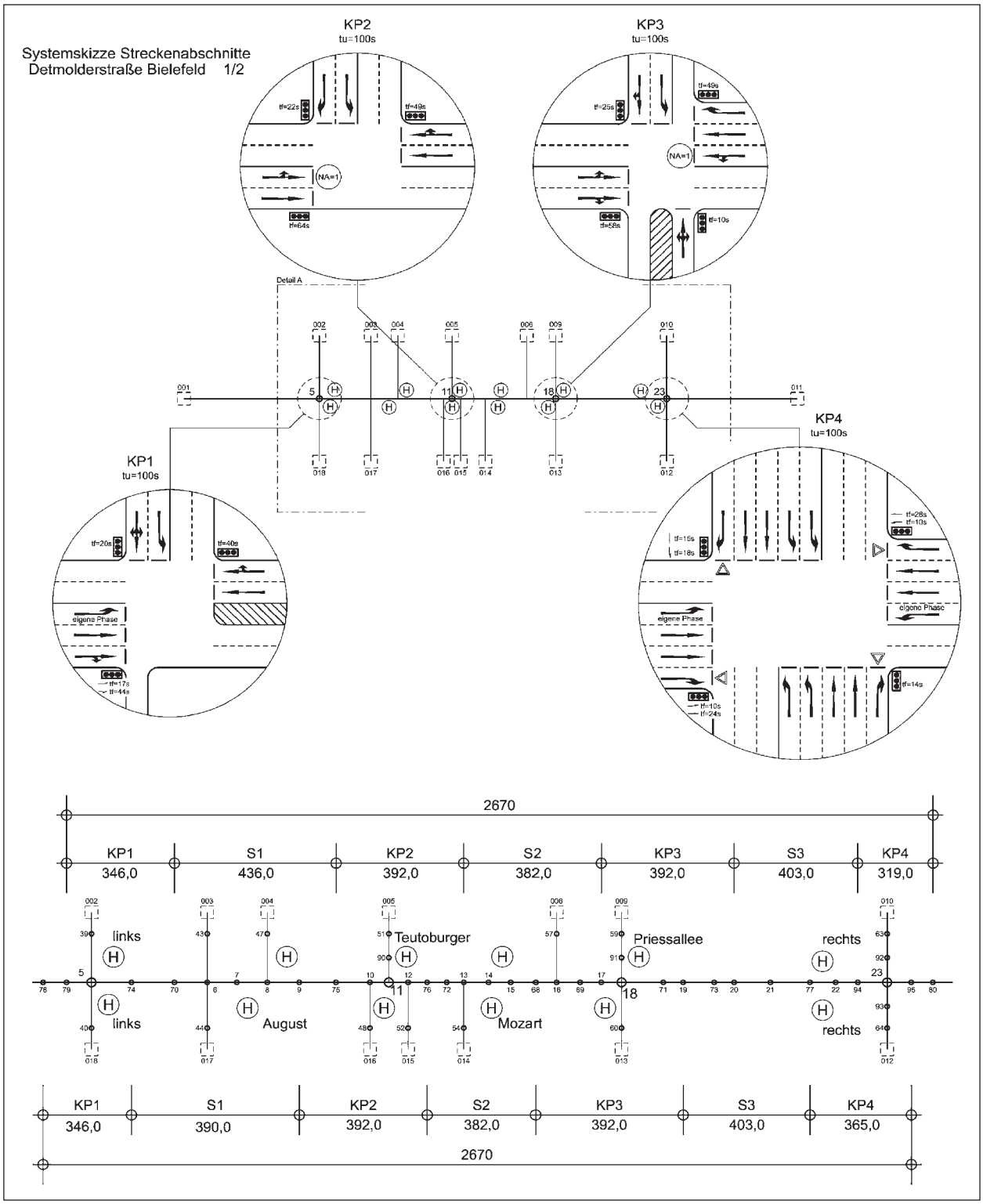


Bild 39: Netzgeometrie der Detmolder Straße in Bielefeld für die mikroskopischen Verkehrsflusssimulationsuntersuchungen (Systemskizze)

zelanlagen $L_{S,i}$ und $L_{KE,i}$ größer als die eigentliche Länge des Straßenzugs L_{HS} (vgl. auch Gleichung 7 in Kapitel 3.1.2 und Gleichung 10 in Kapitel 3.2.2). Inwieweit sich dies auf die Gesamtbewertung sowohl der Verkehrs- als auch Verbindungsqualität auswirkt, wird in Kapitel 7.5 eruiert.

Die bewertungsrelevanten Bereiche der Straßenzüge beginnen und enden jeweils mit einem Knotenpunkt gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen. Den festgelegten Streckenabschnitten und Knotenpunkten wurden entsprechende infrastrukturelle sowie verkehrsregelnde/-steuernde Attribute (Fahrstrei-

fenanzahl, Haltestellen, zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul}, Lichtsignalsteuerung usw.) zugewiesen. An den Lichtsignalanlagen aller Knotenpunkte wurden die (festzeitgesteuerten) Grundprogramme implementiert, die im empirisch betrachteten Zeitraum von 7 Uhr bis 19 Uhr überwiegend geschaltet werden (vgl. Kapitel 5.1.1 und Kapitel 5.1.3 bis 5.1.5). An Haltestellen vorhandene Priorisierungen, im Fall vierstreifiger Fahrbahnquerschnitte als Zeitinseln mit Bedarfsanforderungen durch die Bahn, wurden mit ihren Steuerungslogiken übernommen und ebenfalls implementiert.

Als Grundlage für die Validierung wurden die empirischen Messfahrten im Kraftfahrzeugverkehr (vgl. Kapitel 5.2) herangezogen. Da die Anzahl der Messfahrten in einer ausgewählten Stunde, z. B. während der Morgen- oder Nachmittagsspitze der Verkehrsnachfrage, nicht ausreichend erschien, erfolgte zur Validierung eine Betrachtung des Verkehrsablaufs über den gesamten empirisch betrachteten Zeitraum von 12 Stunden (7-19 Uhr). Für diesen Zeitraum wurden zunächst anhand der durchgeführten Knotenstromzählungen (vgl. ebenfalls Kapitel 5.2) differenzierte F_{ij}-Matrizen für den Pkw-Verkehr und den Schwerverkehr (Lkw > 3,5 t) erzeugt, denen empirisch ermittelte Ganglinien hinterlegt wurden. Hierzu erfolgte eine Umlegung nach dem modifizierten Detroit-Verfahren.

Die Frequenz im ÖPNV wurde den jeweiligen Fahrplänen entnommen. An den Haltestellen wurden die empirisch erfassten Aufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$ berücksichtigt (siehe auch Kapitel 7.4.2). Zusätzlich wurden Störungen auf der Strecke durch einparkende oder auf der Fahrbahn haltende Kraftfahrzeuge berücksichtigt. Die Anzahl, zeitliche Verteilung und Dauer dieser Störeinflüsse wurden empirisch ermittelt (siehe ebenfalls Kapitel 7.4.2).

Auf dieser Basis erfolgte die Simulation des Verkehrsablaufs über insgesamt 12 Stunden.[51] Innerhalb dieses Zeitraums wurden für einzelne Kraftfahrzeuge die Geschwindigkeit V_F und die Fahrtzeit t_F über den Weg erfasst. Die Auswahl der einzelnen „Messfahrzeuge“ erfolgte zufällig, wobei sowohl die Anzahl als auch die zeitliche Verteilung den jeweiligen empirischen Messfahrten entsprechen.

Zur Validierung selbst erfolgte dann in einem ersten Schritt ein quantitativer Vergleich der simulativ

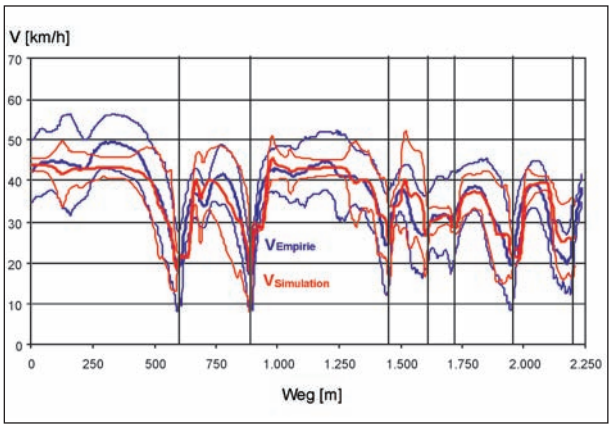


Bild 40: Vergleich simulativ und empirisch ermittelter Geschwindigkeitsprofile für die Derendorfer Straße in Düsseldorf (Fahrtrichtung stadteinwärts)

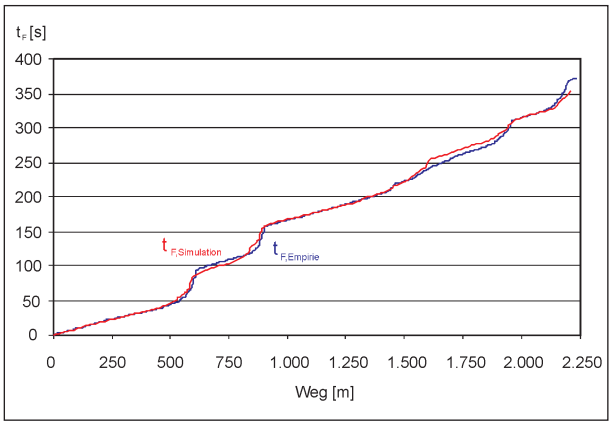


Bild 41: Vergleich simulativ und empirisch ermittelter Weg-Zeit-Linien für die Derendorfer Straße in Düsseldorf (Fahrtrichtung stadteinwärts)

ermittelten mit den empirisch erfassten Geschwindigkeitsprofilen (siehe Beispiel in Bild 40). In einem zweiten Schritt erfolgte dann ein qualitativer Vergleich der simulativ und empirisch erfassten Weg-Zeit-Linien (siehe Beispiel in Bild 41). Die Simulation wurde als ausreichend valide angesehen, wenn die mittlere Geschwindigkeit V_M in der Simulation im Wesentlichen innerhalb der Standardabweichung des empirisch erfassten Geschwindigkeitsverlaufs liegt und die mittleren Fahrgeschwindigkeiten V_F über den betrachteten Straßenzug (nahezu) identisch sind. Insgesamt kann die simulative Abbildung des Verkehrsablaufs in allen untersuchten Straßenzügen als valide angesehen werden (siehe hierzu Anhang 5).

---

[51] Der Kraftfahrzeugverkehrszufluss wird dabei in den zu Grunde liegenden 5-Minuten-Intervallen über die Erzeugung einer poissonverteilten Einspeisung in das Netz variiert.

7.4 Belastungsfälle

Die Belastungsfälle ergeben sich aus den Überlagerungen von variierenden Kraftfahrzeugverkehrsstärken in den betrachteten Straßenzügen und unterschiedlichen, ebenfalls variierenden Erschließungsvorgängen in einzelnen Abschnitten. Die aus der jeweiligen Erschließungsfunktion der Streckenabschnitte resultierenden Störeinflüsse durch z. B. einparkende oder auf der Fahrbahn haltende Kraftfahrzeuge wurden in verschiedenen Ausprägungen hinsichtlich ihrer Häufigkeit (Anzahl), unter Berücksichtigung ihrer Dauern, betrachtet.

7.4.1 Variation der Kraftfahrzeugverkehrsstärke

Grundlage für die Variation der Kraftfahrzeugverkehrsstärke in den Straßenzügen sind F_{ij}-Matrizen für die jeweilige Spitzenstunde mit Maximalbelastung im betrachteten Netzabschnitt (Bemessungsverkehrsstärke q_B), die aus den Matrizen des gesamten 12-Stunden-Betrachtungszeitraums (vgl. Kapitel 7.2) abgeleitet wurden. Die für den Pkw- und den Schwerverkehr (Lkw > 3,5 t) differenzierten F_{ij}-Matrizen enthält Anhang 6.

Im Rahmen der Simulationsuntersuchungen wurden die Verkehrsstärken dieser F_{ij}-Matrizen von 50 % bis hin zu 300 % der „Ausgangsbelastung“ variiert, und zwar in 25%-Schritten, sodass insgesamt bis zu 11 Variationen der Bemessungsverkehrsstärken q_B im Straßenzug betrachtet wurden. Hierbei sind sowohl die Verkehrsstärkeverhältnisse der einzelnen Ströme an allen Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen als auch der Anteil des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug zur jeweiligen Gesamtverkehrsstärke auf/an allen Einzelanlagen konstant.

Simuliert wurde der Verkehrsablauf über einen Zeitraum von insgesamt drei Stunden, die Auswertungen beziehen sich entsprechend dem HBS (2001/2005) jeweils auf die maßgebende Spitzenstunde (siehe Kapitel 7.5), in diesem Fall die mittlere Stunde. In der Stunde davor („Vorlauf“) und danach („Nachlauf“) wurden 75 % bzw. 90 % der Bemessungsverkehrsstärke zu Grunde gelegt. Diese Größenordnungen wurden aus den prozentualen Stundenanteilswerten der Morgen- (7-8 Uhr) und Nachmittagsspitze (16-17 Uhr bzw. 17-18 Uhr) für typische Tagesganglinien nach SCHMIDT (1996) abgeleitet.

7.4.2 Quantifizierung und Abbildung 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 7.4.3). Basis für die Quantifizierung waren Literaturauswertungen, 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 5.3). Als relevante Erschließungsvorgänge mit potenziellem Störeinfluss auf den Kraftfahrzeugverkehr 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 von Halten des ÖPNV $n_{H,ÖV}$ und deren Dauern $t_{H,ÖV}$ und
- die Anzahl der Anforderungen an bedarfsgesteuerten Fußgängerfurten n_{FG} bzw. n'_{FG}.

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 zwischen 4 % (Detmolder Straße in Bielefeld, Fahrtrichtung stadtauswärts, August-Bebel-Straße) und 8 % (Grafenberger Allee, Fahrtrichtung stadteinwärts, Lindenstraße) der fahrtrichtungsbezogenen Verkehrsstärke q, jeweils in einer Stunde. Diese liegen somit 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 Linksabbieger 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. hierzu KRÜGER, 1986), auch auf vierstreifigen Straßen.[52]

Die Anzahl der Ein- und Ausparkvorgänge ist in starkem Maße von den Randnutzungen abhängig; insbesondere bei hohem Geschäftsbesatz sind entsprechend viele Parkvorgänge zu erwarten.[53] In Tabelle 12 sind die im Rahmen der empirischen Untersuchungen erfassten maximalen Anzahlen stündlicher Einparkvorgänge je Richtung $n_{PV,SE}$ und die hieraus abgeleiteten Kennwerte maximaler stündlicher Einparkvorgänge $n'_{PV,SE}$ je 100 m nutzbarer Länge L_{SE} angegeben.[54] 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 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 be-

[52] 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.

[53] 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 Parkraumangebot: Die Umschlaghäufigkeit ist bei Misch- bzw. Einkaufsnutzung deutlich höher als bei reiner bzw. überwiegender Wohnnutzung.

[54] 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) Haltestellenbereiche.

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

Tab. 12: Empirisch erfasste maximale Anzahl stündlicher Einparkvorgänge $n_{PV,SE}$ und Einparkvorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge $n'_{PV,SE}$

obachteten Stördauern der Einparkvorgänge t_{PV} liegen im Mittel bei etwa 11 s (ausgewertet wurden rund 300 von insgesamt 900 erfassten Einparkvorgängen). Dies entspricht in etwa der t_{PV} von 12 s, die BAIER (2006) ermittelt hat.

In der Simulation erfolgte die Abbildung von Einparkvorgängen durch Halte einzelner Fahrzeuge auf der Fahrbahn. Diese werden durch ihren Anteil an der richtungsbezogenen Verkehrsstärke bzw. ihre absolute Anzahl $n_{PV,S}$, ihre mittlere Stördauer t_{PV}, sowie durch entsprechende Zuweisungen auf einen, hier den rechten, Fahrstreifen definiert. Die Einparkvorgänge treten in den einzelnen Streckenabschnitten räumlich zufallsverteilt auf.[55]

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 42 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 43. Die durchschnittliche Haltezeit entspricht dabei den empirisch ermittelten Stördauern von Einparkvorgängen t_{PV}.

Das Aufkommen von Liefer- und Ladeverkehren ist ebenfalls in starkem Maße von den angrenzenden Nutzungen abhängig, insbesondere 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. So werden inner-

55 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).

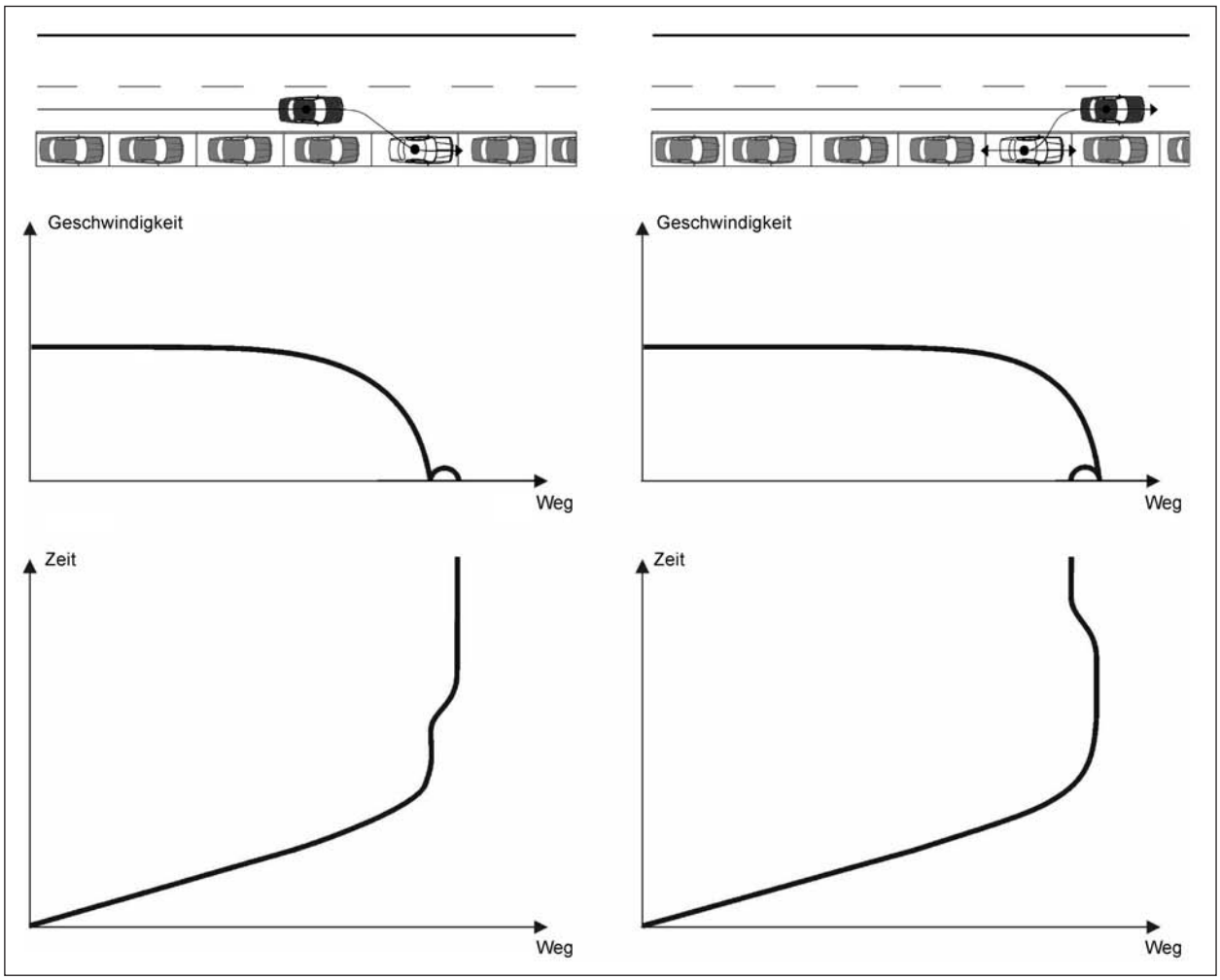


Bild 42: Ablauf von Vorwärts- und Rückwärtseinparkvorgängen (BAIER, 2006)

städtische Geschäfte häufig mehrmals täglich beliefert, und dies über den ganzen Tag verteilt. Der Liefer-/Ladeverkehr wird dabei zu einem großen Teil mit kleineren Fahrzeugen (Lkw < 3,5 t und Pkw) abgewickelt (vgl. hierzu LEUTZBACH, 1989, und BAUMGARTNER/GARBEN, 1993).

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. In vielen Fällen führt dies zu Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs (siehe ANGENENDT et al., 1983).[56] Diese Störungen sind maßgeblich vom Standort innerhalb des jeweiligen Streckenabschnitts, der Dauer und der Verkehrsbelastung abhängig (vgl. LEUTZBACH/SCHMIDT, 1987, und LEUTZBACH, 1989).

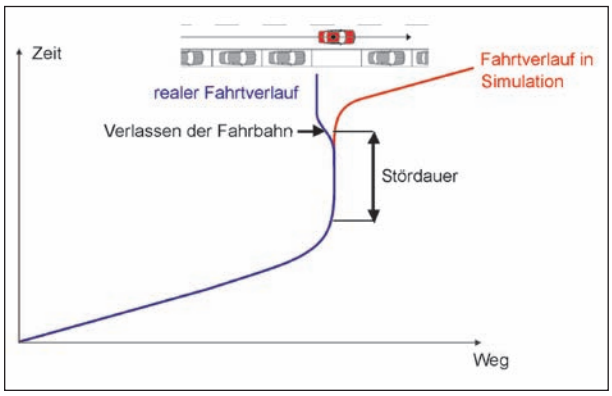


Bild 43: Abbildung des Störeinflusses von Einparkvorgängen als Haltevorgänge auf der Fahrbahn in der Simulation nach BAIER (2006)

Die aus den empirischen Untersuchungen ermittelten maximalen Anzahlen von Liefer-/Ladevorgängen auf der Fahrbahn je 100 m nutzbarer Straßenseite n'_{LV} liegen zwischen 0 und fast 6 Liefer-/Ladevorgängen in der Stunde (Tabelle 13). 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.[57] Diese können anhand empirischer Beobachtungen nur in bestimm-

[56] Liefer- und Ladetätigkeiten auf der Fahrbahn sind laut ANGENENDT et al. (1983) nach Einparkvorgängen die häufigste Ursache für Behinderungen auf der Strecke, auch wenn die hierdurch verursachten Zeitverluste (bezogen auf die Betrachtung von Straßenzügen) ihrer Meinung nach eher als gering einzuschätzen sind.

[57] 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)]
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadteinwärts	Hardterbroicher Straße – Oststraße	180	3	1,7
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadtauswärts	Oststraße – Hardterbroicher Straße	120	7	5,8
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	Robert-Koch-Straße – Weyertal	270	3	1,1
Zülpicher Straße (Köln)	stadtauswärts	Weyertal – Robert-Koch-Straße	200	2	1,0
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
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	H.-Sachs-Straße – Lindemannstraße	160	2	1,3
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	Lindemannstraße – H.-Sachs-Straße	200	3	1,5
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	Prießallee – Fröbelstraße	190	1	0,5
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	Fröbelstraße – Prießallee	120	0	0,0

Tab. 13: Empirisch erfasste maximale Anzahl stündlicher Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn $n_{LV,SE}$ und Liefer-/Ladevorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge auf der Fahrbahn $n'_{LV,SE}$

ten 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 14 sind die ermittelten Anzahlen n_{HV} und n'_{HV} solcher Haltevorgänge auf der Fahrbahn angegeben. Letztere liegen zwischen etwa 1 und 5 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 über 100 erfasste Liefer-/Ladevorgänge). Diese Größenordnung liegt deutlich unter der von HAMED (1994) ermittelten Standdauer 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 auf der Fahrbahn sind erheblich kürzer. Deren Dauer t_{HV} liegt im Mittel bei knapp 37 s (ausgewertet wurden rund 150 von insgesamt etwa 170 erfassten Haltevorgängen). Vereinzelt können Haltevorgänge aber auch bis zu mehreren Minuten betragen.

Die Halte- und Liefer-/Ladevorgänge wurden durch Zuweisung von genauer Position, Uhrzeit und Dauer jedes einzelnen Vorgangs simuliert. Zu Grunde gelegt wurden dabei aus den empirischen Ergebnissen abgeleitete mittlere Dauern t_{HV} 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 dabei auf die empirischen Beobachtungen von TEPPER (2000) sowie die vorhandenen Erkenntnisse zur zeitlückenabhängigen Kapazität von Linksabbiegeströmen an verkehrszeichengeregelten Knotenpunkten (vgl. HBS, 2001/2005).

Die Frequenz des ÖPNV, und damit die Häufigkeit von Bus- oder Stadt-/Straßenbahnhalten $n_{H,ÖV}$, hängt von der Linienanzahl und deren Takt ab. Auf der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach verkehren mehrere Buslinien im 20- bzw. 30-Minuten-Takt, jedoch jeweils nur abschnittsweise. Über

Fallbeispiel	Fahrtrichtung	Teilabschnitt	L_{SE} [m]	$n'_{LV,SE}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{LV,SE}$ [Kfz/(h x 100 m)]
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadteinwärts	Hardterbroicher Straße – Oststraße	180	1	0,6
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadtauswärts	Oststraße – Hardterbroicher Straße	120	6	5,0
Zülpicher Straße (Köln)	stadteinwärts	Robert-Koch-Straße – Weyertal	270	10	3,7
Zülpicher Straße (Köln)	stadtauswärts	Weyertal – Robert-Koch-Straße	200	6	3,0
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
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	H.-Sachs-Straße – Lindemannstraße	160	3	1,9
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	Lindemannstraße – H.-Sachs-Straße	200	3	1,5
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	Prießallee – Fröbelstraße	190	3	1,6
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	Fröbelstraße – Prießallee	120	1	0,8

Tab. 14: Empirisch erfasste maximale Anzahl stündlicher Haltevorgänge auf der Fahrbahn $n_{HV,SE}$ und Haltevorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge auf der Fahrbahn $n'_{HV,SE}$

die beiden untersuchten zweistreifigen Straßenzüge mit straßenbündigen Bahnkörpern (Zülpicher Straße in Köln, Derendorfer Straße in Düsseldorf) und auf der Detmolder Straße in Bielefeld verkehrt jeweils eine Stadt-/Straßenbahnlinie im 10-Minuten-Takt. Über die Grafenberger Allee (Düsseldorf) verkehren drei, abschnittsweise sogar bis zu 6 Bahnlinien im 10- bzw. 20-Minuten-Takt.

Neben der sich hieraus ergebenden Anzahl der Halte auf der Fahrbahn $n_{H,ÖV}$ ist im Hinblick auf den Störungseinfluss im Kraftfahrzeugverkehrsablauf insbesondere deren Haltedauer relevant. Die Haltestellenaufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ wird maßgeblich durch die Fahrgastwechselzeit bestimmt, die wiederum von der Ein- und Aussteigeranzahl abhängig ist (siehe auch LEHNHOFF/JANSSEN, 2003).[58] Das Fahrgastaufkommen und damit die Haltestellenaufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$ sind von der jeweiligen spezifischen Erschließungsfunktion der Haltestelle im Siedlungsgebiet abhängig (vgl. auch BAIER et al., 2001). Die Haltestellenaufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ ist bei allen Haltevorgängen nahezu unbeeinflusst vom übrigen Verkehrsablauf, ausgenommen den Fall, dass sich die Haltestelle in einer Knotenpunktzufahrt befindet und der Bus bzw. die Bahn vor einer roten Lichtsignalanlage warten muss.

Im Rahmen der empirischen Untersuchungen wurden die (von Zeitverlusten an Lichtsignalanlagen unbeeinflussten) Haltestellenaufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$ von Stadt-/Straßenbahnen an insgesamt acht Haltestellen ermittelt (siehe Tabelle 15). Die mittleren $t_{H,ÖV}$ liegen zwischen 18 s und 25 s; der Mittelwert aller beobachteten Haltestellenaufenthalte $t_{H,ÖV}$ liegt bei rund 23 s. Diese Größenordnung entspricht den Ergebnissen von ANGENENDT et al. (2002), die eine mittlere Aufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ von 22 s ermittelten, sowie auch an anderen Stellen genannten Haltezeiten (z. B. von KRUG, 1999 und 2000). Eine mittlere Haltestellenaufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ von Stadt-/Straßenbahnen in Höhe von 20 s bis 25 s erscheint deshalb als anzusetzende Größe sinnvoll.

Haltestellenaufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$ von auf der Fahrbahn haltenden Bussen wurden im Rahmen der empirischen Untersuchungen exemplarisch an einer Haltestelle (Hardterbroich Markt) auf der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach ermittelt. Die mittlere $t_{H,ÖV}$ liegt hier bei 20 s (ausgewertet wurden 55 Bushalte). Diese Größenordnung entspricht weitgehend den Ergebnissen von TOPP et al. (1994), die eine mittlere Haltestellenaufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ von 20 s ermittelten, wobei diese jedoch auf den jeweils längsten beobachteten Aufenthalten an den untersuchten Haltestellen basiert. KÖHLER/STRAUß/WICHMANN (1998) beobachteten mittlere Haltestellenaufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$ zwischen 8 s und 25 s. Eine weitergehende Betrachtung ihrer Ergebnisse zeigte, dass an 17 von 22 untersuchten Haltestellen die mittlere Haltestellenaufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ zwischen 11 s und 17 s lag (davon bei 12 Haltestellen zwischen 13 s und 17 s), und nur bei vier Haltestellen über 19 s. Die mittleren Haltestellenaufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$, die BAIER et al. (2003) an zwei Fahrbahnhaltestellen auf einer zweistreifigen Hauptverkehrsstraße ermittelten, lagen bei 9 s bzw. 13 s, BAIER (2006) ermittelte an drei Haltestellen einer vierstreifig befahrbaren Hauptverkehrsstraße mittlere Haltestellenaufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$ zwischen 17 s und 21 s. Vor diesem Hintergrund erscheint eine mittlere Haltestellenaufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ von Bussen in

[58] Auch die Haltestellen- und Fahrzeuggestaltungen beeinflussen die Fahrgastwechselzeit, diese haben jedoch nur eine untergeordnete Bedeutung (vgl. LEHNHOFF/JANSSEN, 2003).

Fallbeispiel	Haltestelle	Fahrtrichtung	$n_{H,ÖV}$ [-]	$t_{H,ÖV}$ [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
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Lindemannstraße	stadteinwärts	25	25,0
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

Tab. 15: Mittlere Haltestellenaufenthaltszeiten $t_{H,ÖV}$ von Stadt-/Straßenbahnen

Höhe von 15 s bis 20 s als anzusetzende Größe sinnvoll.

Beeinflussungen des fließenden Verkehrs durch querende Fußgänger werden ausschließlich aus Anforderungen bedarfsgesteuerter Fußgängerfurten hervorgerufen. Frei, d. h. außerhalb von Überquerungsstellen querende Fußgänger dagegen haben keinen Einfluss auf den Verkehrsablauf, da diese entsprechende Zeitlücken im Kraftfahrzeugverkehr nutzen (vgl. MAIER, 1986, und BAIER, 2006).

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 t_S. Die Reduzierung der Freigabezeiten t_F für den fließenden Verkehr je Anforderung der Fußgängerlichtsignalanlage ergibt sich dabei aus den (von der Fahrbahnbreite abhängigen) erforderlichen Zeiten der Fußgänger für die Überquerung der Furt, die deren Freigabezeiten bestimmen, zuzüglich der erforderlichen Zwischenzeiten entsprechend den Anforderungen der RiLSA (1992).

Der Querungsbedarf ist abhängig von den beidseitigen Nutzungen sowie von der Lage der Hauptverkehrsstraße in Bezug zu vorhandenen 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 auf Grund 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.

7.4.3 Belastungszustände aus Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus Verbindungs- und Erschließungsfunktion

Die simulierten Belastungsfälle repräsentieren verkehrliche Zustände in den betrachteten Straßenzügen, die sich aus der Überlagerung von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungsfunktion (Kraftfahrzeugverkehrsstärken q sowie ÖPNV-Frequenz, d. h. Anzahl der Bahnen $n_{ÖV}$) und der Erschließungsfunktion – Anzahl der Bus- bzw. Stadt- und Straßenbahnhalte an Haltestellen $n_{H,ÖV}$, Häufigkeit von Linksabbiegevorgängen n'_{LA}, Einparkvorgängen n_{PV} und Liefer-/Ladevorgängen n_{LV} in den Streckenabschnitten – ergeben. Definiert wurden insgesamt 11 x 28 = 308 Belastungsfälle (siehe Tabelle 16).

Die jeweilige Bemessungsverkehrsstärke q_B im Straßenzug ergibt sich aus der Variation der Kraftfahrzeugverkehrsstärken $q_{B,Fij}$ der empirisch abgeleiteten F_{ij}-Matrizen (vgl. Kapitel 7.4.1). Hieraus ergibt sich der Belastungsfall 0. Mit den Bemessungsverkehrsstärken q_B überlagert werden variierende ÖPNV-Frequenzen $n_{ÖV}$ und/oder eine Störgröße ($n'_{LA,S}$, $n_{PV,S}$ oder $n_{LV,S}$) bzw. zwei Störgrößen ($n'_{LA,S}$ oder $n_{PV,S}$ und/oder $n_{LV,S}$) in jeweils einem ausgewählten Streckenabschnitt. Hieraus ergeben sich die Belastungsfälle E001 bis E012 sowie K001 bis K112. Des Weiteren wurden auf der Grevenbroicher Straße (Mönchengladbach) und der Grafenberger Allee (Düsseldorf) in einem weiteren ausgewählten Streckenabschnitt ebenfalls Einflussgrößen aus der Erschließungsfunktion ($n_{PV,S}$ oder $n_{LV,S}$) variiert. Hieraus ergeben sich die Belastungsfälle K201 bis K204.

Insgesamt untersucht wurden 540 Belastungsfälle. Davon

- 9 x 6 = 54 Belastungsfälle für die Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach,
- 7 x 16 = 112 Belastungsfälle für die Derendorfer Straße in Düsseldorf sowie zusätzlich weitere 11 x 10 = 110 Belastungsfälle mit modifizierten Lichtsignalsteuerungen (siehe hierzu auch Kapitel 8.3.4),
- 5 x 22 = 110 Belastungsfälle für die Grafenberger Allee in Düsseldorf und
- 11 x 14 = 154 Belastungsfälle für die Detmolder Straße in Bielefeld.

Die in Tabelle 16 angegebenen absoluten Störgrößen $n_{PV,SE}$ und $n_{LV,SE}$ beziehen sich jeweils auf den gesamten Streckenabschnitt der Länge L_S bzw. eine innerhalb dieses Abschnitts insgesamt nutzbare Länge L_{SE}. Die hieraus resultierenden relativen Störgrößen $n'_{PV,SE}$ und $n'_{LV,SE}$ je Stunde und 100 m nutzbarer Länge L_{SE} sind in den Tabellen 17 und 18 angegeben. Diese entsprechen den empirisch ermittelten Größenordnungen (vgl. Tabelle 12 und Tabelle 13 in Kapitel 7.4.2).

Für die Bushalte wurde eine Haltestellenaufenthaltszeit $t_{H,ÖV}$ von im Mittel 15 s angesetzt (Gre-

Fall-Nr.	q_B [%-Anteil $q_{B,Fij}$]	$n_{ÖV}$ [ÖV-Fz/(h x Ri)]	$n'_{LA,S}$ [%]	$n_{PV,S}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n_{LV,S}$ [Kfz/(h x Ri)]
0	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	0	0
E001	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	5	0	0
E002	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	10	0	0
E004	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	25	0
E006	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	50	0
E008	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	0	5
E009	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	0	10
E010	50-300 (in 25 %-Schritten)	3	0	0	0
E011	50-300 (in 25 %-Schritten)	6	0	0	0
E012	50-300 (in 25 %-Schritten)	12	0	0	0
K001	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	25	5
K002	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	25	10
K003	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	50	5
K004	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	50	10
K008	50-300 (in 25 %-Schritten)	3	0	50	0
K009	50-300 (in 25 %-Schritten)	6	0	50	0
K010	50-300 (in 25 %-Schritten)	12	0	50	0
K011	50-300 (in 25 %-Schritten)	3	0	0	5
K013	50-300 (in 25 %-Schritten)	12	0	0	5
K014	50-300 (in 25 %-Schritten)	3	0	0	10
K015	50-300 (in 25 %-Schritten)	6	0	0	10
K016	50-300 (in 25 %-Schritten)	12	0	0	10
K109	50-300 (in 25 %-Schritten)	12	0	50	5
K112	50-300 (in 25 %-Schritten)	12	0	50	10
K201	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	50 + 20	5
K202	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	50 + 40	5
K203	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	50 + 40	10
K204	50-300 (in 25 %-Schritten)	0	0	50	10 + 10 bzw. 8

Tab. 16: Belastungsfälle der Simulationsuntersuchungen zum Verkehrsablauf in den Straßenzügen

venbroicher Straße in Mönchengladbach), für die Stadt-/Straßenbahnhalte in den drei anderen Straßenzügen eine mittlere $t_{H,ÖV}$ von 25 s. Den Einparkvorgängen $n_{PV,S}$ wurde eine mittlere Störddauer t_{PV} von 12 s, den Liefer-/Ladevorgängen $n_{LV,S}$ eine mittlere Störddauer t_{LV} von 5 Minuten zu Grunde gelegt. Diese Dauern entsprechen ebenfalls den empirisch festgestellten Größenordnungen (vgl. auch Kapitel 7.4.2).

Die Betrachtung des Verkehrsablaufs erfolgte jeweils fahrtrichtungsgetrennt (vgl. Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2). Der Gegenverkehr hat auf innerörtlichen Hauptverkehrstraßen lediglich einen Einfluss auf links abbiegende Kraftfahrzeuge sowie bei zweistreifigen Streckenabschnitten auf die Vorbeifahrmöglichkeiten an auf der Fahrbahn haltenden Kraftfahrzeugen (siehe BAIER et al., 2003, und BAIER, 2006). Insofern hat in diesen Fällen auch der Gegenverkehr eine Relevanz und ist entsprechend zu berücksichtigen.

Durch die Vielzahl der Belastungsfälle ist die Betrachtung eines ausreichend breiten und praxisrelevanten Untersuchungsspektrums gewährleistet. Die Belastungsfälle repräsentieren nicht nur die

Fallbeispiel	Streckenabschnitt	L_{SE} [m]	$n_{PV,SE}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{PV,SE}$ [Kfz/(h x 100 m)]
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	Schlossstraße – Breite Straße/Ritterstraße	500	50	10,0
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	Breite Straße/Ritterstraße – Hardterbroicher Straße	400	40	10,0
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	Jülicherstraße – Moltkestraße	250	25	10,0
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	Jülicherstraße – Moltkestraße	250	50	20,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Simrockstraße –Sohnstraße/Lichtstraße	250	25	10,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Simrockstraße –Sohnstraße/Lichtstraße	250	50	20,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Lindemannstraße/Dorotheenstraße – Uhlandstraße	200	20	10,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Lindemannstraße/Dorotheenstraße – Uhlandstraße	200	40	20,0
Detmolder Straße (Bielefeld)	Teutoburger Straße – Prießallee	250	25	10,0
Detmolder Straße (Bielefeld)	Teutoburger Straße – Prießallee	250	50	20,0

Tab. 17: Maximale Anzahl stündlicher Einparkvorgänge $n_{PV,SE}$ und hieraus resultierende Einparkvorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge auf der Fahrbahn $n'_{PV,SE}$ in den Simulationsuntersuchungen

Fallbeispiel	Streckenabschnitt	L_{SE} [m]	$n_{LV,SE}$ [Kfz/(h x Ri)]	$n'_{LV,SE}$ [Kfz/(h x 100 m)]
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	Schlossstraße – Breite Straße/Ritterstraße	500	10	2,0
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	Breite Straße/Ritterstraße – Hardterbroicher Straße	400	8	2,0
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	Jülicherstraße – Moltkestraße	250	5	2,0
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	Jülicherstraße – Moltkestraße	250	10	4,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Simrockstraße –Sohnstraße/Lichtstraße	250	5	2,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Simrockstraße –Sohnstraße/Lichtstraße	250	10	4,0
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	Lindemannstraße/Dorotheenstraße – Uhlandstraße	200	10	5,0
Detmolder Straße (Bielefeld)	Teutoburger Straße – Prießallee	250	5	2,0
Detmolder Straße (Bielefeld)	Teutoburger Straße – Prießallee	250	10	4,0

Tab. 18: Maximale Anzahl stündlicher Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn $n_{LV,SE}$ und hieraus resultierende Liefer-/Ladevorgänge je Stunde und 100 m nutzbarer Länge auf der Fahrbahn $n'_{LV,SE}$ in den Simulationsuntersuchungen

empirisch beobachteten Verkehrszustände in den Straßenzügen, sondern durch die darüber hinausgehende Überlagerung von höheren Kraftfahrzeugverkehrsstärken und verschiedenen Störeinflüssen aus der Erschließungsfunktion ermöglicht, die „Belastbarkeit" bzw. die Flexibilitäten der einzelnen Straßenzüge zu untersuchen (vgl. Bild 44).

Somit können Einzelanlagen mit Handlungsbedarf identifiziert und die Auswirkungen von Anpassungen der infrastrukturellen Rahmenbedingungen (z. B. Modifikation der Lichtsignalsteuerungen) bewertet werden. Des Weiteren werden Aussagen zu den Auswirkungen (denkbarer) planerischer Maßnahmen ermöglicht. Hierzu gehört beispielsweise die Anlage straßenbündiger Stadt-/Straßenbahnkörper bzw. umgekehrt auch deren räumliche Trennung vom Kraftfahrzeugverkehr. Letzteres kann durch Anlage besonderer Bahnkörper oder auch eine unterirdische Verlegung, wie sie derzeit in Düsseldorf in der Verlängerung der Grafenberger Allee im Verlauf der so genannten Wehrhahn-Linie gebaut wird, erfolgen.

7.5 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 Isolinien der Momentangeschwindigkeiten möglich

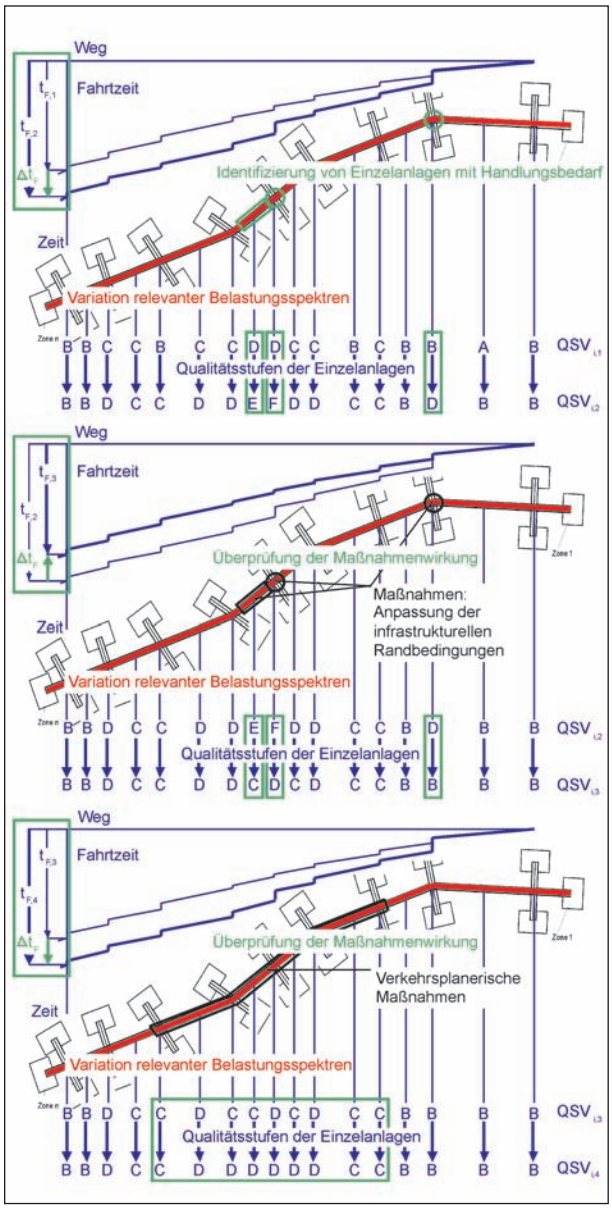


Bild 44: Simulationsansatz und Ergebnisse der Belastungsfälle

(vgl. MAY et al., 1970; zitiert in SCHÜTTE/BOGENBERGER/ERNHOFER, 1999).[59]

Als Grundlage für die Verfahren zur übergreifenden Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Straßenzügen sind zum einen die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs aller Einzelanlagen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ zu bestimmen (vgl. Kapitel 3.1), zum anderen ist die Fahrgeschwindigkeit V_F über den gesamten Straßenzug zu ermitteln (vgl. Kapitel 3.2). Die Bestimmung der $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ erfordert die Ermittlung der richtungsbezogenen Verkehrsdichte k_S in den einzelnen Streckenabschnitten sowie der Wartezeit t_W an den Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen. Die Fahrgeschwindigkeit V_F ergibt sich aus der Gesamtfahrtzeit über den Straßenzug t_F bzw. aus der Summe der Fahrtzeiten $\sum t_{F,i}$ auf den Streckenabschnitten $t_{F,S}$ und innerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte $t_{F,KE}$.

Zur statistischen Absicherung der Ergebnisse wurden für jeden Belastungsfall jeweils 10 Simulationsläufe durchgeführt (in der Summe ergeben sich somit 5.400 Simulationsläufe). Hiermit ist hinsichtlich der Mittelwertbildung der einzelnen Kenngrößen – Dichte k_S, Wartezeit t_W, Fahrtzeit t_F usw. – eine ausreichende Genauigkeit gewährleistet. Die Auswertungen zur Ermittlung der bewertungsrelevanten Kenngrößen erfolgten mit spezifisch entwickelten Algorithmen und Softwaretools.

7.5.1 Ermittlung von Dichte und Fahrtzeiten auf Streckenabschnitten

Das maßgebende Kriterium zur Bewertung der funktionalen Qualität des Kraftfahrzeugverkehrsablaufs auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen ist die mittlere Dichte k_S in der Dimension Pkw-E/(km x Ri). Da der Verkehrsablauf auf städtischen Straßen in der Regel von Instationaritäten geprägt ist, ist zur Ermittlung der Dichte k_S in einem Streckenabschnitt eine räumlich-zeitliche Auswertung erforderlich (vgl. Bild 45). 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. auch BRILON, 1973). Dies sind

- die Fahrzeuge, die 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.

[59] Diese Darstellungsform kann beispielsweise für Abschnitte gewählt werden, die von Lichtsignalanlagen unbeeinflusst sind.

Dabei ist eine getrennte Betrachtung von Teilabschnitten erforderlich (vgl. Kapitel 6.2.3). Die räumlich-zeitliche Verkehrsdichte in einem Teilabschnitt k_T ist – abgeleitet aus der Definition nach COERS (1970) – allgemein definiert als (Gleichung 12)

$$k_T = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{L_T \cdot T} \text{ [km/h]} \qquad \text{Gl. 12}$$

mit

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

t_i Zeit, die das Fahrzeug i innerhalb der betrachteten Weg-Zeit-Fläche (vgl. Bild 45) verbringt [Kfz · s]

L_T Länge des betrachteten Teilabschnitts [km]

T Betrachtungszeitraum [s]

und ist das Mittel aller unterschiedlichen Dichten k_i, gewichtet mit den Zeitintervallen ΔT_i, innerhalb derer diese Dichten k_i konstant sind (Gleichung 13):

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

mit

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

k_i Dichte innerhalb des Zeitintervalls ΔT_i [Kfz/km]

ΔT_i Zeitintervall mit konstanter Dichte k_i [s]

Nach MARTIN (1979) kann die räumlich-zeitliche Dichte 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 ΔT_i, in denen die Dichten k_i konstant sind.

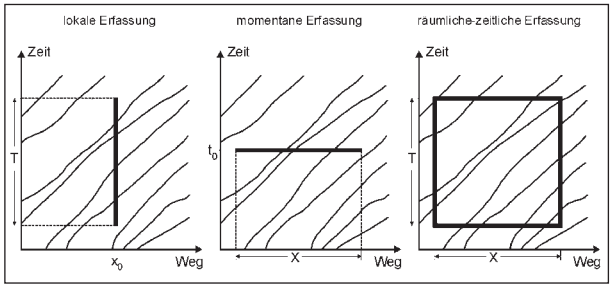


Bild 45: Lokale, momentane und räumlich-zeitliche Erfassung des Verkehrsablaufs

Die Ermittlung der Dichte k_T in einem Teilabschnitt erfolgte bei den hier durchgeführten Simulationsuntersuchungen jedoch durch momentane Messungen in konstanten Zeitschritten. Dies begründete sich u. a. in einem deutlich geringeren Auswerteumfang, bei gleichzeitig identischen Ergebnissen. Gewählt wurde eine momentane Erfassung in Intervallen τ von 0,33 s innerhalb des Betrachtungszeitraums T von einer Stunde. Durch die Diskretisierung der Messintervalle τ auf 0,33 s wird vermieden, dass eine Verzerrung der Dichtewerte eintritt.[60] Des Weiteren entspricht das Zeitintervall von 0,33 s den Zeitschritten der Simulation, sodass ein Dichtesprung ausschließlich in diesem Zeitraster erfolgen kann.

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 im Teil 1 des Forschungsvorhabens von SÜMMERMANN et al. (2008) für Bahnen zu Grunde gelegten Werten (vgl. Tabelle 19) – mit Gleichung 14

$$k_T = \bar{k}_m = \frac{\sum_{m=1}^{n} k_m}{\frac{T}{\tau}} \text{ [Pkw-E/(km x Ri)]} \qquad \text{Gl. 14}$$

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. 19: Pkw-Gleichwerte für Stadt-/Straßenbahnfahrzeuge (SÜMMERMANN et al., 2008)

60 Vor allem bei der Überlappung von Freigabezeiten t_F und Sperrzeiten t_S von Lichtsignalsteuerungen innerhalb eines Zeitintervalls τ 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 τ entgegen gewirkt.

mit

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

$\bar{k}_m$ Mittelwert der fortlaufend momentan erfassten Dichten km [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)

τ Messintervall [s]; hier: τ = 0,33 s

die jeweilige mittlere richtungsbezogene Verkehrsdichte k in der Dimension Pkw-E/(km x Ri) ermittelt. Auf Grund der gewählten Randbedingungen bezüglich der entsprechend kurzen Teilabschnittslängen $L_{T,i}$ sowie der Betrachtungszeitraums T von einer Stunde und der Messintervalle τ von 0,33 s ist der Mittelwert der sich hieraus ergebenden 10.800 fortlaufend momentan erfassten Dichtewerte k_m nahezu identisch mit der mittleren räumlich-zeitlichen Dichte k_T. Die Abweichungen sind vernachlässigbar gering.

Die mittlere Verkehrsdichte k_S auf einem Streckenabschnitt der Länge L_S, der sich aus mehreren Teilabschnitten i der Längen $L_{T,i}$ zusammensetzt, ergibt sich aus einer zusammenfassenden Bewertung der mittleren Dichten $k_{T,i}$ der einzelnen Teilabschnitte mit Gleichung 15:

$$k_S = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_{T,i} \cdot L_{T,i}}{L_S} \text{ [Pkw-E/(km x Ri)]} \qquad \text{Gl. 15}$$

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 $QSV_{S,i}$ erfolgt dann mit den in Tabelle 2 (vgl. Kapitel 2.3.1) angegebenen Grenzwerten. Zusätzlich wird der Dichtewert k_S anhand streckenspezifischer Zuordnungsfunktionen in eine numerische Bewertungsgröße $B_{S,i}$ überführt, welche zur Bildung der längengewichtenten Gesamtqualitätsstufe QSV_{HS} benötigt wird (vgl. hierzu Kapitel 3.1.1 und Anhang 1).

Die mittlere Fahrtzeit $t_{F,S}$ auf einem Streckenabschnitt entspricht dem Mittelwert der Fahrtzeiten aller Kraftfahrzeuge, die innerhalb des Betrachtungszeitraums T von einer Stunde (Spitzenstunde) in den Abschnitt einfahren und diesen dann vollständig durchfahren. Hieraus ergibt sich die mittlere Fahrgeschwindigkeit $V_{F,S}$ aller Kraftfahrzeuge auf dem Streckenabschnitt der Länge L_S.

7.5.2 Ermittlung von Warte-, Verlust- und Fahrtzeiten an Knotenpunkten

Die mittleren Wartezeiten t_W an den Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen wurden mit den Verfahren des HBS (2001/2005) berechnet (vgl. hierzu auch Kapitel 2.3.2 bis 2.3.4). Die für die Berechnungen zu Grunde gelegten Bemessungsverkehrsstärken q_B wurden für jeden Belastungsfall aus der jeweils erzeugten F_{ij}-Matrix ermittelt (vgl. Kapitel 7.4.1).

Bei Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage sind im Hinblick auf die übergreifende Bewertung nur diejenigen Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug relevant. Infolgedessen wurden die Wartezeiten t_W ausschließlich für die davon jeweils betroffenen Signalgruppen berechnet (vgl. hierzu auch Bild 9 in Kapitel 3.1). Der Einfluss von rechts oder links abbiegenden Kraftfahrzeugen, insbesondere bei Mischfahrstreifen, wird hierbei berücksichtigt. Auf diesen Aspekt wird in Kapitel 8.2 noch vertiefend eingegangen.

An Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage – bei den untersuchten Straßen nur auf der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach vorhanden (vgl. Kapitel 5.1.1) – sind ebenfalls nur die Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug relevant (vgl. Kapitel 3.1). Die Wartezeiten t_W wurden deshalb ausschließlich für diese Ströme berechnet. Der Einfluss anderer Kraftfahrzeugströme bei Mischfahrstreifen wird dabei berücksichtigt.

Die Ermittlung der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten $QSV_{K,i}$ erfolgt anhand der in Tabelle 3 (Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage; vgl. Kapitel 2.3.2) bzw. in Tabelle 4 (Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage; vgl. Kapitel 2.3.4) angegebenen Grenzwerte. Zusätzlich wird die maßgebende Wartezeit t_W über knotenpunktspezifische Zuordnungsfunktionen in eine numerische Bewertungsgröße $B_{K,i}$ überführt, welche zur Bildung der längengewichteten Gesamtqualitätsstufe des Straßenzugs QSV_{HS} benötigt wird (vgl. hierzu Kapitel 3.1.1 und Anhang 1).

Die mittlere Fahrtzeit $t_{F,KE}$ im Knotenpunkteinflussbereich entspricht dem Mittelwert der Fahrtzeiten aller Kraftfahrzeuge – bezogen auf die Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug einschließlich abbiegender Fahrzeuge bei Mischfahrstreifen – innerhalb des Betrachtungszeitraums T von einer Stunde (Spitzenstunde). Aus der Fahrtzeit $t_{F,KE}$ ergibt sich dann auch die mittlere Fahrgeschwindigkeit $V_{F,KE}$ aller Kraftfahrzeuge im Einflussbereich eines Knotenpunkts der Länge L_{KE}.

Um zusätzlich die Grundlage für differenzierte t_W-t_V-Zusammenhänge als mögliche Bewertungsbasis für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage zu schaffen (vgl. Kapitel 2.4), wurde zusätzlich die mittlere Verlustzeit t_V im gesamten Einflussbereich eines Knotenpunkts ermittelt. Diese ergibt aus der Differenz der mittleren Fahrtzeit $t_{F,KE}$ und der Fahrtzeit t_f bei einer unbehinderten Fahrt durch den Knotenpunkt mit der freien Geschwindigkeit V_f. Die V_f wurde dazu vorab simulativ ermittelt, alternativ kann hierfür die zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} im Knotenpunktbereich (innerorts in der Regel 50 km/h) angesetzt werden.

7.5.3 Ermittlung von Fahrtzeiten in Straßenzügen

Die mittlere Fahrtzeit t_F in einem Straßenzug entspricht dem Mittelwert der Fahrtzeiten der Kraftfahrzeuge des durchgehenden Verkehrs im Betrachtungszeitraum T von einer Stunde (Spitzenstunde). Um die Fahrtzeit t_F aller Kraftfahrzeuge aus der F_{ij}-Matrix für die Spitzenstunde, die den Straßenzug vollständig durchfahren, erfassen zu können, wird der Zeitraum des Nachlaufs von ebenfalls einer Stunde zur Fahrtzeitermittlung einbezogen.

Aus der Fahrtzeit t_F ergibt sich die mittlere Fahrgeschwindigkeit V_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs im Straßenzug der Länge L_{HS}. Diese mittlere Fahrtzeit t_F entspricht nicht zwangsläufig der Summe der mittleren Fahrtzeiten $\sum t_{F,i}$ auf den Streckenabschnitten $t_{F,S}$ und innerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte $t_{F,KE}$ (siehe hierzu auch Bild 46). Im Hinblick auf den Konzeptansatz zur Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit V_F auf Basis der Geschwindigkeiten auf den Streckenabschnitten $V_{F,S}$ und innerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte $V_{F,KE}$ (vgl. Gleichung 10 in Kapitel 3.2.2), die jeweils aus den Fahrtzeiten $t_{F,S}$ bzw. $t_{F,KE}$ aller Kraftfahrzeuge auf/an der Einzelanlage resultieren, ist deshalb zu prüfen, inwieweit die t_F und die $\sum t_{F,i}$ voneinander abweichen; diese Überprüfung erfolgt in Kapitel 8.3.3.

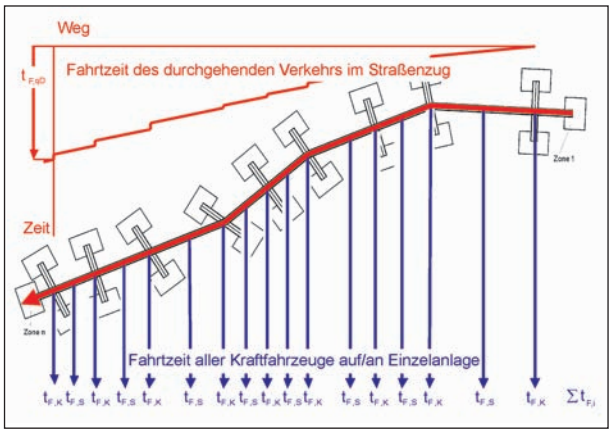


Bild 46: Ermittlung der Fahrtzeiten in Straßenzügen

8 Schlussfolgerungen für die Bewertungsverfahren

Nachfolgend sind die Simulationsergebnisse sowie die hieraus abgeleiteten Schlussfolgerungen für die Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßenzügen zusammenfassend dargestellt (Kapitel 8.1 bis 8.4). Die Einzelergebnisse der Simulationen sind in Anhang 7 bis 10 dokumentiert.

8.1 Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf der Strecke und an Knotenpunkten

Der Verkehrsablauf in Hauptverkehrsstraßen ist in der Regel sehr komplex. Die Überlagerung der Nutzungsansprüche aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion führt zu Instationaritäten. Aber auch die Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf der Strecke und an Knotenpunkten sind zu berücksichtigen.

Die Konzeptansätze für die Bewertungsverfahren gehen von einer Einzelbetrachtung des Verkehrsablaufs an den Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen und auf den dazwischen liegenden „freien“ Streckenabschnitten aus (vgl. Kapitel 3). Für die dazu erforderliche Zerlegung von Straßenzügen in Einzelanlagen sind die Einflussbereiche der Knotenpunkte zu bestimmen (vgl. Kapitel 6.2.2). Dabei wird vorausgesetzt, dass die Länge der Einflussbereiche in der jeweiligen Kno-

tenpunktzufahrt $L'_{KE,Zu}$ (bezogen auf die Haltlinie; vgl. Bild 37 in Kapitel 6.2.2) ausreichend bemessen, d. h. bei Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage deutlich größer als die zu erwartenden mittleren Rückstaulängen bei Rotzeitende L_{RE} sind. Weitere Voraussetzungen zur Berechnung der Wartezeiten t_W an Knotenpunkten nach den Verfahren des HBS (2001/2005) sind zum einen die Sicherheit vor Überstauungen von Nebenströmen bei Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und zum anderen ein von benachbarten Knotenpunkten unbeeinflusster Zufluss bei Kreuzungen und Einmündungen mit vorfahrtregelnden Verkehrszeichen.

Vor diesem Hintergrund erfolgte eine exemplarische Überprüfung der festgelegten Einflusslängen $L_{KE,Zu}$ bzw. $L'_{KE,Zu}$ in den Zufahrten von fünf ausgewählten Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage. Hierzu wurden für insgesamt 61 Belastungsfälle die mittleren Rückstaulängen bei Rotzeitende L_{RE} nach dem HBS (2001/2005) berechnet. In Bild 47 sind die ermittelten L_{RE} für die Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug in Abhängigkeit der Wartezeit t_W dargestellt.[61] Die Gegenüberstellung der L_{RE} mit den vorab festgelegten Einflusslängen in den Zufahrten $L'_{KE,Zu}$ zeigt, dass Letztere in den meisten der hier betrachteten Fälle ausreichend lang sind (Bild 48). Die Fälle, in denen die L_{RE} deutlich über die $L'_{KE,Zu}$ hinausgehen, resultieren aus einer Überlastung des Knotenpunkts mit Wartezeiten t_W deutlich über 100 s und Erreichen der Verkehrsqualitätsstufe F (vgl. Bild 47). D. h., der Einflussbereich des Knotenpunkts vergrößert sich bei Überlastungen, sodass keine differenzierte Betrachtung des Verkehrsablaufs auf/an den Einzelanlagen mehr möglich ist.

Bei Wartezeiten t_W unter 100 s (Stufe E oder besser), ist eine einzelanlagenbezogene Betrachtung des Knotenpunkts und des davorliegenden Streckenabschnitts prinzipiell möglich. In diesen Fällen ist die $L'_{KE,Zu}$ ausreichend bemessen (vgl. ebenfalls Bild 47). Eine ausreichende Sicherheit gegen Überstauung von Nebenströmen ist aber auch dabei nicht zwangsläufig in allen Belastungsfällen gewährleistet. Insbesondere bei zunehmenden Verkehrsstärken q_B kann es zu einer Überstauung kommen, die dann in der Regel zu einer

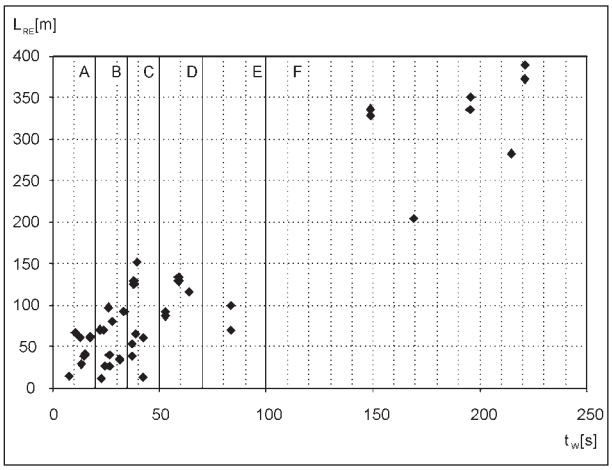


Bild 47: Mittlere Rückstaulänge bei Rotzeitende L_{RE} an 5 ausgewählten Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage in Abhängigkeit der Wartezeit t_W

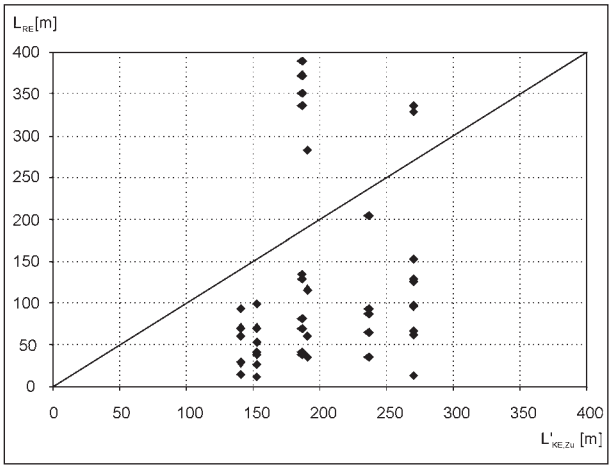


Bild 48: Mittlere Rückstaulänge bei Rotzeitende L_{RE} und festgelegte Einflusslänge in der Zufahrt $L'_{KE,Zu}$ an 5 ausgewählten Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage

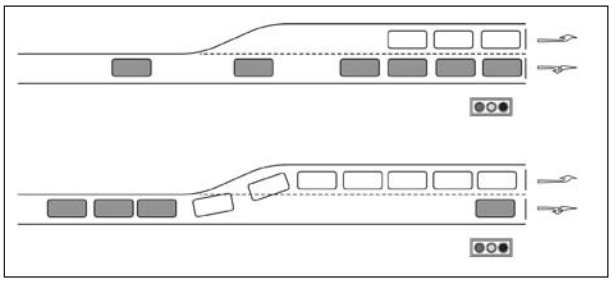


Bild 49: Überstauung von Nebenströmen an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage

Reduzierung des Zuflusses in den Fahrstreifen des (gerade ausfahrenden) Hauptstroms mit eventuellen Rückstauungen in den Streckenabschnitt vor dem Knotenpunkt führt (vgl. Bild 49). Der infolgedessen reduzierte Abfluss am Knotenpunkt kann aber zu einem verbesserten Verkehrsfluss im dahinterliegenden Streckenabschnitt führen.

[61] Bei einigen Knotenpunktzufahrten ergaben sich für verschiedene Belastungsfälle identische Wartezeiten t_W und infolgedessen auch eine identische L_{RE}, sodass in Bild 47 und Bild 48 einige Wertepaare mehrfach belegt sind.

Diese Wechselwirkungen können durchaus dazu führen, dass sich auf der Strecke und an den Knotenpunkten gegenüber der einzelanlagenbasierten Betrachtung veränderte Verkehrszustände mit von der Bemessungsverkehrsstärke q_B abweichenden tatsächlichen Kraftfahrzeugverkehrsstärken q_{tats} einstellen, die auch zu veränderten Verkehrsqualitäten führen (siehe Beispiele in Bild 50).

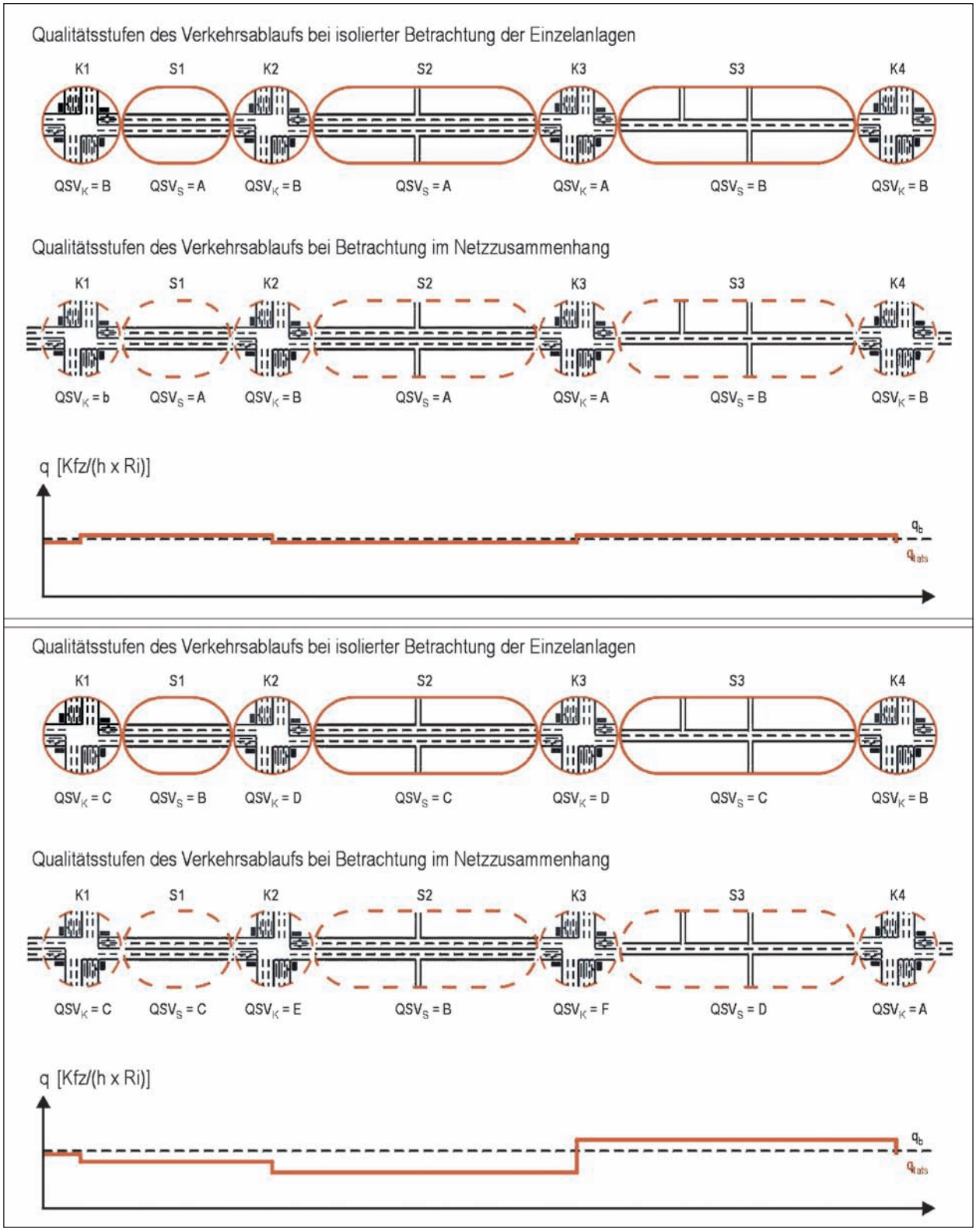


Bild 50: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs bei isolierter Betrachtung der Einzelanlagen und bei Betrachtung im Netzzusammenhang

Diese Effekte treten jedoch in den meisten Fällen erst bei Erreichen der Kapazität (Einordnung in die Verkehrsqualitätsstufe E) oder bei der Überlastung einzelner oder mehrerer Anlagen (Einordnung in die Stufe F) auf. Bei stabilen Zuständen (Einordnung in die Stufe D oder eine höhere Qualitätsstufe) ist in der Regel eine differenzierte Betrachtung von Einzelanlagen möglich, aber auch hier können in einzelnen Fällen bereits Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf den Streckenabschnitten und an den Knotenpunkten auftreten.

Unabhängig davon können auftretende Wechselwirkungen bei der Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für die einzelnen Anlagen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ bislang nicht bzw. nur unzureichend berücksichtigt werden. Sowohl das Verfahren für Streckenabschnitte (vgl. Kapitel 2.3.1) als auch die Verfahren des HBS (2001/2005) für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage (vgl. Kapitel 2.3.2 bis 2.3.4) basieren auf einer isolierten Betrachtung der jeweiligen Einzelanlage. Hier besteht deshalb noch Untersuchungsbedarf zur Erweiterung der Verfahren (siehe Kapitel 11.2).

8.2 Bewertung der Verkehrsqualität von Straßenzügen

Zur übergreifenden Bewertung der Verkehrsqualität eines Straßenzugs ist vorab mit den jeweiligen Verfahren eine getrennte Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs der einzelnen Streckenabschnitte (vgl. Kapitel 2.3.1) und der Knotenpunkte zwischen gleichrangigen Hauptverkehrsstraßen (vgl. Kapitel 2.3.2 bis 2.3.4) vorzunehmen. Dabei erfolgt eine getrennte Betrachtung der beiden Fahrtrichtungen.

Voraussetzung ist eine (richtungsgetrennte) Zerlegung des Straßenzugs in Einzelanlagen. Hierzu sind mit dem in Kapitel 6.2.2 dargestellten Verfahren die Einflusslängen $L_{KE,i}$ der aus der Netzfunktion festgelegten Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen (vgl. Kapitel 6.2) zu ermitteln und somit die dazwischenliegenden Streckenabschnitte sowie deren Länge $L_{S,i}$ zu bestimmen; gegebenenfalls sind diese in Teilabschnitte zu unterteilen (vgl. Kapitel 6.2.3).

Die Mindestlänge eines Streckenabschnitts L_S sollte 100 m, bei Abschnitten mit einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle auf straßenbündigen Bahnkörpern 200 m betragen. Verbleibt zwischen den Einflussbereichen der Knotenpunkte eine geringere Länge, ist diese dem nachfolgenden Knotenpunkt zuzuschlagen.

Überschneiden sich die Einflussbereiche zweier aufeinanderfolgender Knotenpunkte, ist die $L_{KE,Zu}$ des stromabwärtigen Knotenpunkts vollständig anzusetzen und die $L_{KE,Aus}$ des davorliegenden (stromaufwärtigen) Knotenpunkts auf die verbleibende „Restlänge“ zu verkürzen.[62] Geht die Einflusslänge L_{KE} eines Knotenpunkts über den benachbarten Knotenpunkt hinaus (als Bezugspunkt ist die Knotenpunktmitte anzusetzen), sind diese beiden Knotenpunkte als ein Knotenpunktesystem anzusehen, dessen Verkehrsqualitätsbewertung jedoch mit den bisherigen Verfahren des HBS (2001/2005) nicht bzw. nur mit fallspezifischen Erweiterungen (z. B. durch sinnvoll anzusetzende Annahmen) möglich ist.

Für die Streckenabschnitte sind jeweils die richtungsbezogene Dichte k sowie die $QSV_{S,i}$, für die Knotenpunkte die Wartezeit t_W und die $QSV_{K,i}$ zu ermitteln. Bei den Knotenpunkten sind für die übergreifende Bewertung nur die Ströme des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug relevant. Deshalb sind an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage nur die berechneten Wartezeiten t_W und die $QSV_{K,i}$ der betroffenen Signalgruppen (vgl. Bild 9 in Kapitel 3.1) zu übernehmen. An Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage sind ebenfalls nur die berechneten Wartezeiten t_W sowie die $QSV_{K,i}$ der betroffenen Ströme zu übernehmen. Bei Kreisverkehren sind dies die entsprechenden Größen der im betrachteten Straßenzug liegenden Zufahrten.

Das jeweilige Maß der Verkehrsqualität (Dichte k_S bzw. Wartezeit t_W) ist mit spezifischen k-B- bzw. t_W-B-Zuordnungsfunktionen (vgl. Bild 11 in Kapitel 3.1.1 und Anhang 1) in eine numerische Bewertungsgröße $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ zu überführen. Mit diesen Bewertungsgrößen wird dann durch eine längengewichtete harmonische Mittelwertbildung nach Gleichung 7 (vgl. Kapitel 3.1.2) die Gesamtbewertung B_{HS} für den Straßenzug ermittelt. Aus der B_{HS} ergibt sich dann gemäß Tabelle 6 (vgl. Kapitel 3.1.1)

---

[62] Die Einflusslängen L_{KE} beider Knotenpunkte vollständig anzusetzen ist zwar grundsätzlich auch denkbar. In diesem Fall wäre dann jedoch die „Bewertungslänge“ als Summe der Längen aller Einzelanlagen $L_{S,i}$ und $L_{KE,i}$ größer als die eigentliche Länge des Straßenzugs L_{HS}. Der hier gewählte Ansatz, die tatsächliche und keine fiktive Länge zu Grunde zu legen, erscheint vor diesem Hintergrund zielführender und ist darüber hinaus praxisgerechter.

die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs QSV_{HS} für den Straßenzug.[63]

Neben dieser Verkehrsqualitätsstufe, welche die „Durchschnittsqualität“ aller einzelnen Anlagen im Straßenzug repräsentiert, ist zusätzlich die Verkehrsqualitätsstufe der am schlechtesten bewerteten Einzelanlage – $QSV_{S,i}$ bzw. $QSV_{K,i}$ des Streckenabschnitts oder Knotenpunkts mit der kleinsten $B_{S,i}$ bzw. $B_{K,i}$ – hinzuzuziehen. Dies ermöglicht eine fundiertere Einordnung der erzielten QSV_{HS}: Wird etwa beim Vergleich zweier Planungsvarianten für beide Fälle eine identische QSV_{HS} ermittelt, ist durchaus entscheidend, ob das Spektrum der $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ insgesamt sehr homogen ist oder ob eine Einzelanlage mit einer schlechten Verkehrsqualität (z. B. Stufe E oder F) durch eine oder mehrere Anlagen mit guter Verkehrsqualität (z. B. Stufe A oder B) „aufgewogen“ wird. Auch bei der Bewertung eines gesamten Hauptverkehrsstraßennetzes ist diese Vorgehensweise zur Bewertung der einzelnen Straßenzüge vorteilhaft, da erst diese eine differenziertere Reihung erlaubt.

8.3 Bewertung der Verbindungsqualität von Straßenzügen

Die maßgebende Größe zur Bewertung der Verbindungsqualität eines Straßenzugs ist die mittlere Fahrgeschwindigkeit V_F, die gemäß Tabelle 8 (vgl. Kapitel 3.2.1) in eine Verbindungsqualitätsstufe eingeordnet wird. Dabei erfolgt ebenfalls eine getrennte Betrachtung beider Fahrtrichtungen.

Die V_F wird auf Basis der Geschwindigkeiten auf den einzelnen Streckenabschnitten $V_{F,S}$ und innerhalb der Einflussbereiche der Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen $V_{F,KE}$ ermittelt, d. h., Voraussetzung ist auch hier eine Zerlegung des Straßenzugs in Einzelanlagen (diesbezüglich gelten die in Kapitel 8.2 gemachten Vorgaben). Grundlagen zur Ermittlung der V_F sind differenzierte q-V_F-Beziehungen für Streckenabschnitte und spezifische t_W-V_F-Beziehungen für Knotenpunkte.

8.3.1 Differenzierte q-V_F-Beziehungen für Streckenabschnitte

In Bild 51 sind beispielhaft q-V_F-Beziehungen für einen zweistreifigen Streckenabschnitt, in Bild 52 für einen vierstreifigen Streckenabschnitt dargestellt. Darin zeigen sich deutlich die Auswirkungen unterschiedlicher Ausprägungen der Überlagerungen von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion. Insbesondere die Führung von Kraftfahrzeugen mit Stadt-/Straßenbahnen im Mischverkehr hat einen z. T. erheblichen Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeit $V_{F,S}$ im Streckenabschnitt.

Aus den Simulationsuntersuchungen liegen Daten zur Ableitung differenzierter q-V_F-Beziehungen für insgesamt 26 Abschnitte (vgl. Tabelle 11 in Kapitel

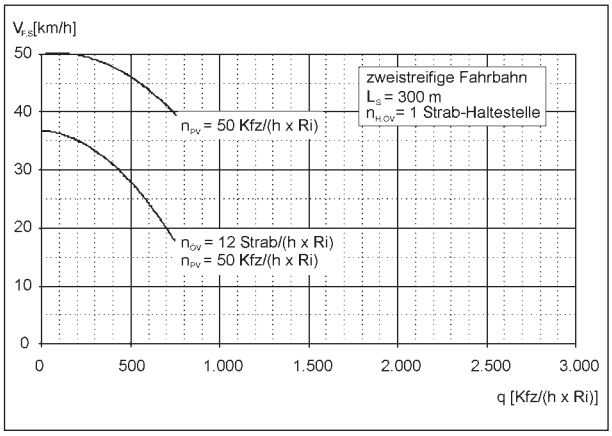


Bild 51: q-V_F-Beziehungen für einen zweistreifigen Streckenabschnitt im Zuge der Derendorfer Straße in Düsseldorf

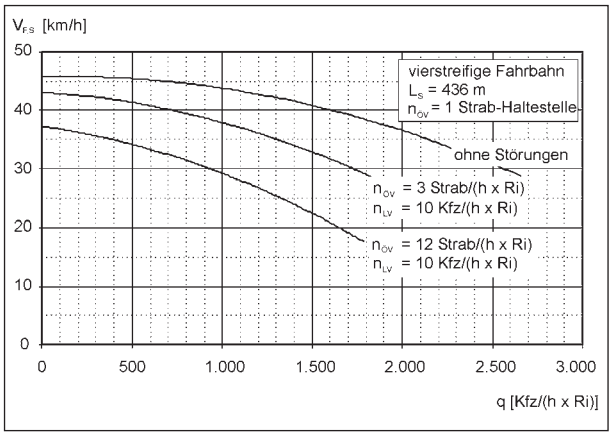


Bild 52: q-V_F-Beziehungen für einen vierstreifigen Streckenabschnitt im Zuge der Detmolder Straße in Bielefeld

[63] Die zu Grunde gelegte Bewertungsskala führt bei der Einordnung bereits einer Einzelanlage in die Stufe F nicht unmittelbar zu einer gleichen Einstufung des gesamten Straßenzugs. Prinzipiell besteht jedoch die Möglichkeit, eine entsprechende Festlegung zu treffen, d. h. auch den gesamten Straßenzug mit der Stufe F zu bewerten, wenn sich für (mindestens) eine Einzelanlage die Verkehrsqualitätsstufe F ergibt (siehe hierzu auch Kapitel 8.4). Der hier gewählte Ansatz erscheint jedoch praxisgerechter, da hiermit eine grundsätzliche Berücksichtigung der schlechtesten Einzelanlage erfolgt, auch wenn diese nicht überlastet ist.

7.3) mit unterschiedlichen Streckencharakteristiken (u. a. Fahrstreifenanzahl $n_{FS,S,}$ Länge L_S) vor. Auf Grund der netzspezifischen Randbedingungen der untersuchten Straßenzüge und der infolgedessen nicht auszuschließenden Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf der Strecke und an den Knotenpunkten (vgl. Kapitel 8.1) sind vor einer allgemeingültigen Übertragbarkeit der sich ergebenden q-V_F-Beziehungen noch weitere Sensitivitätsprüfungen erforderlich (siehe Kapitel 11.3).

8.3.2 Differenzierte t_W-V_F-Beziehungen für Knotenpunkte

Bild 53 zeigt beispielhaft t_W-V_F-Beziehungen für einen Knotenpunkt einer zwei- mit einer (kreuzenden oder einmündenden) vierstreifigen Hauptverkehrsstraße. Deutlich erkennbar ist der Einfluss bei einer Stadt-/Straßenbahnhaltestelle (auf straßenbündigen Bahnkörpern) in der Knotenpunktzufahrt bei zunehmender Frequenz $n_{ÖV}$ und Anzahl von Halten $n_{H,ÖV}$. Zur Ableitung differenzierter t_W-V_F-Beziehungen liegen aus den Simulationen entsprechende Daten für insgesamt 42 Knotenpunktzufahrten (vgl. Tabelle 11 in Kapitel 7.3) mit unterschiedlichen Randbedingungen (Umlaufzeit t_U, Freigabezeit t_F, Länge des Einflussbereichs L_{KE}, Stadt-/Straßenbahnhaltestellen in der Zufahrt usw.) vor. Auch hier sind wegen der netzspezifischen Randbedingungen der untersuchten Straßenzüge und der deshalb nicht auszuschließenden Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf an den Knotenpunkten und auf den angrenzenden Streckenabschnitten (vgl. Kapitel 8.1) vor einer allgemeingültigen Übertragbarkeit der sich ergebenden t_W-V_F-Beziehungen noch weitere Sensitivitätsprüfungen erforderlich (siehe Kapitel 11.3).

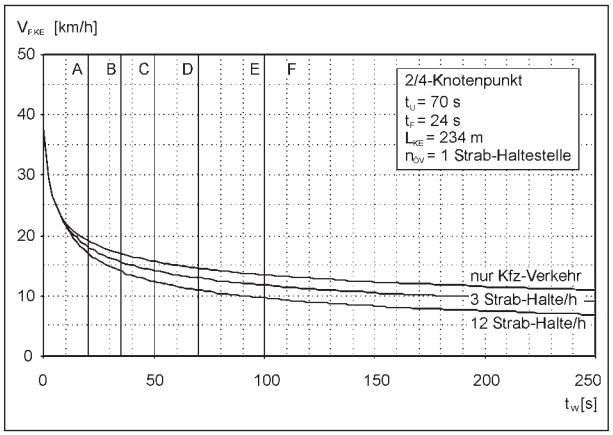


Bild 53: t_W-V_F-Beziehungen für einen Knotenpunkt im Zuge der Derendorfer Straße in Düsseldorf

Für eine isolierte Betrachtung von Knotenpunkten kann alternativ auf einen theoretischen Ansatz wie bei SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007) zurückgegriffen werden. Hierbei ergibt sich die $V_{F,KE}$ in Abhängigkeit der mit dem Verfahren des HBS (2001/2005) berechneten Wartezeit t_W in der Knotenpunktzufahrt nach Gleichung 16 zu

$$V_{F,KE} = \frac{L_{KE}}{t_f + t_W} \cdot 3{,}6\,[\text{km/h}] \qquad \text{Gl. 16}$$

mit

$V_{F,KE}$ Fahrgeschwindigkeit im Einflussbereich des Knotenpunkts [km/h]

L_{KE} Länge des Einflussbereichs des Knotenpunkts [m]

t_f Fahrtzeit durch Einflussbereich des Knotenpunkts bei unbehinderter, freier Fahrt [s]

t_W mittlere Wartezeit in der Knotenpunktzufahrt [s]

Die Fahrtzeit t_f bei unbehinderter, freier Fahrt haben SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007) durch Messfahrten ermittelt, da für die einzelnen Knotenpunktarten auf Landstraßen jeweils konstante Einflusslängen L_{KE} festgelegt wurden. Bei variierenden Einflusslängen L_{KE}, wie sie sich bei Knotenpunkten gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen nach dem Verfahren in Kapitel 6.2.2 ergeben, ist die t_f ausgehend von der freien Geschwindigkeit V_f mit Gleichung 17 zu ermitteln:

$$V_{F,KE} = \frac{L_{KE}}{t_f + t_W} \cdot 3{,}6\,[\text{km/h}] \qquad \text{Gl. 16}$$

mit

t_f Fahrtzeit durch Einflussbereich des Knotenpunkts bei unbehinderter, freier Fahrt [s]

L_{KE} Länge des Einflussbereichs des Knotenpunkts [m]

V_f freie Fahrgeschwindigkeit [km/h]

Für die V_f kann gegebenenfalls die zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} angesetzt werden. Inwieweit dies sinnvoll ist, sollte überprüft werden, beispielsweise auf Basis der vorliegenden Messfahrten (vgl. Kapitel 5.2 und 5.3).

8.3.3 Fahrgeschwindigkeiten in Straßenzügen

Die mittlere Fahrgeschwindigkeit V_F in einem Straßenzug ergibt sich entsprechend dem Konzeptansatz aus dem längengewichteten Mittel der Fahrgeschwindigkeiten auf den einzelnen Streckenabschnitten $V_{F,S,i}$ und in den jeweiligen Einflussbereichen der Knotenpunkte $V_{F,KE,i}$ (vgl. Gleichung 10 in Kapitel 3.2.2). Diese erreichbare Fahrgeschwindigkeit V_F ist nach Tabelle 8 (vgl. Kapitel 3.2.1) in eine Verbindungsqualitätsstufe einzuordnen und mit der angestrebten Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ nach den RIN (2008) zu vergleichen.

Voraussetzung ist, dass die aus der einzelanlagenbezogenen Betrachtung ermittelte Fahrgeschwindigkeit V_F auch der mittleren Fahrgeschwindigkeit V_F des durchgehenden Verkehrs im Straßenzug der Länge L_{HS} entspricht bzw. diese mit einer ausreichenden Genauigkeit repräsentiert. Vor diesem Hintergrund wurde überprüft, ob und inwieweit die Fahrtzeit t_F des „Durchgangsverkehrs“ und die aus den Fahrtzeiten $t_{F,S}$ bzw. $t_{F,KE}$ aller Kraftfahrzeuge auf/an den Einzelanlagen resultierende $\sum t_{F,i}$ voneinander abweichen. Diese Betrachtungen erfolgten für Fahrtzeiten t_F bzw. $\sum t_{F,i}$ bis maximal 15 Minuten (= 900 s), da sich hierbei auf dem längsten betrachteten Straßenzug, der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach, eine Fahrgeschwindigkeit V_F von mindestens 15 km/h ergibt, was der Verbindungsqualitätsstufe F entspricht (vgl. Tabelle 8 in Kapitel 3.2.1).

Die Überprüfung zeigt, dass die $\sum t_{F,i}$ der einzelanlagenbezogenen Fahrtzeiten $t_{F,S}$ und $t_{F,KE}$ aller Kraftfahrzeuge und die mittlere Fahrtzeit t_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs – unabhängig von den Durchgangsverkehrsanteilen n'_{qD} (vgl. Tabelle 20), die sich aus der zu Grunde gelegten F_{ij}-Matrix für die jeweilige Spitzenstunde ergeben – nur geringfügig voneinander abweichen (siehe Beispiel in Bild 54). Ausgenommen davon ist die Grafenberger Allee in Düsseldorf (Bild 55): Mit zunehmenden Fahrtzeiten $\sum t_{F,i}$, die im Wesentlichen bei höheren Verkehrsstärken q entstehen, wird hier demgegenüber die Fahrtzeit t_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs geringer. Inwieweit sich dies mit der Koordinierung bzw. der dann für den Kraftfahrzeugverkehr im Straßenzug positiven Wirkung der Priorisierungsmaßnahmen für die Stadt-/Straßenbahn oder dem Durchgangsverkehrsanteil n'_{qD} erklären lässt, ist durch weitere Sensitivitätsprüfungen zu eruieren.

In den anderen untersuchten Straßenzügen entspricht die aus den einzelnen Fahrtzeiten $t_{F,S}$ und $t_{F,KE}$ aller Kraftfahrzeuge ermittelte Fahrgeschwin-

Fallbeispiel	Fahrtrichtung	n'_{qD} [%]
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadteinwärts	11,3
Grevenbroicher Straße (M'gladbach)	stadtauswärts	8,0
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadteinwärts	10,8
Derendorfer Straße (Düsseldorf)	stadtauswärts	5,9
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadteinwärts	21,8
Grafenberger Allee (Düsseldorf)	stadtauswärts	22,9
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadteinwärts	44,4
Detmolder Straße (Bielefeld)	stadtauswärts	28,6

Tab. 20: Anteil n'_{qD} des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs in den Straßenzügen

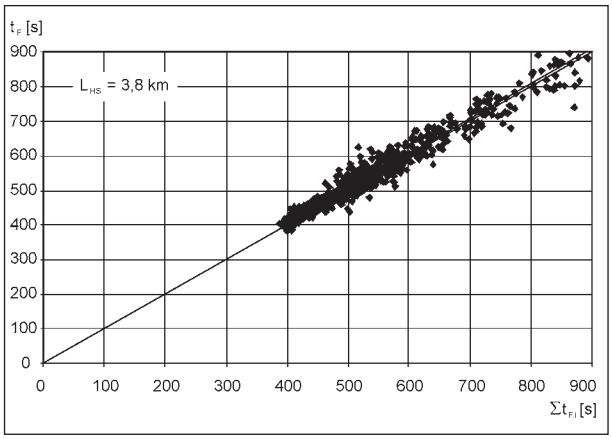


Bild 54: Vergleich der aus den Fahrtzeiten $t_{F,S}$ und $t_{F,KE}$ aller Kraftfahrzeuge auf/an den Einzelanlagen resultierenden $\sum t_{F,i}$ und der mittleren Fahrtzeit t_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs auf der Grevenbroicher Straße in Mönchengladbach

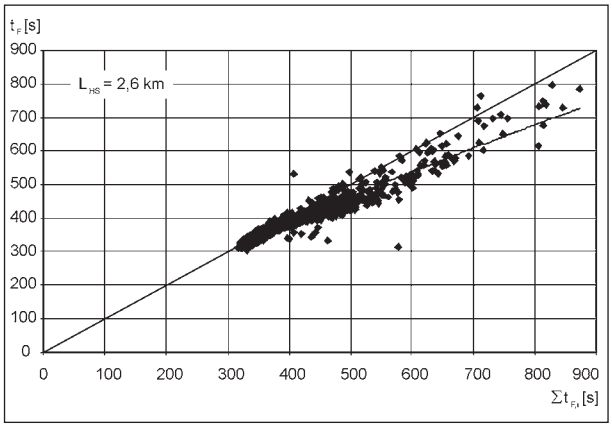


Bild 55: Vergleich der aus den Fahrtzeiten $t_{F,S}$ und $t_{F,KE}$ aller Kraftfahrzeuge auf/an den Einzelanlagen resultierenden $\sum t_{F,i}$ und der mittleren Fahrtzeit t_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs auf der Grafenberger Allee in Düsseldorf

digkeit V_F der mittleren Fahrgeschwindigkeit $V_{F,qD}$ des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs. Dies gilt jeweils für beide, getrennt zu betrachtende Fahrtrichtungen. Der gewählte Konzeptansatz, aus den Fahrtzeiten $t_{F,S}$ und $t_{F,KE}$ bzw. den sich hieraus ergebenden $V_{F,S}$ und $V_{F,KE}$ die Fahrgeschwindigkeit V_F für die Bewertung der Verbindungsqualität eines Straßenzugs zu ermitteln, ist somit in seinem Grundsatz bestätigt.

8.3.4 Überschlägige q-V_F-Beziehungen für Straßenzüge

Auf Basis der Fahrgeschwindigkeit $V_{F,qD}$ des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs können prinzipiell auch überschlägige q-V_F-Beziehungen für Hauptverkehrsstraßenzüge abgeleitet werden. Der im vorangegangenen Kapitel 8.3.3 aufgezeigte bestehende Zusammenhang zwischen der aus einer differenzierten Einzelbetrachtung von Strecken und Knotenpunkten ermittelten Fahrgeschwindigkeit V_F und der $V_{F,qD}$ des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs gewährleistet, dass die jeweils erzielten Ergebnisse zu einer identischen Einstufung der Verbindungsqualität des Straßenzugs nach Tabelle 8 (vgl. Kapitel 3.2.1) führen.

In Bild 56 und Bild 57 sind beispielhafte q-V_F-Beziehungen für vierstreifige Hauptverkehrsstraßenzüge dargestellt, die verschiedene Ausprägungen der Überlagerungen von Nutzungsansprüchen aus der Verbindungs- und der Erschließungsfunktion berücksichtigen und auf den Ergebnissen der Simulationsuntersuchungen für die Grafenberger Allee (Düsseldorf) sowie die Detmolder Straße (Bielefeld) basieren.[64] Diese beiden Straßenzüge sind etwa gleich lang und verfügen beide über straßenbündige Stadt-/Straßenbahnkörper.

Die Unterschiede im Verlauf der q-V_F-Beziehungen begründen sich in den unterschiedlichen Randbedingungen. So ist auf der Grafenberger Allee die Knotenpunktdichte n'_K (bezogen auf die Anzahl der Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen) höher, darüber hinaus kommen hier noch weitere Lichtsignalanlagen an Anschlussknotenpunkten auf der Strecke hinzu. Der spezifische mittlerer Freigabezeitanteil n'_{tF} an den lichtsignalgeregelten Knotenpunkten ist zwar nahezu gleich hoch, der Durchgangsverkehrsanteil n'_{qD} ist aber auf der Grafenberger Allee nur etwa halb so hoch wie auf der Detmolder Straße, d. h., der Einfluss durch von den Mischfahrstreifen an den Knotenpunkten abbiegende Fahrzeuge wirkt hier gegebenenfalls stärker. Darüber hinaus besteht auf der Detmolder Straße eine durchgängige dynamische Straßenraumfreigabe für die Stadt-/Straßenbahn, die sich auch positiv auf den durchgehenden Kraftfahrzeugverkehr im Straßenzug auswirkt. Auf der Grafenberger Allee dagegen ist der straßenbündige Bahnkörper nicht durchgängig für Kraftfahrzeuge zur Benutzung freigegeben, sodass diesem teilweise nur ein Richtungsfahrstreifen zur Verfügung steht (vgl. Kapitel 5.1.4).

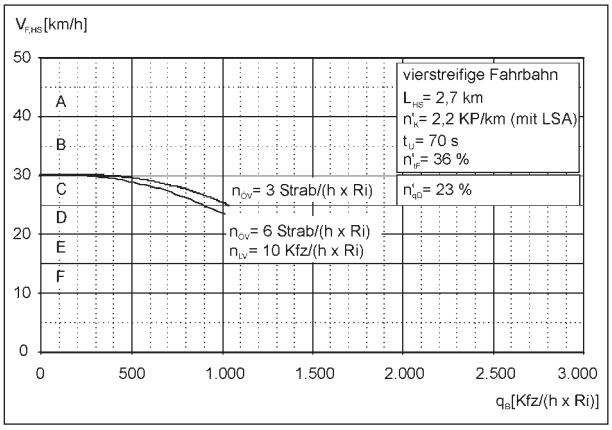


Bild 56: q-V_F-Beziehungen für vierstreifigen Hauptverkehrsstraßenzug auf Basis der mittleren Fahrtzeit t_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs auf der Grafenberger Allee in Düsseldorf (Fahrtrichtung stadtauswärts)

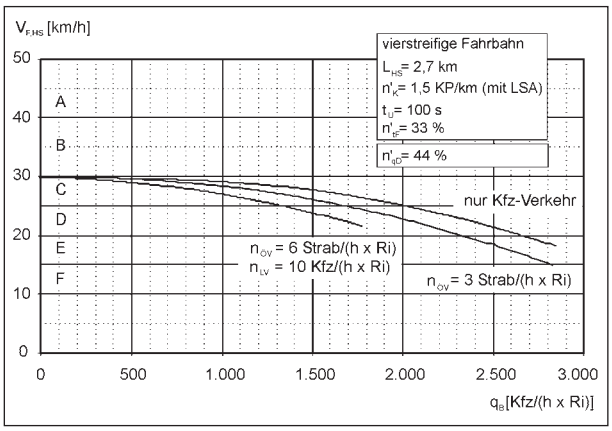


Bild 57: q-V_F-Beziehungen für vierstreifigen Hauptverkehrsstraßenzug auf Basis der mittleren Fahrtzeit t_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs auf der Detmolder Straße in Bielefeld (Fahrtrichtung stadteinwärts)

[64] Die in den Bildern 56, 57 und 58 angegebenen Bemessungsverkehrsstärken q_B repräsentieren eine mittlere richtungsbezogene Kraftfahrzeugverkehrsstärke im betrachteten Straßenzug. In einzelnen Abschnitten können die Verkehrsstärken etwa bis zu 20 % höher/niedriger sein (siehe Anhang 9).

Bild 58 zeigt q-V_F-Beziehungen für einen zweistreifigen Straßenzug bei verschiedenen spezifischen Freigabezeitanteilen n'_{tF}, die auf den Simulationsuntersuchungen für die Derendorfer Straße in Düsseldorf basieren. Auf Grund der rein innerörtlichen Verbindungsfunktion der Derendorfer Straße, bei gleichzeitig höheren (regionalen/zwischengemeindlichen) Verbindungsbedeutungen der quer dazu verlaufenden Hauptverkehrsstraßen, ist der Freigabezeitanteil n'_{tF} an den Knotenpunkten mit diesen Straßen mit nur knapp 13 % sehr gering. Im Rahmen der Simulationsuntersuchungen wurden deshalb die Auswirkungen einer modifizierten Lichtsignalsteuerung mit längeren Freigabezeiten für die Derendorfer Straße analysiert. Es zeigt sich, dass durch die Erhöhung des spezifischen Freigabezeitanteils n'_{tF} auf rund 28 % nicht nur die Kapazität des Straßenzugs, sondern auch die erreichbaren Fahrgeschwindigkeit V_F deutlich erhöht wird (siehe ebenfalls Bild 58).

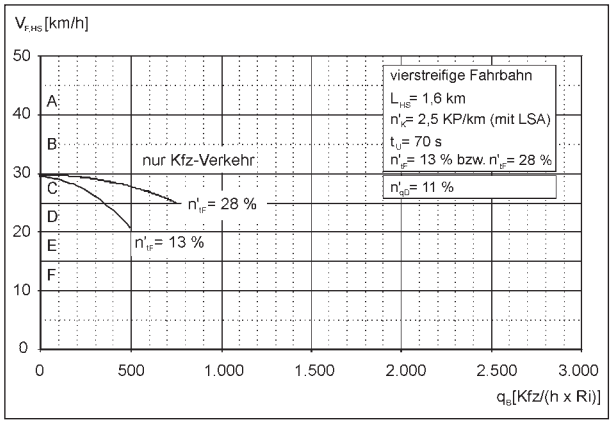


Bild 58: q-V_F-Beziehungen für zweistreifigen Hauptverkehrsstraßenzug auf Basis der mittleren Fahrtzeit t_F des durchgehenden Kraftfahrzeugverkehrs auf der Derendorer Straße in Düsseldorf (Fahrtrichtung stadteinwärts) bei verschiedenen spezifischen Freigabezeitanteilen n'_{tF}

Die ermittelten q-V_F-Beziehungen gelten jedoch jeweils nur für die untersuchten Straßenzüge bzw. solche mit (weitgehend) identischen infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen. Zur Ableitung allgemeingültiger q-V_F-Beziehungen sind noch Sensitivitätsprüfungen erforderlich. Darüber hinaus sollten weitere Simulationsuntersuchungen anhand von „Modellstrecken“ durchgeführt werden, die auch eine systematische Variation der infrastrukturellen Randbedingungen ermöglichen (siehe hierzu Kapitel 11.3).

8.4 Zusammenhang zwischen funktionaler Verkehrsqualität und Verbindungsqualität von Straßenzügen

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 an einem vereinfachten Beispiel verdeutlicht (vgl. dort Bild 3), hat die Einstufung der Verkehrsqualität der Einzelanlagen in einem Straßenzug ($QSV_{S,i}$, $QSV_{K,i}$) – und infolgedessen auch die sich hieraus ergebende Gesamtverkehrsqualität des Straßenzugs (QSV_{HS}) nach dem in Kapitel 3.1.2 und Kapitel 8.2 dargestellten Bewertungsverfahren – keinen unmittelbaren Bezug zur erreichbaren Fahrgeschwindigkeit V_F im Straßenzug. Dieser Sachverhalt wurde anhand der durchgeführten Simulationsuntersuchungen nochmals an den betrachteten Fallbeispielen überprüft.

Bild 59 zeigt den Zusammenhang zwischen der Bewertung B_{HS} – welche die Verkehrsqualitätsstufe QSV_{HS} für den Straßenzug repräsentiert – und der Fahrgeschwindigkeit V_F am Beispiel der Grafenberger Allee (Düsseldorf), Bild 60 für die Detmolder Straße (Bielefeld). Dargestellt sind jeweils das Ergebnis der längengewichteten harmonischen Mittelwertbildung für B_{HS} nach Gleichung 7 (vgl. Kapitel 3.1.2) sowie das Ergebnis bei einer zusätzlichen

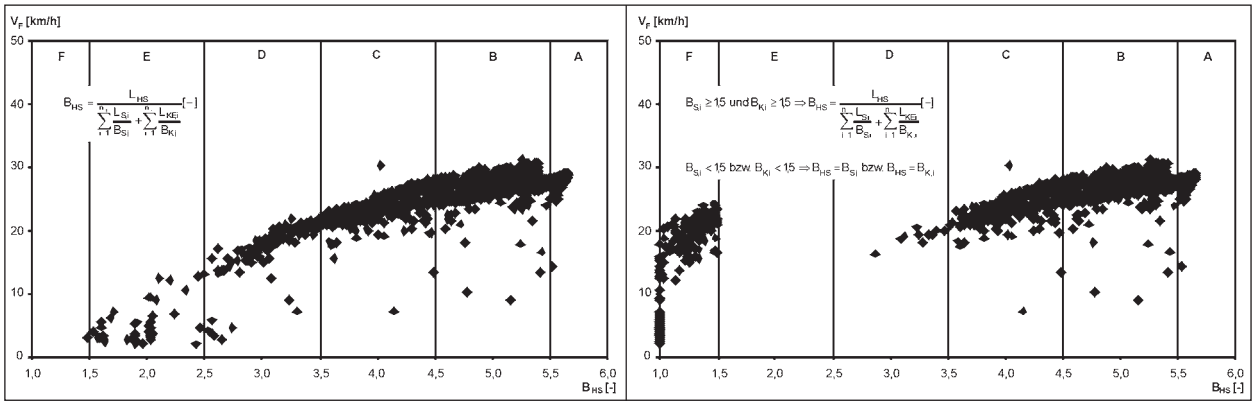


Bild 59: Zusammenhang zwischen Verkehrsqualitätsbewertung B_{HS} und mittlerer Fahrgeschwindigkeit V_F auf der Grafenberger Allee in Düsseldorf

Festlegung, den gesamten Straßenzug mit der Verkehrsqualitätsstufe F zu bewerten, wenn sich für eine Einzelanlage die Stufe F ergibt.[65]

Die Ergebnisse bestätigen, dass aus der einzelanlagenübergreifenden Verkehrsqualitätsbewertung B_{HS} nicht unmittelbar auf die erreichbare (mittlere) Fahrgeschwindigkeit V_F in einem Hauptverkehrsstraßenzug zu schließen ist. Mit zunehmender, d. h. einer besseren, Verkehrsqualitätsbewertung B_{HS} steigt zwar auch die Fahrgeschwindigkeit V_F an, jedoch nicht stetig. Über alle Bewertungen B_{HS} streuen die mittleren Fahrgeschwindigkeiten V_F in einem Spektrum von mindestens 5 km/h, meist sogar 10 km/h. Im Bereich schlechter Bewertungen B_{HS}, aus denen sich die Gesamtverkehrsqualitätsstufen E und F ergeben, kommt es sogar zu einer noch stärkeren Streuung der V_F. D. h., zwischen der funktionalen Verkehrsqualität eines Straßenzugs und dessen Verbindungsqualität besteht kein unmittelbarer Zusammenhang.

Es kann zwar davon ausgegangen werden, dass z. B. durch die Verbesserung der Verkehrsqualität an einem (oder mehreren) Knotenpunkten $QSV_{K,i}$ nicht nur eine höhere Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs QSV_{HS} erzielt wird, sondern sich auf Grund der Verringerung der Wartezeiten t_W auch die V_F im Straßenzug erhöht, aus der QSV_{HS} bzw. der B_{HS} lässt sich jedoch nicht auf die erreichbare Fahrgeschwindigkeit V_F schließen. Dies gilt unabhängig von der Art der Mittelwertbildung für die Berechnung der B_{HS}, wie die in Bild 59 und Bild 60 sowie in Anhang 10 dargestellten Zusammenhänge belegen.[66]

8.5 Anwendungsmöglichkeiten

Das entwickelte Verfahren zur übergreifenden Bewertung der funktionalen Verkehrsqualität eines Straßenzugs ist in der vorgeschlagenen Form für alle Hauptverkehrsstraßen der Kategorie C III der RAS-N (1988) bzw. der Kategorie HS III der RIN (2008) anwendbar. Voraussetzung ist eine Zerlegung des Straßenzugs in einzelne Streckenabschnitte und Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen, für die getrennte Verkehrsqualitätsbewertungen durchzuführen sind.

Wird an Einzelanlagen die Kapazität erreicht (Einordnung in die Verkehrsqualitätsstufe E) oder sind einzelne oder mehrere Anlagen überlastet (Einordnung in die Stufe F), sind Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf den Strecken und an den Knotenpunkten nicht auszuschließen (vgl. Kapitel 8.1). Infolgedessen kann die Anwendung des übergreifenden Bewertungsverfahrens eingeschränkt sein, da diese Effekte in den bisherigen Verfahren für die Verkehrsqualitätsbewertung der Einzelanlagen nicht bzw. nur unzureichend berücksichtigt werden; diesbezüglich besteht noch Untersuchungsbedarf (siehe hierzu Kapitel 11.2). Bei stabilen Verkehrszuständen an allen Einzelanlagen (Einordnung in die Verkehrsqualitätsstufen A bis D) ist die übergreifende Bewertung jedoch in der Regel uneingeschränkt möglich.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens zur Bewertung der Verbindungsqualität eines Haupt-

65 In letzterem Fall entspricht die Bewertung des Straßenzugs B_{HS} dem Wert der schlechtesten Einzelbewertung $B_{S,i} < 1{,}5$ bzw. $B_{K,i} < 1{,}5$.

66 Neben den in Bild 59 und Bild 60 dargestellten Mittelwertbildungen wurde u. a. auch die Möglichkeit einer arithmetischen Mittelwertbildung ohne Längengewichtung untersucht.

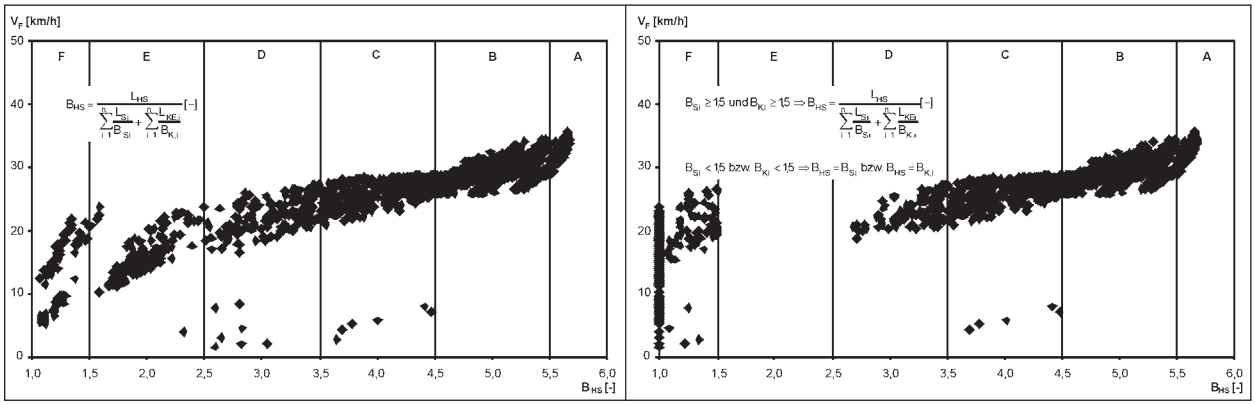


Bild 60: Zusammenhang zwischen Verkehrsqualitätsbewertung B_{HS} und mittlerer Fahrgeschwindigkeit V_F auf der Detmolder Straße in Bielefeld

verkehrsstraßenzugs auf Basis einzelanlagenbasierter Verkehrsablaufbetrachtungen dagegen sind noch eingeschränkt. Die abgeleiteten q-V_F-Beziehungen für Strecken und t_W-V_F-Beziehungen für Knotenpunkte gelten streng genommen jeweils nur für Anlagen mit entsprechenden Randbedingungen und sind deshalb nicht allgemeingültig übertragbar. In dieser Hinsicht besteht noch Untersuchungsbedarf (siehe Kapitel 11.3).

Auch die abgeleiteten q-V_F-Beziehungen für Hauptverkehrsstraßenzüge gelten jeweils nur für Straßenzüge mit entsprechenden infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen. Auch hier besteht hinsichtlich einer allgemeingültigen Übertragbarkeit noch Untersuchungsbedarf (siehe ebenfalls Kapitel 11.3).

9 Betrachtung von Netzeffekten

Die Sensitivität der Verbindungsqualität eines Straßenzugs ist von der Anzahl der Alternativrouten im Netz und dem Mehraufwand der bestmöglichen Alternativroute(n) abhängig, also der Netzqualität. Diese Netzqualität kann auch mit „Verknüpfungsqualität“ bezeichnet werden (vgl. auch Kapitel 4.2): Bei großen Maschenweiten und wenigen Verknüpfungen reagiert das Straßennetz sehr anfällig auf Veränderungen der Verbindungsqualität einzelner Straßenzüge oder Routen, ist das Netz engmaschig verknüpft, so ist es gegenüber Veränderungen eher unempfindlich.

Die Untersuchung, Quantifizierung und Bewertung von Netzeffekten und damit letztendlich Netzqualitäten erfolgten beispielhaft anhand makroskopischer Verkehrsumlegungen im Straßennetz von Mönchengladbach. Hierzu stand das im Rahmen von aktuellen Untersuchungen zum Verkehrsentwicklungsplan für die Stadt Mönchengladbach (vgl. BAIER/JACHTMANN/WARNECKE, 2007) verwendete makroskopische Verkehrssimulationsmodell (Simulationsprogramm VISUM) zur Verfügung.[67]

Zur konkreten Betrachtung eventueller Verdrängungseffekte im Netz wurde die Kraftfahrzeugverkehrsbelastung (DTV_W) zwischen dem Stadtteil Giesenkirchen und der Innenstadt auf der Route im Zuge der Grevenbroicher Straße schrittweise gegenüber dem Ist-Zustand (Analyse 2005; siehe Bild 61) erhöht. Die Verkehrsstärke auf dieser Relation von 790 Kfz/24 h (Richtung stadteinwärts) bzw. 810 Kfz/24 h (Richtung stadtauswärts) wurde in der F_{ij}-Matrix jeweils um 25 %, 50 %, 75 % und 100 % erhöht und dann erneut auf das Netz umgelegt. Im Weiteren werden die dabei festgestellten Effekte beispielhaft für die Verdopplung der Kraftfahrzeugverkehrsbelastung (Erhöhung um 100 %) aufgezeigt. Als Grundlage für die Analyse der Netzeffekte erfolgten entsprechende Linkanalysen mit Ermittlung der Verkehrsverlagerungen.

In Richtung stadteinwärts fahren von den zusätzlichen 790 Kfz/24 h lediglich 400 Kfz/24 h, also etwa 50 % der zusätzlichen Verkehrsstärke, vollständig über die Route im Zuge der Grevenbroicher Straße, 260 Kfz/24 h (rund 33 %) nutzen eine parallel dazu verlaufende Hauptverkehrsstraße mit rein innerörtlicher Verbindungsfunktion (vgl. Bild 62). In Richtung stadtauswärts fahren maximal bis zu 360 Kfz/24 h (etwa 44 %) von den zusätzlichen 810 Kfz/24 h vollständig über die Grevenbroicher Straße (vgl. Bild 63). Auch hier weichen mit 290 Kfz/24 h bis 310 Kfz/24 h rund 36 % bis 38 % – zumindest abschnittsweise – auf die parallele Hauptverkehrsstraße mit innerörtlicher Verbindungsfunktion aus. In beiden Fahrtrichtungen nutzt jeweils ein nicht unerheblicher Teil des zusätzlichen Verkehrsaufkommens andere Routen, d. h., die Route im Verlauf der Grevenbroicher Straße wird vermieden. Hierdurch ergeben sich Verlagerungen in anderen Bereichen des Netzes, die in Bild 62 und Bild 63 nicht dargestellt sind. Die festgestellten Verdrängungseffekte treten auf Grund des linearen Straßennetzes in Mönchengladbach auf, da sich hier der Mehraufwand zur Nutzung der Alternativrouten in Grenzen hält.

Diese beispielhafte Betrachtung von Netzeffekten verdeutlicht, dass die Netzqualität einen maßgeblichen Einfluss auf die Routenwahl und damit auch auf die sich einstellende Verkehrsstärke in einzelnen Netzabschnitten hat. Die für die Bestimmung der Verkehrsqualitäten von Einzelanlagen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ sowie für die Verbindungsqualität VQS_{HS} eines solchen Netzabschnitts zu Grunde zu legende Bemessungsverkehrsstärke $q_{B,HS}$ im Straßenzug ist deshalb stets unter Berücksichtigung des Netzzusammenhangs durch Umlegungen mit einem makroskopischen Verkehrsmodell zu ermitteln. In Bild 64 ist die empfohlene Vorgehensweise zur Ermittlung der Verkehrs- und

[67] Für die Straßennetze von Düsseldorf und Bielefeld waren für die Untersuchungen im Forschungsvorhaben keine makroskopischen Verkehrssimulationsmodelle verfügbar.

Bild 61: Kraftfahrzeugverkehrsbelastungen (DTV_W) im Straßennetz von Mönchengladbach (BAIER/JACHTMANN/WARNECKE, 2007)

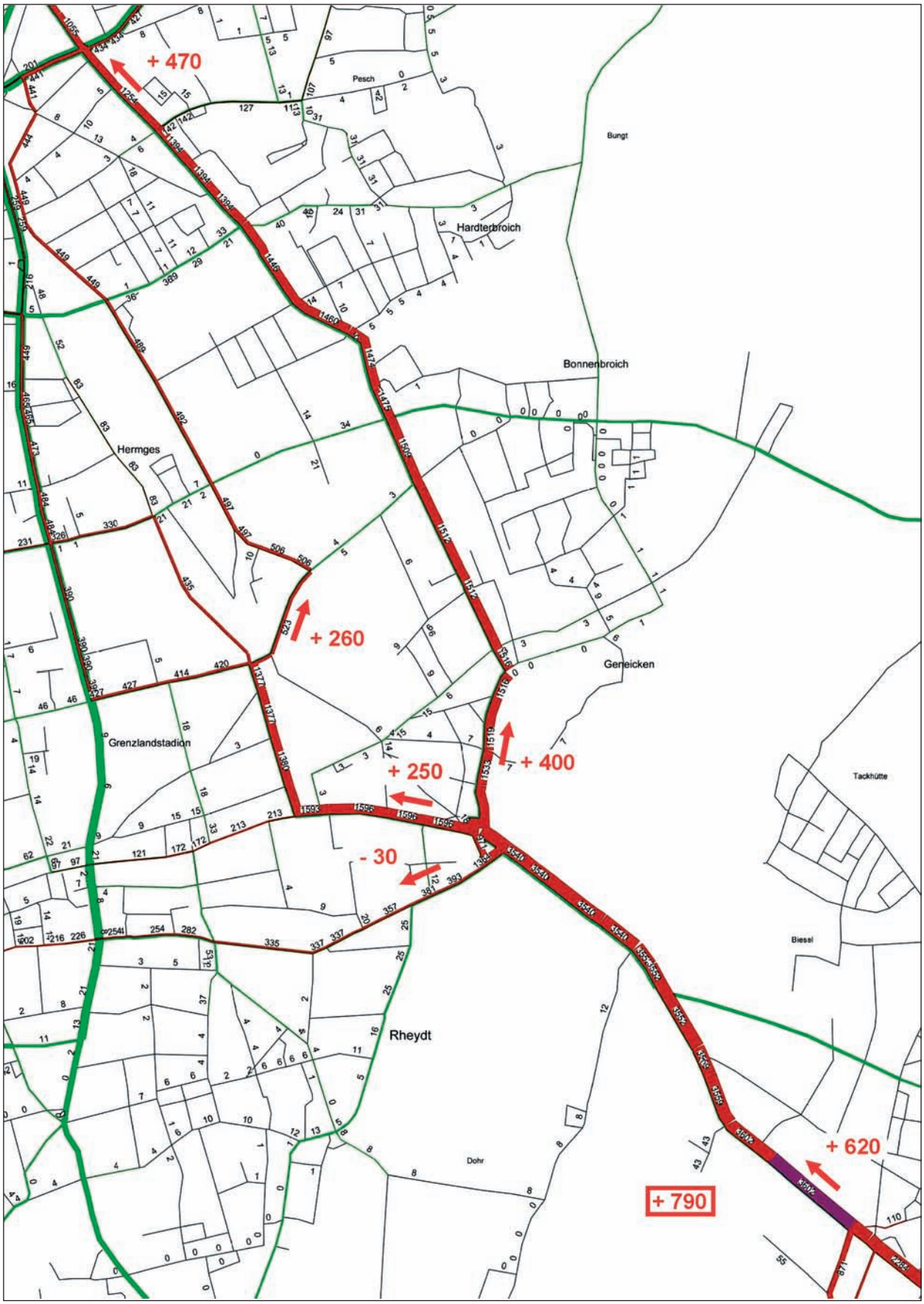


Bild 62: Verteilung der erhöhten Kraftfahrzeugverkehrsbelastung (DTV_W) auf der Relation Giesenkirchen – Innenstadt im Straßennetz von Mönchengladbach (Richtung stadteinwärts)

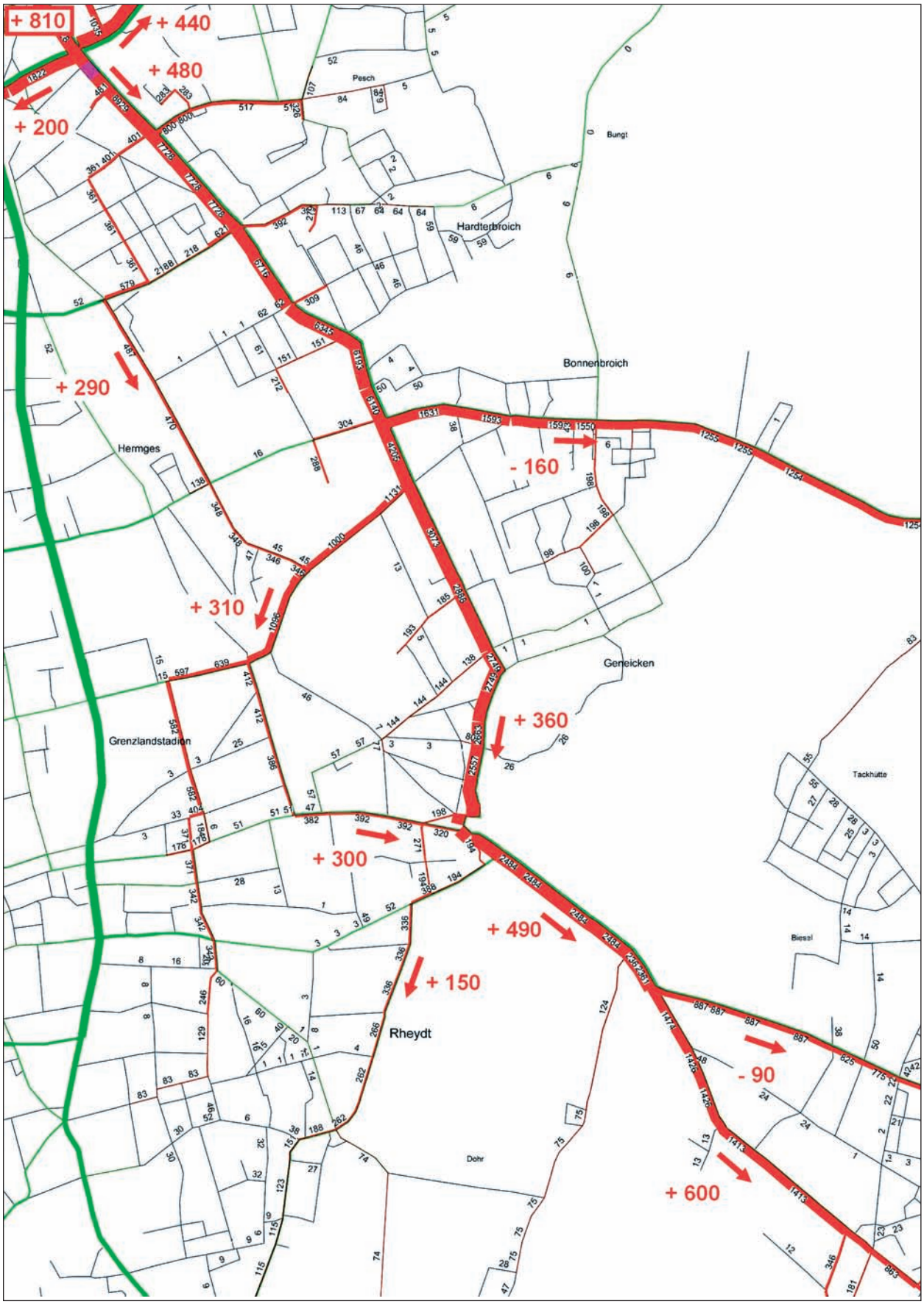


Bild 63: Verteilung der erhöhten Kraftfahrzeugverkehrsbelastung (DTV_W) auf der Relation Innenstadt – Giesenkirchen im Straßennetz von Mönchengladbach (Richtung stadtauswärts)

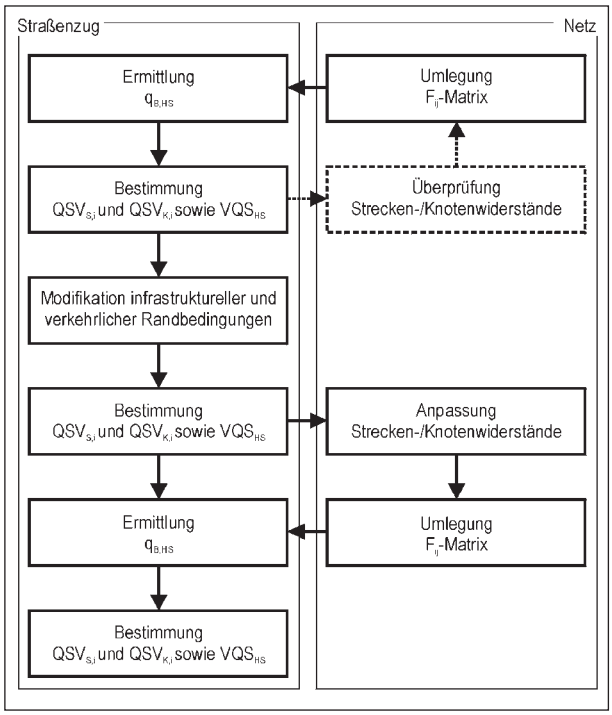


Bild 64: Ermittlung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen unter Berücksichtigung von Netzeffekten

Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßenzügen unter Berücksichtigung von Netzeffekten dargestellt.

Die nur am Beispiel des Straßennetzes von Mönchengladbach mögliche Betrachtung von Netzeffekten reicht jedoch nicht aus, um Ansätze zur Bewertung von Netzqualitäten in Abhängigkeit der Verbindungsqualität einzelner Straßenzüge abzuleiten. Hier besteht noch weiterer Untersuchungsbedarf (siehe Kapitel 11.4).

10 Verknüpfung mit der verbindungsbezogenen Angebotsqualität in Straßennetzen

Die aus dem ROG abgeleiteten Zeitvorgaben für die Erreichbarkeit zentraler Orte von den Wohnstandorten aus soll die flächendeckende Versorgung der Bevölkerung mit zentralen Einrichtungen sichergestellt werden. Insofern kommt der Bewertung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität in Straßennetzen eine hohe Bedeutung zu; dies gilt auch für (rein innerörtliche) Hauptverkehrsstraßennetze. Zur Bewertung der Angebotsqualität einer Relation in einem Netz werden nach den RIN (2008) die Luftliniengeschwindigkeit V_L (Beurteilung des Zeitaufwands) sowie der Umwegfaktor f_U (Beurteilung der Direktheit) als verbindungsbezogene Kriterien herangezogen (vgl. Kapitel 2.1.3, dort insbesondere Gleichungen 1 und 2).

Beide Bewertungsgrößen sind nach sechs Stufen der Angebotsqualität (kurz: SAQ) zu klassifizieren. Die RIN (2008) geben für diese jedoch keine konkreten Grenzwerte zur Einstufung der V_L oder des f_U vor, sondern nur anhand ausgewählter Verbindungen beispielhaft ermittelte Orientierungswerte (vgl. ebenfalls Kapitel 2.1.3).

Im RIN-Entwurf (2007) dagegen waren noch konkrete Qualitätsstufenvorgaben enthalten. Deren Grenzwerte wurden, ebenso wie die in den RIN (2008) angegebenen Orientierungswerte, im Rahmen des Forschungsvorhabens im Hinblick auf ihre Eignung zur Beurteilung innerörtlicher Relationen überprüft.

Die Ergebnisse dieser Überprüfung sind in Kapitel 10.2 dargestellt. Vorab wird in Kapitel 10.1 der für die Betrachtung innerörtlicher Netze relevante Entfernungsbereich festgelegt.

10.1 Festlegung des relevanten Entfernungsbereichs

Für die Betrachtung des Zusammenhangs zwischen der Verbindungsqualität einzelner Straßenzüge und der Angebotsqualität von Relationen im Netz ist zunächst der relevante Entfernungsbereich für die hier betrachteten innerörtlichen Verbindungen festzulegen. Nach den RIN (2008) ist eine Qualitätsbewertung der Luftliniengeschwindigkeit V_L nur für Luftlinienentfernungen L_L über 5 km möglich (siehe auch Kapitel 10.1.2). Hierdurch ist die Anwendung für rein innerörtliche Netze eingeschränkt, wie die Überprüfung anhand der Stadtflächen aller kreisfreien Städte mit mehr als 100.000 Einwohner in Bild 65 zeigt (siehe hierzu auch Anhang 11).

Als Bezugsgrößen zur Abschätzung der möglichen Entfernungsbereiche in diesen Städten wurden die Kreisflächen mit R = 5 km (F_{Kreis} = 78,54 km^2), R = 10 km (F_{Kreis} = 314,16 km^2) sowie R = 15 km (F_{Kreis} = 706,86 km^2) herangezogen. Im Idealfall einer konzentrisch entwickelten Stadt entspricht dieser Radius R der Luftlinienentfernung L_L zwischen den äußeren Wohngebieten und dem (mittig gelegenen) Zentrum. Da sich selbst Städte mit Radial-Ring-

Netzen nur selten konzentrisch entwickelt haben (z. B. auf Grund topografischer Randbedingungen), ist davon auszugehen, dass die tatsächlichen Luftlinienentfernungen L_L zwischen den Wohngebieten und dem Zentrum nicht zwingend dem Radius R eines Kreises entsprechen. Für die Abschätzung möglicher innerörtlicher Entfernungsbereiche erscheint der gewählte Überprüfungsansatz dennoch ausreichend.

Sieben der insgesamt 72 kreisfreien Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern haben eine Stadtfläche, die kleiner ist als die Fläche eines Kreises F_{Kreis} mit einem Radius von R = 5 km. Nur fünf Städte (Berlin, Hamburg, Köln, Dresden und Bremen) haben eine Fläche, die größer ist als die Fläche eines Kreises F_{Kreis} mit R = 10 km. München beispielsweise, mit 1,2 Mio. Einwohnern die viertgrößte Stadt Deutschlands, hat eine Fläche, die knapp unterhalb einer Kreisfläche F_{Kreis} mit einem Radius von R = 10 km liegt.

Diese Abschätzung verdeutlicht einerseits, dass eine Bewertung der Angebotsqualität innerörtlicher Straßennetze nach den RIN (2008) nur auf eine bestimmte Anzahl von Großstädten begrenzt ist und dort auch nicht unbedingt für alle Relationen zwischen den Wohngebieten und dem Zentrum, da die Betrachtung von Luftlinienentfernungen L_L unterhalb von 5 km ja nach den RIN (2008) nicht möglich ist. Andererseits zeigt sich aber auch, dass der relevante Entfernungsbereich bei rein innerörtlichen Betrachtungen nur in wenigen Einzelfällen über 10 km liegt.

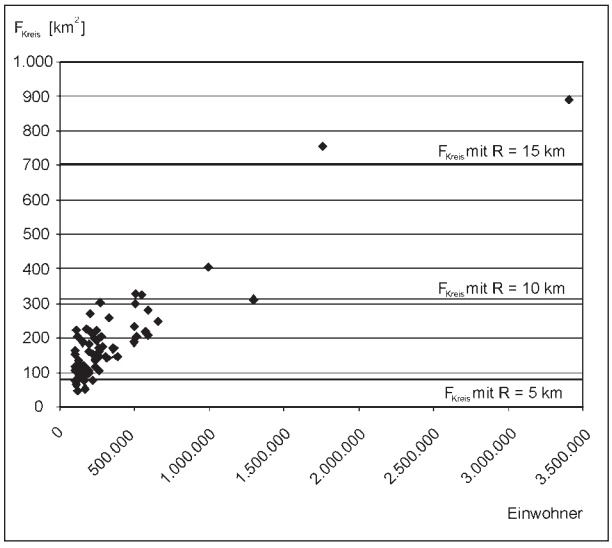


Bild 65: Fläche und Einwohneranzahl kreisfreier Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern

Dies bestätigen auch die zusätzlich durchgeführten Betrachtungen für die vier Städte (Mönchengladbach, Köln, Düsseldorf und Bielefeld), in denen die untersuchten Hauptverkehrsstraßenzüge liegen (vgl. Kapitel 5.1). Hier wurden ebenfalls Luftlinienradien von R = 5 km, R = 10 km und R = 15 km um das jeweilige Zentrum betrachtet (siehe Bilder 66 bis 69). Hierbei zeigt sich, dass bei diesen Städten nicht alle Stadtteile innerhalb des Luftlinienradius von R = 10 km liegen, im Allgemeinen aber innerhalb eines Radius von R = 15 km. Vor diesem Hintergrund werden im Weiteren Luftlinienentfernungen L_L bis 15 km betrachtet.

Die detailliertere Betrachtung der städtebaulichen Strukturen und der Netzstrukturen dieser vier Städte innerhalb des Luftlinienradius von R = 15 km zeigt darüber hinaus, dass die hierin liegenden Straßennetze bereits über nicht unerhebliche Anteile von anbaufreien Straßen (Kategoriengruppe VS) und von Autobahnen (Kategoriengruppe AS) verfügen. Die weiteren Betrachtungen sind deshalb auf das gesamte übergeordnete Straßennetz (= Hauptnetz) und nicht nur auf Straßen der Kategoriengruppe HS zu beziehen.

Bild 66: Luftlinienradien um das Zentrum von Mönchengladbach

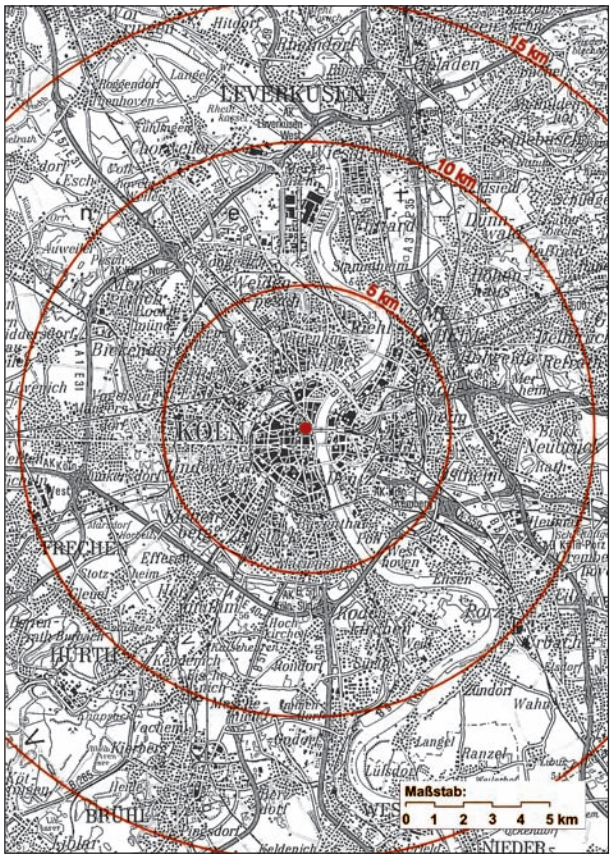


Bild 67: Luftlinienradien um das Zentrum von Köln

Bild 68: Luftlinienradien um das Zentrum von Düsseldorf

Bild 69: Luftlinienradien um das Zentrum von Bielefeld

10.2 Überprüfung der Stufen der Angebotsqualität

Aus der Analyse der verbindungsbezogenen Angebotsqualitäten lassen sich Ergänzungs-, Ausbau- und Umbaukonzepte für bestehende Straßennetze ableiten. Zugleich sollen die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ (für Hauptverkehrsstraßen vgl. Tabelle 1 in Kapitel 2.1.2) als Zielvorgaben für die verkehrstechnische Bemessung der Straßenverkehrsanlagen dienen.

In den RIN (2008) wird demnach ein Zusammenhang zwischen der Qualität des Verkehrsablaufs auf/an den einzelnen Strecken $QSV_{S,i}$ und Knotenpunkten $QSV_{K,i}$ und der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit V_F auf den Netzabschnitten – und infolgedessen auch mit der Angebotsqualität im Straßennetz – vorausgesetzt. Die in Kapitel 8.4 dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch, dass zwischen der Verkehrsqualität der Einzelanlagen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ bzw. der hieraus resultierenden Gesamtverkehrsqualität eines Straßenzugs QSV_{HS} und der Fahrgeschwindigkeit V_F im Straßenzug kein unmittelbarer Zusammenhang besteht. Insofern kann auch kein unmittelbarer Zusammenhang

zwischen den Verkehrsqualitäten auf/an den Einzelanlagen und der Angebotsqualität im Straßennetz bestehen.[68] Zu klären bleibt somit, welcher Zusammenhang zwischen der V_F auf den einzelnen Netzabschnitten – also der Verbindungsqualität der Straßenzüge – und der verbindungsbezogenen Angebotsqualität einer Relation besteht.

10.2.1 Ermittlung der erforderlichen Fahrgeschwindigkeit im übergeordneten Straßennetz

Die zeitaufwandsbezogene Bewertungsgröße der Angebotsqualität in einem Netz ist die Luftliniengeschwindigkeit V_L, die sich aus der auf die Luftlinienentfernung L_L einer Relation bezogenen Reisezeit t_R ergibt (vgl. Kapitel 2.1.3). Zur Überprüfung, welcher Zusammenhang zwischen der Verbindungsqualität der einzelnen Netzabschnitte und der verbindungsbezogenen Angebotsqualität einer Relation im Netz besteht, wurde die erforderliche Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HN}$ im übergeordneten Straßennetz zur Einhaltung der im RIN-Entwurf (2007) vorgegebenen Angebotsqualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit V_L ermittelt.

Ausgehend von Gleichung 1 (vgl. Kapitel 2.1.3) und den in Bild 70 angegebenen Angebotsqualitätsstufen der Luftliniengeschwindigkeit V_L ergeben sich die in Bild 71 dargestellten Grenzkurven für die Reisezeit t_R.[69] Diese Reisezeit t_R beinhaltet die gesamte Fahrtzeit t_F über den Weg der Länge L_R (Fahrtzeit im Erschließungsstraßennetz $t_{F,ES}$ und Fahrtzeit im Hauptnetz $t_{F,HN}$) zuzüglich der Zu- und Abgangszeiten t_{Zu} und t_{Ab} sowie eventueller Parksuchzeiten t_{PS} (vgl. Kapitel 2.1.3).

Auf einer Relation zwischen einem Wohngebiet und dem Kernbereich eines Oberzentrums ergibt sich für die Zu-/Abgangszeiten t_{Zu} und t_{Ab} sowie die Parksuchzeiten t_{PS} ein Zeitaufwand von mindestens 5,5 min; bei hohem Parkdruck erhöht sich dieser um 2,0 min (siehe Tabelle 21). Die Fahrtzeit im Erschließungsstraßennetz $t_{F,ES}$ ist vor allem von der Größe des Quell- und des Zielgebiets sowie deren Anbindung an das übergeordneten Straßennetz, die sich aus der Anzahl der Anschlussknotenpunkte ergibt, abhängig (siehe hierzu auch Anhang 12). Sowohl im Quell- als auch im Zielgebiet ist für die Fahrtzeit im Erschließungsstraßennetz $t_{F,ES,Q}$ bzw. $t_{F,ES,Z}$ von jeweils 1,0 min auszugehen. Somit ergibt sich eine gesamte Anbindungszeit von (mindestens) 7,5 min.

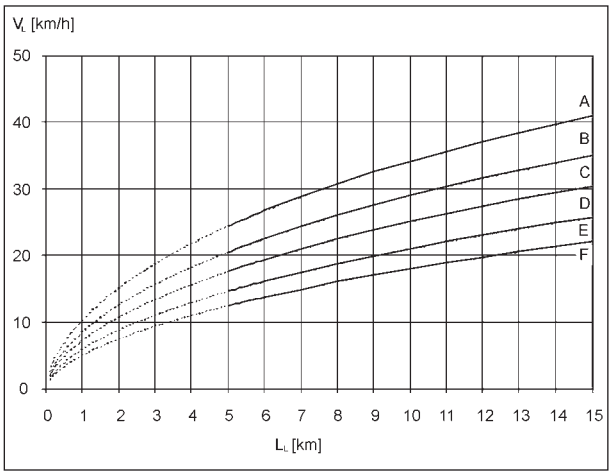


Bild 70: Grenzwerte der Stufen der Angebotsqualität A bis F der Luftliniengeschwindigkeit V_L im Pkw-Verkehr für Luftlinienentfernungen L_L bis 15 km gemäß dem RIN-Entwurf (2007)

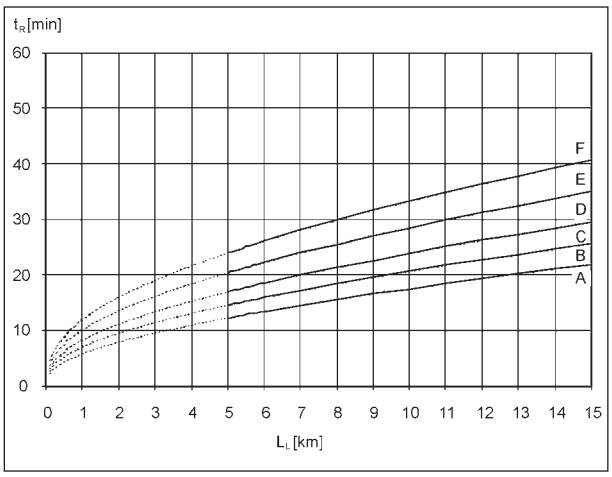


Bild 71: Grenzwerte der Stufen der Angebotsqualität A bis F der Reisezeit t_R im Pkw-Verkehr für Luftlinienentfernungen L_L bis 15 km gemäß dem RIN-Entwurf (2007)

---

68 FRIEDRICH/FRIEDRICH/PRIEMER (2006) kommen zwar auf Basis der Betrachtungen von FRIEDRICH/PRIEMER (2007) für Relationen zwischen verschiedenen Zentren zu dem Schluss, dass ein entsprechender Zusammenhang besteht, der von ihnen dargestellte Zusammenhang ist jedoch auf Grund der gegebenen bzw. angenommenen Randbedingungen kritisch zu hinterfragen, da hierbei u. a. die Verkehrsqualitätsstufen an plangleichen Knotenpunkten mit/ohne Lichtsignalanlage auf Basis gemessener Zeitverluste einzelner Fahrzeuge (aus Messfahrten) und nicht anhand berechneter Wartezeiten t_W für eine Bemessungsverkehrsstärke q_B ermittelt wurden.

69 Die im RIN-Entwurf (2007) sowie in den RIN (2008) angegebenen Grenzkurven der einzelnen Qualitätsstufen für die Luftliniengeschwindigkeit V_L basieren auf Pkw-Reisezeiten, die für eine Anzahl von knapp 10.000 Relationen mit Verkehrsmodellen ermittelt wurden; vgl. hierzu FRIEDRICH (2005) sowie die Erläuterungen im Anhang der RIN (2008).

Gebietscharakteristik	t_{Zu} bzw. t_{Ab} [min]	t_{PS} [min]	
		bei normalem Parkdruck	bei hohem Parkdruck
Kernbereich in Oberzentrum	2,5	2,0	4,0
Kernbereich in Mittelzentrum	2,0	1,0	3,0
Kernbereich in Unterzentrum	1,0	1,0	2,0
Innenstadtrandbereich in Oberzentrum	2,0	2,0	4,0
sonstige Gebiete	1,0	–	–

Tab. 21: Zu-/Abgangszeit t_{Zu} und t_{Ab} sowie Parksuchzeit t_{PS} im Pkw-Verkehr nach den RIN (2008)

Hieraus lässt sich die verfügbare Fahrtzeit $t_{F,HN}$ im übergeordneten Straßennetz ermitteln, die zum Erreichen der Angebotsqualitätsstufe einer betrachteten Relation eingehalten werden muss (Gleichung 18):

$$t_{F,HN} = T_r - (t_{Zu} - t_{F,ES} - t_{PS} - t_{AB}) \text{ [min]} \quad \text{Gl. 18}$$

mit

$t_{F,HN}$ Fahrtzeit im übergeordneten Straßennetz [min]

t_R Reisezeit [min]

t_{Zu} Zugangszeit [min]

$t_{F,ES}$ Fahrtzeit im Erschließungsstraßenetz [min]

t_{PS} Parksuchzeit [min]

t_{Ab} Abgangszeit [min]

Aus der $t_{F,HNS}$ lässt sich die erforderliche Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HN}$ ableiten, die im Zuge einer Route auf den Netzabschnitten im übergeordneten Straßennetz insgesamt, also im Mittel, gefahren werden muss, um die jeweiligen Stufen der Angebotsqualität der Luftliniengeschwindigkeit V_L zu erreichen. Da sich die V_L auf die Luftlinienentfernung L_L einer Relation bezieht, ist die $V_{F,HN}$ ebenfalls auf diese zu beziehen, d. h., der jeweilige Umwegfaktor f_U (vgl. Gleichung 2 in Kapitel 2.1.3) ist zu berücksichtigen. Die erforderliche Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HN}$ ergibt sich aus Gleichung 19

$$V_{F,HN} = \frac{L_{F,HN}}{t_{F,HN}} \cdot 60 \text{ [km/h]} \quad \text{Gl. 19}$$

mit

$V_{F,HN}$ Fahrgeschwindigkeit im übergeordneten Straßennetz [km/h]

$L_{F,HN}$ Länge des Fahrwegs im übergeordneten Straßennetz [km]

$t_{F,HN}$ Fahrtzeit im übergeordneten Straßennetz [min]

mit Gleichung 20

$$L_{F,HN} = L_R - (L_{F,ES,Q} + L_{F,ES,Z}) \text{ [km]} \quad \text{Gl. 20}$$

mit

$L_{F,HN}$ Länge des Fahrwegs im übergeordneten Straßennetz [km]

L_R Länge der Route zwischen Quelle und Ziel [km]

$L_{F,ES,Q}$ Länge des Fahrwegs im Erschließungsstraßennetz im Quellgebiet [km]

$L_{F,ES,Z}$ Länge des Fahrwegs im Erschließungsstraßennetz im Zielgebiet [km]

und den Gleichungen 1 und 2 (vgl. Kapitel 2.1.3) sowie Gleichung 18 zu (Gleichung 21):

$$V_{F,HN} = \frac{f_U \cdot L_L - (L_{F,ES,Q} + L_{F,ES,Z})}{\frac{L_L}{V_L} \cdot 60 - (t_{Zu} + t_{F,ES,Q} + t_{F,ES,Z} + t_{PS} + t_{Ab})} \cdot 60 \text{ [km/h]} \quad \text{Gl. 21}$$

mit

$V_{F,HN}$ Fahrgeschwindigkeit im übergeordneten Straßennetz [km/h]

f_U Umwegfaktor [-]

L_L Luftlinienentfernung zwischen Quelle und Ziel [km]

$L_{F,ES,Q}$ Länge des Fahrwegs im Erschließungsstraßennetz im Quellgebiet [km]

$L_{F,ES,Z}$ Länge des Fahrwegs im Erschließungsstraßennetz im Zielgebiet [km]

V_L Luftliniengeschwindigkeit [km/h]

t_{Zu} Zugangszeit [min]

$t_{F,ES,Q}$ Fahrtzeit im Erschließungsstraßenetz im Quellgebiet [min]

$t_{F,ES,Z}$ Fahrtzeit im Erschließungsstraßenetz im Zielgebiet [min]

t_{PS} Parksuchzeit [min]

t_{Ab} Abgangszeit [min]

Bezogen auf die Luftlinienentfernung L_L ergeben sich dann unter Zugrundelegung eines – als sehr

SAQ	f_U [-] für $L_L \leq 10$ km
A	≤ 1,25
B	≤ 1,50
C	≤ 1,75
D	≤ 2,00
E	≤ 2,25
F	> 2,25

Tab. 22: Stufen der Angebotsqualität A bis F des Umwegfaktors f_U für Luftlinienentfernungen L_L bis 10 km gemäß dem RIN-Entwurf (2007)

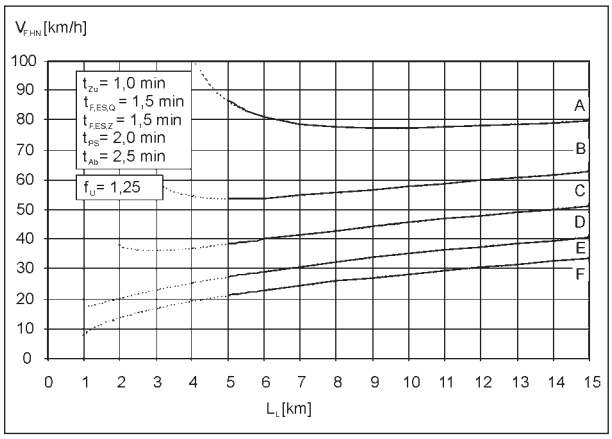


Bild 72: Erforderliche Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,HN}$ im übergeordneten Straßennetz zur Erreichung der Stufen der Angebotsqualität A bis F der Luftliniengeschwindigkeit V_L im Pkw-Verkehr für Luftlinienentfernungen L_L bis 15 km gemäß dem RIN-Entwurf (2007)

gut zu beurteilenden (vgl. Tabelle 22)[70] – Umwegfaktors f_U von 1,25 die in Bild 72 angegeben erforderlichen Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,HN}$ zur Einhaltung der im RIN-Entwurf (2007) vorgegebenen Angebotsqualitätsstufen. Bei größeren Umwegfaktoren f_U sind die erforderlichen Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,HS}$ noch höher.

Es zeigt sich, dass mit den im RIN-Entwurf (2007) für Straßen der Kategorie HS III angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ einer guten Verbindungsqualität von 30 km/h bis 40 km/h (vgl. Kapitel 3.2.1) lediglich eine Angebotsqualität im Bereich der Stufen D und E erreicht werden kann. Mit den in den RIN (2008) vorgegebenen $V_{F,Ziel}$ von 20 km/h bis 30 km/h – die als Geschwindigkeiten einer angemessenen Verbindungsqualität gelten (entspricht der Stufe C; vgl. ebenfalls Kapitel 3.2.1) – kann nur eine Angebotsqualität im Bereich der Stufen E und F erreicht werden. Zur Einhaltung der Angebotsqualitätstufe C muss bereits eine Fahrgeschwindigkeit $V_{F,HN}$ über 40 km/h erreicht werden.

Zur Betrachtung reiner Hauptverkehrsstraßennetze der Kategorie HS III sind die im RIN-Entwurf (2007) vorgegebenen Stufen der Angebotsqualität demnach ungeeignet. Wie die Betrachtungen in Kapitel 10.1.1 gezeigt haben, verfügen die Straßennetze innerhalb des innerörtlich relevanten Bereichs der Luftlinienentfernung L_L von 15 km durchaus über nicht unerhebliche Anteile von anbaufreien Straßen (Kategoriengruppe VS) und auch Autobahnen (Kategoriengruppe AS). Infolgedessen sind, auf das gesamte übergeordnete Straßennetz bezogen, höhere Fahrgeschwindigkeiten V_F zu erreichen als in reinen Hauptverkehrsstraßennetzen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit V_{zul} von (in der Regel) 50 km/h.

Unabhängig davon erscheinen die im RIN-Entwurf (2007) vorgegebenen Stufen der Angebotsqualität zur Bewertung innerörtlicher Straßennetze ungeeignet, wie die hieraus resultierende Beurteilung der Reisezeit t_R zeigt (vgl. Bild 71): Für die als Zielvorgabe der Erreichbarkeit des Kernbereichs eines Oberzentrums von den Stadt-/Ortsteilzentren bzw. Wohnstandorten aus festgelegte Reisezeit t_R von maximal 30 min ergibt sich im Entfernungsbereich zwischen 5 km und 10 km eine Einordnung in die Angebotsqualitätsstufe F bzw. E, für den Entfernungsbereich von 10 km und 15 km die Einordnung in die Stufe E bzw. D. Inwieweit in diesem Zusammenhang die aus dem ROG abgeleiteten Zeitvorgaben zu hinterfragen sind, ist gegebenenfalls zu diskutieren.

10.2.2 Betrachtung ausgewählter Innerorts-Relationen

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 10.1.2 aufgezeigten Problematik der Bewertung innerörtlicher Straßennetze anhand der im RIN-Entwurf (2007) vorgegebenen Stufen der Angebotsqualität hat BAIER (2008b) ergänzende Analysen durchgeführt. Ziel war es zu ermitteln, welche Luftliniengeschwindigkeiten V_L sich für ausgewählte Relationen unter Zugrundelegung der angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ für einzelne Netzabschnitte, die ebenfalls Zielvorgaben darstellen, ergeben.

---

[70] Im RIN-Entwurf (2007) sind für den Umwegfaktor f_U ebenfalls Grenzkurven der Qualitätsstufen A bis F in Abhängigkeit der Luftlinienentfernung L_L angegeben, die für Luftlinienentfernungen L_L bis 10 km konstant sind. Hier wurde vereinfachend auch für die betrachteten L_L bis 15 km ein konstanter Umwegfaktor f_U zu Grunde gelegt.

Diese Analysen wurden für insgesamt 131 Innerorts-Relationen sowie für 96 Regional-Relationen (MZ-OZ-Verbindungen) in/zu sechs Oberzentren durchgeführt. Neben Relationen in/zu den vier Städten (Mönchengladbach, Köln, Düsseldorf und Bielefeld), in denen die hier untersuchten Hauptverkehrsstraßenzüge liegen (vgl. Kapitel 5.1), hat BAIER (2008b) auch Relationen innerhalb von bzw. nach Aachen und Stuttgart untersucht. Im Weiteren sind jedoch ausschließlich die Ergebnisse zu den betrachteten 90 Innerorts-Relationen in Mönchengladbach, Köln, Düsseldorf und Bielefeld wiedergegeben.

Bezüglich der Struktur dieser Innerorts-Relationen zeigt sich, dass etwa 47 %, also nahezu die Hälfte aller Relationen, eine Luftlinienentfernung L_L unter 5 km aufweisen, d. h., unterhalb des Anwendungsbereichs der Angebotsqualitätsbewertung der RIN (2008) liegen. Etwa 46 % der Luftlinienentfernungen L_L liegen zwischen 5 km und 10 km und nur 8 % über 10 km (vgl. auch die Absolutwerte in Tabelle 23). Lediglich eine Relation in Köln liegt (knapp) über 15 km.

Etwa 59 % der Länge der Fahrwege auf den Routen im übergeordneten Straßennetz $L_{F,HN}$ sind angebauten Hauptverkehrsstraßen (Kategoriengruppe HS, in der Regel Kategorie HS III), 23 % anbaufreien Hauptverkehrsstraßen (Kategoriengruppe VS, im Allgemeinen Kategorie VS III) zuzuordnen (vgl. Tabelle 24). Die übrigen rund 18 % der Fahrweglängen $L_{F,HN}$ führen über Autobahnen (Kategoriengruppe AS).

Der Anteil der angebauten Hauptverkehrsstraßen (Kategoriengruppe HS) an der Fahrweglänge $L_{F,HN}$ auf den Routen im übergeordneten Straßennetz nimmt mit steigender Luftlinienentfernung L_L kontinuierlich ab, der von anbaufreien Hauptverkehrsstraßen (Kategoriengruppe VS) bis zu einer Luftlinienentfernung L_L von etwa 10 km zu. Autobahnen (Kategoriengruppe AS) sind erst ab Luftlinienentfernungen L_L von etwa 7 km Bestandteil der Fahrwege der betrachteten Innerorts-Relationen.

Die Umwegfaktoren f_U liegen im Bereich zwischen 1,04 und 2,25, wobei der mittlere Umwegfaktor f_U etwa 1,36 beträgt. Der Umwegfaktor f_U nimmt dabei mit zunehmender Luftlinienentfernung L_L tendenziell ab (Bild 73).

Für die betrachteten Relationen wurden zunächst die Fahrtzeiten $t_{F,HN}$ im übergeordneten Straßennetz ermittelt. Hierbei wurden – differenziert nach Kategoriengruppen – für die einzelnen Netzabschnitte sowohl die nach den RIN (2008) angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ als auch die jeweils zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{zul} angesetzt. In Tabelle 25 sind die zu Grunde gelegten Geschwindigkeiten für die Kategoriengruppen HS und VS angegeben.

Die Fahrtzeitermittlung erfolgte zum einen unter Zugrundelegung des jeweils unteren Werts der $V_{F,Ziel}$,

Stadt	Relationen	L_L [km]			
		Mittelwert	< 5 km	5-10 km	> 10 km
Mönchengladbach	19	5,031	11	7	1
Köln	26	6,833	10	13	3
Düsseldorf	28	5,639	14	11	3
Bielefeld	17	5,678	7	10	0
Gesamt	90	5,938	12	41	7

Tab. 23: Luftlinienentfernungen L_L der betrachteten Innerorts-Relationen

Stadt	Relationen	$L_{F,HN}$ [km]			
		Mittelwert	< 5 km	5-10 km	> 10 km
Mönchengladbach	19	110,809	65,7 %	14,6 %	19,7 %
Köln	26	205,287	52,7 %	14,2 %	33,0 %
Düsseldorf	28	216,306	54,7 %	33,9 %	11,4 %
Bielefeld	17	113,564	73,7 %	23,3 %	0,0 %
Gesamt	90	645,966	59,3 %	23,0 %	17,7 %

Tab. 24: Länge des Fahrwegs im übergeordneten Straßennetz $L_{F,HN}$ auf den Routen der betrachteten Innerorts-Relationen und Anteile nach Kategoriengruppen

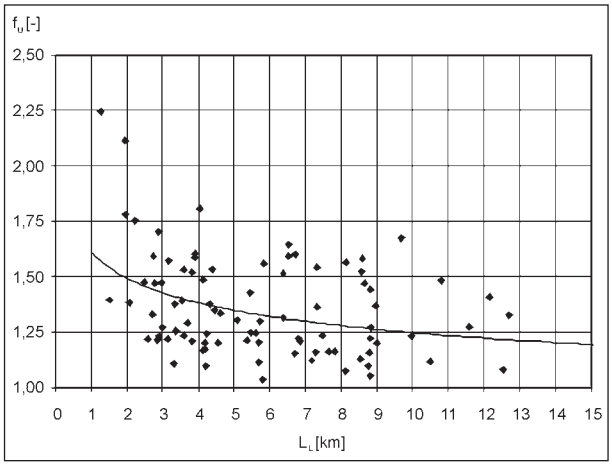


Bild 73: Umwegfaktoren f_U in Abhängigkeit der Luftlinienentfernung L_L der betrachteten 90 Innerorts-Relationen in Mönchengladbach, Köln, Düsseldorf und Bielefeld

Kategoriengruppe	$V_{F,Ziel}$ [km/h]	V_{zul} [km/h]
HS	20 – 30	50
VS	30 – 50	70

Tab. 25: Fahrgeschwindigkeiten für Netzabschnitte der Kategoriengruppen HS und VS

zum anderen für den jeweils oberen Wert der $V_{F,Ziel}$. Für Autobahnen wurden einheitlich eine Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ von 90 km/h sowie eine V_{zul} von 120 km/h zu Grunde gelegt.

Für die Ermittlung der Fahrtzeiten im Erschließungsstraßennetz $t_{F,ES}$ wurde eine mittlere Fahrgeschwindigkeit $V_{F,ES}$ von 15 km/h angesetzt. Diese $V_{F,ES}$ ergibt sich bei einer Fahrweglänge $L_{F,ES}$ von im Mittel rund 400 m aus der freien Fahrgeschwindigkeit $V_{f,ES}$ mit der in Erschließungsstraßen in der Regel gültigen V_{zul} von 30 km/h (daraus ergibt sich die $t_{f,ES}$ zu 48 s) und einer mittleren Wartezeit t_W am Anschlussknotenpunkt von 50 s, die der Qualitätsstufe C für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage gemäß dem HBS (2001/2005) entspricht.[71]

Aus den Fahrtzeiten $t_{F,HN}$ und $t_{F,ES}$ zuzüglich der Anbindungszeiten (t_{Zu}, t_{Ab}, t_{PS}) ergeben sich aus Gleichung 18 (vgl. Kapitel 10.1.2) die Reisezeit t_R für jede Relation und hieraus mit Gleichung 1 (vgl. Kapitel 2.1.3) die auf die Luftlinienentfernung L_L bezogene Luftliniengeschwindigkeit V_L.[72] Mit den – unter den vorab erläuterten Randbedingungen bzw. Annahmen – ermittelten V_L lassen sich zum einen auf die Zielvorgaben der Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ abgestimmte Grenzen für die Angebotsqualitätsstufen C bzw. D festlegen. Zum anderen können die in den bestehenden Netzen maximal erreichbaren Luftliniengeschwindigkeiten V_L ermittelt werden, die sich aus einer Fahrgeschwindigkeit V_F mit der für die einzelnen Netzabschnitte jeweils gültigen V_{zul} ergeben.

In Bild 74 sind die für die betrachteten 90 Innerorts-Relationen in Mönchengladbach, Köln, Düsseldorf

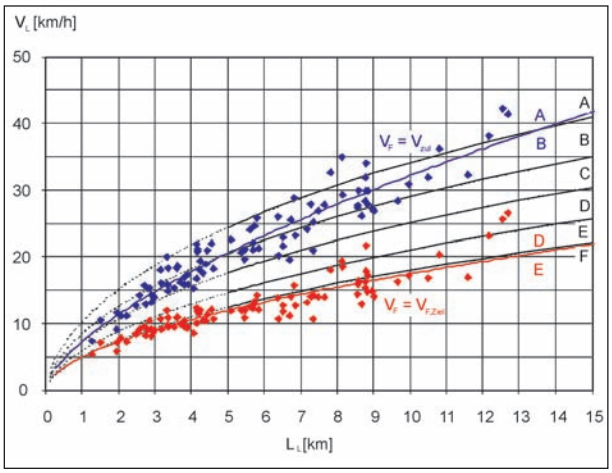


Bild 74: Luftliniengeschwindigkeiten V_L der betrachteten 90 Innerorts-Relationen in Mönchengladbach, Köln, Düsseldorf und Bielefeld für $V_F = V_{F,Ziel}$ und $V_F = V_{zul}$ sowie Grenzwerte der Stufen der Angebotsqualität A bis F der Luftliniengeschwindigkeit V_L im Pkw-Verkehr für Luftlinienentfernungen L_L bis 15 km gemäß dem RIN-Entwurf (2007)

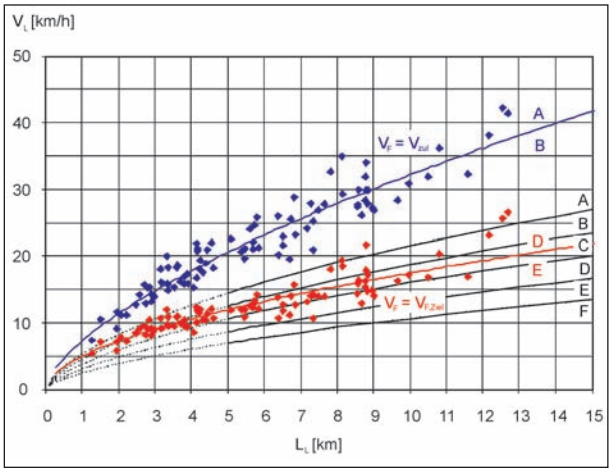


Bild 75: Luftliniengeschwindigkeiten V_L der betrachteten 90 Innerorts-Relationen in Mönchengladbach, Köln, Düsseldorf und Bielefeld für $V_F = V_{F,Ziel}$ und $V_F = V_{zul}$ sowie Orientierungswerte der Stufen der Angebotsqualität A bis F der Luftliniengeschwindigkeit V_L im Pkw-Verkehr für Luftlinienentfernungen L_L bis 15 km gemäß den RIN (2008)

und Bielefeld ermittelten Luftliniengeschwindigkeiten V_L den Grenzwerten der Angebotsqualitätsstufen aus dem RIN-Entwurf (2007) gegenübergestellt, in Bild 75 den Orientierungswerten für die Stufen der Angebotsqualität, die in den RIN (2008) angegeben sind. Es zeigt sich, dass die V_L in den bestehenden Netzen bei einer aus den $V_{F,Ziel}$ abgeleiteten Einstufung (in den Bildern 74 und 75 beispielhaft für die Stufe D dargestellt, die sich aus dem jeweils unteren Wert der $V_{F,Ziel}$ ergibt), unter den Grenzwerten der Angebotsqualitätsstufen des

[71] Eventuelle Wartezeiten t_W an Knotenpunkten im Erschließungsstraßennetz (im Allgemeinen mit der Regelungsart „rechts vor links“) werden vernachlässigt.

[72] Dabei wurden für die Zugangszeiten t_{Zu} einheitlich 1,0 min und für Abgangszeiten t_{Ab} einheitlich 2,5 min zu Grunde gelegt. Für die Parksuchzeit t_{PS} wurden 2,0 min (in Mönchengladbach und Bielefeld) bzw. 4,0 min (in Köln und Düsseldorf) angesetzt.

RIN-Entwurfs (2007), jedoch über den Orientierungswerten der RIN (2008) liegen.

Im Ergebnis bleibt somit festzuhalten, dass die Vorgaben der RIN (2008) bezüglich der angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ auf einzelnen Netzabschnitten und die, ebenfalls in den RIN (2008) als Beurteilungsgrundlage der verbindungsbezogenen Angebotsqualität im Netz angegebenen Orientierungswerte in der derzeitigen Form nicht aufeinander abgestimmt sind. Offen bleibt dabei zunächst, ob die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ plausibel sind.

Die $V_{F,Ziel}$ gelten für angemessene Verbindungsqualitäten, und zwar im Bemessungszeitraum. Somit sind diese $V_{F,Ziel}$ als diejenigen Geschwindigkeiten anzusehen, die sich bei einer Verkehrsqualität auf/an den zum betrachteten Netzabschnitt gehörenden Streckenabschnitten und Knotenpunkten im Bereich der Verkehrsqualitätsstufe D gemäß dem HBS (2001/2005) ergeben bzw. einstellen. D. h., selbst wenn sich bei der Verkehrsqualitätsbewertung für alle Streckenabschnitte und Knotenpunkte jeweils die Stufe D ergibt (geforderte Mindestqualität für Bundesfernstraßen; vgl. hierzu das ARS Nr. 10/2002), sollten die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ noch erreichbar sein.

Auch wenn die hier erzielten, in Kapitel 8.4 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass zwischen der Verkehrsqualität der Einzelanlagen ($QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i)}$ und der Fahrgeschwindigkeit V_F in einem Straßenzug kein unmittelbarer Zusammenhang besteht, erscheint dieser Ansatz für die Betrachtung von Netzabschnitten auf Grund ihrer Definition (vgl. Kapitel 3.2.1) legitim. Hiervon ausgehend hat BAIER (2008c) die in den RIN (2008) vorgegebenen $V_{F,Ziel}$ überprüft. Diese Überprüfung erfolgte auf Basis vorliegender Erkenntnisse aus aktuellen Forschungsprojekten für dessen Fortschreibung.

Für Autobahnen lässt sich festhalten, dass sich die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ für Netzabschnitte der Kategorien AS 0/I und AS II durch die neuen q-V-Beziehungen für Autobahnabschnitte, die BRILON/GEISTEFELDT (2008) ermittelt haben, im Wesentlichen bestätigen lassen. Für Netzabschnitte der Kategorie AS II ist die $V_{F,Ziel}$ von 70 km/h bis 90 km/h bei einem Auslastungsgrad im Bereich der Verkehrsqualitätsstufe D grundsätzlich erreichbar. Dies gilt auch unter Berücksichtigung möglicher Einflüsse auf den durchgehenden Verkehr auf der Hauptfahrbahn durch sich verflechtende Verkehrsströme an (hochbelasteten) Autobahnkreuzen bzw. -dreiecken sowie für Stadtautobahnen mit einer V_{zul} von 80 km/h. Die Vorgaben einer $V_{F,Ziel}$ von 100 km/h bis 120 km/h für Netzabschnitte der Kategorie AS 0/I dagegen sind bei einem Auslastungsgrad im Bereich der Verkehrsqualitätsstufe D an größeren Steigungen und bei höheren Schwerverkehrsanteilen nur schwierig zu erreichen. BAIER (2008c) regt deshalb an, hier eine Reduzierung der $V_{F,Ziel}$ auf 90 km/h bis 110 km/h in Betracht zu ziehen.

Die Vorgaben für die $V_{F,Ziel}$ auf Netzabschnitten von Landstraßen der Kategorie LS III wurden auf Grundlage der Erkenntnisse zur übergreifenden Bewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten von SCHUCKLIEß/BECHER/STEINAUER (2007) überprüft. Dabei hat sich gezeigt, dass auf von Kreisverkehren begrenzten Netzabschnitten, nach dem RAL-Entwurf (2008) der Regelfall für die Verknüpfung zweier Straßen der Kategorie LS III, bei Verkehrszuständen, die sowohl auf der Strecke als auch an den Knotenpunkten im Bereich der Verkehrsqualitätsstufen C bis D liegen, Fahrgeschwindigkeiten V_F von 60 km/h bis 70 km/h erreicht werden können. Voraussetzung ist, dass der Netzabschnitt über 3 km lang ist. Bei kürzeren Abschnitten wirkt sich der Einfluss der Knotenpunkte (Kreisverkehre) deutlich auf die erreichbaren Fahrgeschwindigkeiten V_F aus; Geschwindigkeiten von 60 km/h bis 70 km/h sind dann fast nur bei freiem Verkehr erreichbar.

Die $V_{F,Ziel}$ für Hauptverkehrsstraßen der Kategorie HS III sind plausibel und stimmen im Wesentlichen mit allen bisherigen Ansätzen für die Qualitätseinstufung von Fahrgeschwindigkeiten V_F auf Straßen mit einer V_{zul} von 50 km/h überein (vgl. Tabelle 7 in Kapitel 3.2.1). Die $V_{F,Ziel}$ von 20 km/h ist als Grenzwert für die Verbindungsqualitätsstufe D plausibel, wie das vorgeschlagene, aus der Erreichbarkeitsvorgabe einer $t_R \leq 30$ min abgeleitete, Verbindungsqualitätsstufenkonzept zeigt (vgl. Tabelle 8 in Kapitel 3.2.1).

Ausgehend von den bestätigten Geschwindigkeitsvorgaben für Netzabschnitte der Kategorien AS II (70-90 km/h), LS III (60-70 km/h) und HS III (20-30 km/h) erscheinen die in den RIN (2008) vorgegebenen $V_{F,Ziel}$ für die übrigen Landstraßenkategorien (LS I, LS II und LS IV), die anbaufreien Hauptverkehrsstraßen der Kategorien VS II und VS III sowie die angebauten Hauptverkehrsstraßen der Kategorie HS IV plausibel. Dies gilt sowohl für die Abstu-

fungen der $V_{F,Ziel}$ innerhalb der einzelnen Kategoriengruppen als auch in der Abstufung der Kategoriengruppen zueinander.

Die angestrebten Fahrgeschwindigkeiten $V_{F,Ziel}$ sind somit insgesamt als plausibel anzusehen. Infolgedessen sind jedoch die in den RIN (2008) angegebenen Orientierungswerte, die als Grundlage zur Beurteilung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität im Netz dienen sollen, kritisch zu hinterfragen. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf (siehe auch Kapitel 11.5).

11 Offene Fragen und weiterer Untersuchungsbedarf

Unabhängig von den Anwendungsmöglichkeiten der Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßenzügen (vgl. Kapitel 8.5), der empfohlenen Vorgehensweise zur Berücksichtigung von Netzeffekten (vgl. Kapitel 9) und der Überprüfung der Stufen der Angebotsqualität (vgl. Kapitel 10.2) bestehen noch verschiedene offene Fragen. Diese sowie der sich hieraus ergebende weitere Untersuchungsbedarf sind in den Kapiteln 11.1 bis 11.5 aufgezeigt.

11.1 Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren für Knotenpunkte

Die notwendige Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren für Knotenpunkte mit und ohne Lichtsignalanlage betrifft die Vereinheitlichung der Verkehrsqualitätsstufenkonzepte selbst. Die derzeitigen Verfahren des HBS (2001/2005) zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs von Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage basieren auf z. T. unterschiedlichen Ansätzen und berücksichtigen darüber hinaus neben bestimmten, für die einzelnen Knotenpunktarten spezifischen Randbedingungen (vgl. Kapitel 2.4) auch nicht alle Verkehrsarten. Somit ist eine einheitliche Bewertung nur eingeschränkt möglich.

Zwar wird als maßgebendes Kriterium der Kraftfahrzeugverkehrsqualität jeweils die mittlere Wartezeit t_W (in s) vorgegeben, die nach dem HBS (2001/2005) berechneten Wartezeiten t_W beinhalten aber unterschiedliche Zeitverlustanteile und beziehen nicht den gesamten Knotenpunkteinfluss mit ein. So werden insbesondere bei Kreisverkehren die Zeitverluste bei der Durchfahrt, die sich aus deren baulichen Dimensionen ergeben („geometrische Verlustzeit“) nicht berücksichtigt. Deshalb erscheint die Verlustzeit t_V, die alle auftretenden Zeitverluste berücksichtigt, als Qualitätskriterium für den Kraftfahrzeugverkehrsablauf geeigneter (vgl. hierzu auch BAIER/STEPHAN, 2007).

Die im HBS (2001/2005) angegebenen Grenzen der jeweiligen Qualitätsstufen basieren auf weitgehend willkürlichen Festlegungen, die nicht bzw. nur unzureichend das tatsächliche Nutzerempfinden widerspiegeln und dementsprechend schwierig nachvollziehbar und auch kaum vermittelbar sind. Auch erfolgt keine Differenzierung nach der Lage des Knotenpunkts (inner- oder außerorts). Und für die nicht-motorisierten Verkehrsarten bestehen bislang keine bzw. nur unzureichende Bewertungsgrundlagen.

Die Bewertung an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage erfolgt für jede Signalgruppe einzeln, Vorgaben für eine sich hieraus ergebende Gesamtbewertung sind im HBS (2001/2005) nicht enthalten. Bei Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage dagegen ist nach dem HBS (2001/2005) für den Kraftfahrzeugverkehr die schlechteste Bewertung für den gesamten Knotenpunkt maßgebend, was theoretisch dazu führen kann, dass ein einzelner Linksabbieger die Qualität des Knotenpunkts bestimmt. Hier sind Vorgaben zur Abwägung bzw. Gewichtung einzelner Qualitätsstufen sowohl für jede Verkehrsart selbst als auch verkehrsmittelübergreifend erforderlich.

Ziel muss es deshalb sein, die bisherigen Bewertungsgrundlagen zu ergänzen und um wesentliche, bislang nicht ausreichend berücksichtigte Aspekte zu erweitern. Hiermit wird eine einheitliche, praxisgerechte Verkehrsqualitätsbeurteilung an plangleichen Knotenpunkten geschaffen.

11.2 Berücksichtigung von Wechselwirkungen des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten und an Knotenpunkten

Die Verfahren des HBS (2001/2005) zur Verkehrsqualitätsbewertung von Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage basieren, wie auch das Verfahren für Streckenabschnitte, auf einer isolierten Betrachtung der jeweiligen Einzelanlage. Wird an Einzelanlagen die Kapazität erreicht (Einordnung in

die Verkehrsqualitätsstufe E) oder ist die Anlage überlastet (Einordnung in die Stufe F), aber auch bereits bei stabilen Zuständen (Einordnung in die Stufe D oder besser), sind Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf/an benachbarten, aneinandergrenzenden Anlagen nicht auszuschließen (vgl. Kapitel 8.1).

Diese Wechselwirkungen können dazu führen, dass sich auf den Streckenabschnitten und an den Knotenpunkten gegenüber der einzelanlagenbasierten Betrachtung veränderte Verkehrszustände einstellen, wenn die sich ergebenden tatsächlichen Kraftfahrzeugverkehrsstärken q_{tats} von der Bemessungsverkehrsstärke q_B abweichen. Dies kann dann zu veränderten Verkehrsqualitäten führen.

Derartige Wechselwirkungen können bei der Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs für die einzelnen Anlagen $QSV_{S,i}$ und $QSV_{K,i}$ bislang nicht bzw. nur unzureichend berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für mögliche Überstauungen von Nebenströmen an Knotenpunkten, die in der Regel zu einer Reduzierung des Zuflusses in den Fahrstreifen des – für die Betrachtung des Verkehrsablaufs im Straßenzug relevanten – Hauptstroms mit eventuellen Rückstauungen in den davorliegenden Streckenabschnitt führen. In diesem Zusammenhang ist auch die weitergehende Unterteilung der Verkehrsqualitätsstufe F in mehrere Überlastungsstufen, z. B. wie von BRILON/ESTEL (2007) vorgeschlagen von F1 bis F4, einzubeziehen (vgl. auch Kapitel 3.1.1). Im Hinblick auf die Anwendung der übergreifenden Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten sind deshalb Erweiterungen der Verfahren zur Verkehrsablaufbewertung auf Streckenabschnitten und an Knotenpunkten erforderlich, die eine ausreichende Berücksichtigung solcher Wechselwirkungen ermöglichen.

11.3 Konkretisierung der Geschwindigkeitsmodellierung für Strecken, Knotenpunkte und Straßenzüge

Die aus den durchgeführten Simulationsuntersuchungen abgeleiteten q-V_F-Beziehungen für Streckenabschnitte (vgl. Kapitel 8.3.1), die t_W-V_F-Beziehungen für Knotenpunkte (vgl. Kapitel 8.3.2) und die q-V_F-Beziehungen für Straßenzüge (vgl. Kapitel 8.3.4) gelten streng genommen jeweils nur für die untersuchten Anlagen bzw. Straßenverkehrsanlagen mit (weitgehend) identischen infrastrukturellen und verkehrlichen Randbedingungen. Hintergrund sind u. a. die netzspezifischen Randbedingungen der untersuchten Straßenzüge und der infolgedessen nicht auszuschließenden Wechselwirkungen zwischen dem Verkehrsablauf auf der Strecke und an den Knotenpunkten (vgl. Kapitel 8.1). Im Zusammenhang mit der notwendigen Erweiterung der bisherigen Verfahren für die Verkehrsqualitätsbewertung von Streckenabschnitten sowie Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage zur Berücksichtigung von Wechselwirkungen des Verkehrsablaufs auf/an benachbarten Anlagen (vgl. Kapitel 11.2) sind deshalb vor einer allgemeingültigen Übertragbarkeit der ermittelten Zusammenhänge noch weitere Sensitivitätsprüfungen erforderlich.

Hierauf aufbauend sollten weitere Simulationsuntersuchungen anhand von „Modellstraßenzügen“ durchgeführt werden, die neben einer variierenden Verkehrsnachfrage (Kraftfahrzeugverkehrsstärke und -zusammensetzung sowie Störeinflüsse aus der Erschließungsfunktion wie Park-, Liefer- und Ladevorgänge usw.) auch eine systematische Variation der infrastrukturellen Randbedingungen ermöglichen.

Ziel sollte es sein, q-V_F-Beziehungen für Straßenzüge zu ermitteln, die neben unterschiedlichen Fahrbahnquerschnitten eine differenzierte Berücksichtigung variierender Knotenpunktarten und vor allem -dichten n'_K sowie unterschiedlicher Ausprägungen der Überlagerungen von Verbindungs- und Erschließungsansprüchen in den dazwischenliegenden Strecken ermöglichen. Dabei sind dann auch allgemeingültige q-V_F-Beziehungen für Streckenabschnitte und t_W-V_F-Beziehungen für Knotenpunkte abzuleiten, die alle praxisrelevanten Strecken- bzw. Knotenpunktcharakteristika differenziert berücksichtigen. Hierdurch ist zu gewährleisten, dass die auf Basis einer detaillierten, einzelanlagenbezogenen Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit V_F erzielten Ergebnisse zu einer identischen Einstufung der Verbindungsqualität führen wie die Geschwindigkeitsermittlung anhand überschlägiger q-V_F-Beziehungen für Straßenzüge, die bei reduzierter Datenverfügbarkeit (beispielsweise zur Lichtsignalsteuerung oder zum Aufkommen von Erschließungsvorgängen in den Streckenabschnitten) erforderlich sein kann.

Im Kontext mit den Simulationsuntersuchungen anhand von „Modellstraßenzügen“ ist auch eine weitergehende Unterteilung der Verbindungsqualitäts-

stufe F (der festgelegte Grenzwert der Fahrgeschwindigkeit V_F liegt bei 15 km/h; vgl. Tabelle 9 in Kapitel 3.2.1), wie sie z. B. auch SCHNABEL et al. (1998) oder BRILON/ESTEL (2007) vorschlagen, zu untersuchen. Um Überlastungszustände differenzierter zu berücksichtigen, sind deshalb die Verkehrsnachfragen ganzer Tage mit typischen Ganglinien zu betrachten.

11.4 Bewertung von Netzqualitäten

Die Sensitivität der Verbindungsqualität eines Straßenzugs hängt von der Netzqualität, d. h. dem Vorhandensein möglicher Alternativrouten, ab. Die Netzqualität hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Routenwahl und damit auch auf die sich einstellende Verkehrsstärke in den einzelnen Netzabschnitten. Bei der Betrachtung von Hauptverkehrsstraßenzügen sollten deshalb zur Berücksichtigung von Netzeffekten parallele bzw. iterative Verkehrsumlegungen mit einem makroskopischen Verkehrsmodell erfolgen, um die jeweilige Bemessungsverkehrsstärke $q_{B,HS}$ im betrachteten Straßenzug zu ermitteln (vgl. Kapitel 9).

Durch diese Vorgehensweise ist gewährleistet, dass die Bewertung einzelner Straßenzüge oder auch Routen stets im Netzzusammenhang erfolgt. Zur Bewertung der Netzqualität in Abhängigkeit der Verbindungsqualität der Straßenzüge bzw. Routen fehlen bislang jedoch geeignete Ansätze. Hierzu ist zunächst die Ableitung geeigneter Kriterien erforderlich, deren Überprüfung durch systematische Untersuchungen in verschiedenen Straßennetzsystemen (Radial-Ring-Netze, Rasternetze und lineare Netze sowie Kombinationen dieser) erfolgen sollte. Voraussetzung ist, dass die Netzeffekte mit makroskopischen Verkehrsmodellen analysierbar und quantifizierbar sind.

11.5 Ableitung angepasster Stufen der verbindungsbezogenen Angebotsqualität

Die in den RIN (2008) angegebenen Orientierungswerte für Angebotsqualitätsstufen erscheinen – ebenso wie die Grenzwerte, die im RIN-Entwurf (2007) vorgegeben waren – für eine Beurteilung innerörtlicher Netze nicht geeignet (vgl. Kapitel 10.2). Vor diesem Hintergrund sollten angepasste Stufen der verbindungsbezogenen Angebotsqualität für die Betrachtung von Innerorts- und Regional-Relationen (MZ-OZ-Verbindungen bis zu einer Luftlinienentfernung L_L von 50 km) bereit gestellt werden. Diese können durchaus eine Unstetigkeit gegenüber den bisherigen bzw. ebenfalls zu aktualisierenden Kurven der Angebotsqualitätsstufen für Überregional- und Fernrelationen aufweisen, da auch im Straßennetz, vor allem bei Oberzentren, oftmals ein unstetiger Übergang zwischen den einzelnen Straßenkategorien, z. B. von Stadtstraßen (Kategoriengruppe HS) zu Autobahnen, vorliegt.

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 den Verkehrsablauf in starkem Maße prägen: Abbiegende Kraftfahrzeuge, Parkvorgänge, Halte- bzw. Liefer-/Ladevorgänge auf der Fahrbahn usw. können für den fließenden Kraftfahrzeugverkehr durchaus zu massiven Störungen führen.

Die Verfahren zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Streckenabschnitten (vgl. hierzu BAIER et al., 2003, BAIER, 2006, und die Ergebnisse des Teils 1 des Forschungsvorhabens von SÜMMERMANN et al., 2008) sowie an Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage (vgl. HBS, 2001/2005) stellen bislang keine Verknüpfung mit der verbindungsbezogenen Betrachtung der neuen RIN (2008) her. Vor diesem Hintergrund wurden hier Verfahren zur Bestimmung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten in Hauptverkehrsstraßenzügen unter Berücksichtigung des Verkehrsablaufs auf/an den Einzelanlagen und eventueller Netzeffekte entwickelt.

Die funktionale Verkehrsqualität sowohl einzelner als auch zusammenhängender Straßenverkehrsanlagen dient der Beurteilung, ob und wie der Verkehr auf/an einer Einzelanlage oder in einem Straßenzug als Folge von Streckenabschnitten und Knotenpunkten unter den jeweils gegebenen verkehrlichen, infrastrukturellen und umfeldbezogenen Randbedingungen abgewickelt werden kann. D. h., die Verkehrsqualität beschreibt letztendlich die „Bewegungsfreiheit“ der Verkehrsteilnehmer und bewertet die Funktionalität einer Straßenverkehrsan-

lage. Hieraus lassen sich jedoch noch keine Rückschlüsse auf die erreichbare Fahrgeschwindigkeit V_F und somit die Verbindungsqualität in einem Straßenzug ziehen. Infolgedessen besteht auch kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Verkehrsqualität einzelner Anlagen im Zuge einer Route und der Erreichbarkeitsqualität einer Relation im Netz.

Die entwickelten Verfahren zur übergreifenden Bewertung der Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Straßenzügen gelten für alle Hauptverkehrsstraßen der Kategorie C III der RAS-N (1988) bzw. der Kategorie HS III der RIN (2008). Voraussetzung ist in beiden Fällen eine Zerlegung des Straßenzugs in einzelne Streckenabschnitte und Knotenpunkte gleichrangiger Hauptverkehrsstraßen. Zur Verkehrsqualitätsbewertung eines Straßenzugs sind für die Einzelanlagen vorab getrennte Bewertungen der Verkehrsqualität durchzuführen. Die Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit V_F in einem Straßenzug und deren Einordnung in eine Verbindungsqualitätsstufe kann auf Basis einer detaillierten, einzelanlagenbezogenen Betrachtung oder auch durch überschlägige Betrachtung des Straßenzugs erfolgen.

Beide Verfahren sind grundsätzlich in der jeweils vorliegenden Form anwendbar. Zur Anwendung empfohlen wird jedoch ausschließlich das Verfahren zur Verbindungsqualitätsbewertung anhand der erreichbaren Fahrgeschwindigkeit V_F, da hiermit auch der erforderliche Vergleich mit den raumordnerischen Zielvorgaben einer angestrebten Fahrgeschwindigkeit $V_{F,Ziel}$ für Straßen unterschiedlicher Netzfunktion gemäß den RIN (2008) ermöglicht wird. Für die praktische Anwendung des Verfahrens bestehen jedoch noch gewisse Einschränkungen, da die ermittelten Zusammenhänge nur für bestimmte Randbedingungen gelten. Zur Ableitung allgemeingültig übertragbarer Grundlagen sind noch ergänzende Sensitivitätsanalysen und zusätzliche Untersuchungen erforderlich.

Für die Bewertung der verbindungsbezogenen Angebotsqualität innerörtlicher Straßennetze sind die bisherigen Orientierungswerte der RIN (2008) nicht ausreichend. Hier ist es zwingend erforderlich, angepasste Angebotsqualitätsstufen abzuleiten.

Literatur

AHN, M.: Veränderung der Leistungsfähigkeit städtischer Hauptverkehrsstraßen über die Tageszeit. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 4, Bochum 1987

ARS Nr. 10/2002: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2001. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, S28/16.57.10-6.0/F2002, Bonn, den 28. Mai 2002

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., 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. P., BAIER, R., HARTLICH, B.: Aktuelle Probleme der Verkehrsentwicklung in Bremen. Studie im Auftrag der Freien Hansestadt Bremen, Aachen 1988 (unveröffentlicht)

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.: 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.: Überprüfung der SAQ-Kurven der Luftliniengeschwindigkeit für den Pkw-Verkehr. Anmerkungen zum RIN-Entwurf 2008 (Stand: 22. Juni 2008), Aachen 2008 (unveröffentlicht)

BAIER, M. M.: Zielvorgaben für Fahrgeschwindigkeiten. 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, M. M., STEPHAN, R. R.: Definition der Zeitverluste an Knotenpunkten. Anmerkungen zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne Lichtsignalanlage nach dem HBS, Aachen/Detmold 2007 (unveröffentlicht)

BAIER, R., BRAUN, W., HARLOFF, G., HENSEL, H., ULBORT, K.: Verkehrsentwicklungsplanung Aachen – Konzepte und Wirkungen. Neue Wege zu einem stadtverträglichen Verkehr, Band 2, Aachen 1994

BAIER, R., BRAUN, W., HEBEL, Chr.: Untersuchungen zum Verkehrsentwicklungsplan für Düsseldorf. Studie im Auftrag der Landeshauptstadt Düsseldorf, Aachen 2005 (unveröffentlicht)

BAIER, R., GERBER, S., HÜSLER, W., KLINKHAMMER, L., WRASE, G., SCHÄFER, K. H.: Verkehrsentwicklungsplanung Ulm/Neu-Ulm – Verkehr: Befunde und Bewertungen. Informationen der Städte Ulm und Neu-Ulm, Ulm/Neu-Ulm 1993

BAIER, R., GRUNOW, M., HEBEL, Chr., HESSE, B.: Untersuchungen zum Verkehrsentwicklungsplan für Coburg. Studie im Auftrag der Stadt Coburg, Aachen 2004 (unveröffentlicht)

BAIER, R., HEBEL, Chr.: Verkehrsentwicklungsplan Landeshauptstadt Wiesbaden. Verkehrsplanung Wiesbaden – Gemeinsame Wege zu einem stadtverträglichen Verkehr, Heft 3, Wiesbaden 2000

BAIER, R., JACHTMANN, Y., WARNECKE, A.: Untersuchungen zum Verkehrsentwicklungsplan für Mönchengladbach. Studie im Auftrag der Stadt Mönchengladbach, Aachen 2007 (unveröffentlicht)

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

BECKMANN, K. J.: Stadt- und Regionalplanung: Grundlagen und Methodik, Materialien. Lehrstuhl und Institut für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Aachen 1998 (unveröffentlicht)

Begriffsbestimmungen, Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb, Ausgabe 2000. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2000

BENZ, Th.: Mikroskopische Simulation von Energieverbrauch und Abgasemission im Straßenverkehr (MISEVA). Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe, Heft 32, Karlsruhe 1985

BLEILE, Th.: Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens im innerstädtischen Pkw-Verkehr. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12: Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Nr. 395, VDI Verlag, Düsseldorf 1999

BRILON, W.: Vorfahrt im HBS – Ein Kommentar zum Kapitel 7. In: Straßenverkehrstechnik 47 (2003), Heft 9, S. 469-477

BRILON, W., ESTEL, A.: Differenzierte Bewertung der Qualitätsstufen im HBS im Bereich der Überlastung. FE 02.259/2005/ARB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bochum 2007 (unveröffentlicht)

BRILON, W., GEISTEFELDT, J.: Überprüfung der Kapazitätswerte und q-v-Diagramme des HBS 2001 für Autobahnabschnitte außerhalb der

Knotenpunkte. FE 21.0049/2007 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bochum 2008 (unveröffentlicht)

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., REICHARDT, G., WEISER, F., WESTPHAL, S., WU, N.: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. FE 02.171 R96A im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht), Bochum 1999

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 82nd 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

CURDES, G.: Vorlesungen zum Städtebau – Band 1: Perioden, Leitbilder und Projekte des Städtebaus vom Mittelalter bis zur Gegenwart. Lehrstuhl für Städtebau und Landesplanung der RWTH Aachen, Aachen 1993 (unveröffentlicht)

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

FRIEDRICH, B., FRIEDRICH, M., PRIEMER, Chr.: Impacts of the Service Quality of single Road Facilities on the Service Quality in Networks. In: 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Proceedings, Yokohama 2006

FRIEDRICH, B., PRIEMER, Chr.: Auswirkungen von Überlastungen an Einzelanlagen des Straßenverkehrs auf die Verbindungsqualität in Straßennetzen. FE 01.162/2003/EGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Hannover 2007 (unveröffentlicht)

FRIEDRICH, M.: Angebotsqualität in Straßennetzen – Bewertung und Mängelanalyse. In: 2. Straßenverkehrsforum der DVWG: Qualität und Sicherheit im deutschen Straßennetz – neue Herausforderungen in der Mitte Europas. Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft, München 2005 (Quelle: http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv)

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

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

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

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

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

JANSEN, S.: Lieferverkehrsaufkommen an Hauptverkehrsstraßen. Seminararbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2003 (unveröffentlicht)

KAINRATH, W.: Die Bandstadt. Picus Verlag, Wien 1997

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., 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

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

LEERKAMP, B.: Entwurfselemente 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

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., SCHMIDT, M.: Auswirkungen aus Lieferverkehr auf den Verkehrsablauf auf einem Stadtstraßenabschnitt. FE 77.041/1985 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Karlsruhe 1987 (unveröffentlicht)

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

MARTIN, W.: Verkehrsablauf auf Stadtstraßen mit Lichtsignalen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 268 (Teil II), Bonn-Bad Godesberg 1979

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)

NEHREN, U., STÖCKER, K., BRÜCKNER, B., GERLACH, J., ADRIAN, L., JUNKER, R., BRUCKMANN, D., SCHÖNHARTING, J.: Grundlagen einer Differenzierung der RAS-N, Teil Stadtregionen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 874, Bonn 2004

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)

POLLISCHANSKY, R.: Akzeptanz von Verlustzeiten an Knotenpunkten – ein Vergleich zwischen Kreisverkehr und lichtsignalgeregelter Kreuzung. Diplomarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz, Graz 2002 (unveröffentlicht)

Raumordnungsgesetz (ROG) vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2081, 2102), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2833)

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), Entwurf 2007. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2007 (Stand: 29. Juni 2007)

Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung (RIN), Entwurf 2008. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008 (Stand: 22. Juni 2008)

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.: Steuerungsstrategien in städtischen Straßennetzen. In: 18. Verkehrswissenschaftliche Tage: Verkehr und Mobi-

lität in der Informationsgesellschaft. Tagungsband (CD-ROM), Dresden 2001

SCHLABBACH, K.: Verkehrsbeeinflussung mit Lichtsignalsteuerung. In: Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung. Loseblattsammlung mit Ergänzungen, Grundwerk, Kapitel 3.4.2.1, Economica Verlag, Bonn 1992

SCHLEICHER-JESTER, F.: Verkehrsablauf in innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen bei verschiedenen Geschwindigkeiten. In: Straßenverkehrstechnik 40 (1996), Heft 9, S. 417-442

SCHMIDT, G.: Hochrechnungsfaktoren für Kurzzeitzählungen auf Innerortsstraßen. In: Straßenverkehrstechnik 40 (1996), Heft 11, S. 546-556

SCHNABEL, W.: Verkehrsablauf auf Straßenknoten mit Fahrbahnverengung in der Knotenabfahrt. In: Die Straße 27 (1987), Heft 11, S. 321-324

SCHNABEL, W., KORN, J.: Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage: Das Kapitel 6 im „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (HBS) – Inhalt, Erläuterungen und Hinweise. In: Straßenverkehrstechnik 44 (2000), Heft 11, S. 581-589

SCHNABEL, W., LÄTZSCH, L.: Quo vadis, Dresdner Straßenverkehr? In: Dresdner Universitätsjournal 13 (2002), Nr. 8, S. 4

SCHNABEL, W., LOHSE, D.: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung – Band 2: Verkehrsplanung. 2., neu bearbeitete Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin 1997

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., ALBERS, A.: Unterbringung des ruhenden Verkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 566, Bonn-Bad Godesberg 1989

SCHÖNING, G., BORCHARD, K.: Städtebau im Übergang zum 21. Jahrhundert. Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1992

SCHUCKLIEß, W.: Entwicklung eines makroskopischen Modells zur Prognose von MIV-Reisezeiten. In: Perspektiven für das Straßenwesen. Aachener Mitteillungen 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, Tagungsband (S. 17-19), Straße Tunnel Report 1, 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 innovativer Datenerfassung – Beispiel Mittlerer Ring München. In: Straßenverkehrstechnik 43 (1999), Heft 5, S. 212-219

SCHWIETERING, Chr.: Entwicklung eines Programms zur Berechnung von Nachfolgefahrten in PARAMICS. Seminararbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen, Aachen 2002 (unveröffentlicht)

SOBOTTA, R., NUßRAINER, C.: Fahrtenvergleich auf ausgewählten Alternativrouten in München, In: Straßenverkehrstechnik 44 (2000), Heft 10, S. 528-533

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)

SÜMMERMANN, A., LANK, Chr., STEINAUER, B., BAIER, M. M., BAIER, R., KLEMPS-KOHNEN,

A.: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/ Straßenbahnkörpern. Teil 1 zum FE 77.476/ 2003 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Aachen 2008 (unveröffentlicht)

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)

WARDROP, J. G.: Journey Speed and Flow in Central Urban Areas. In: Traffic Engineering + Control 9 (1968), No. 3, pp. 528-532 + p. 539

WIEDEMANN, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Straßenwesen der Universität (TH) Karlsruhe, Heft 8, Karlsruhe 1974

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 Uberwachung 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-Simović Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50

V 125: PM_{10}-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM_{10}-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 offenporiger 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_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00

V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O_3)-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
Klöckner, 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 verkehrsabhängigen 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_{10}-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch,
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 offenporiger Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00

V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PMx-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt **nur** in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter 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, Hübelt € 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: Vorraussetzungen 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

V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier,
R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00

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
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Komplettverzeichnis erhältlich.